

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**ABORDAGEM MULTIOBJETIVO NA SELEÇÃO DE
SISTEMAS DE REÚSO DE ÁGUA EM IRRIGAÇÃO
PAISAGÍSTICA NO DISTRITO FEDERAL**

CARLO RENAN CÁCERES DE BRITES

**ORIENTADOR: MARCO ANTONIO ALMEIDA DE SOUZA
CO-ORIENTADORA: ARIUSKA KARLA BARBOSA AMORIM**

DISSERTAÇÃO EM
TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS

PUBLICAÇÃO: PTARH.DM – 112/08
BRASÍLIA/DF: MAIO – 2008

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**ABORDAGEM MULTIOBJETIVO NA SELEÇÃO DE
SISTEMAS DE REÚSO DE ÁGUA EM IRRIGAÇÃO
PAISAGÍSTICA NO DISTRITO FEDERAL**

CARLO RENAN CÁCERES DE BRITES

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE
BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E
RECURSOS HÍDRICOS.**

APROVADA POR:

**Prof. MARCO ANTONIO ALMEIDA DE SOUZA, PhD (UnB)
(Orientador)**

**Prof. OSCAR DE MORAES CORDEIRO NETTO, DSc (UnB)
(Examinador Interno)**

**Prof. HENIO NORMANDO DE SOUZA MELO, DSc (UFRN)
(Examinador Externo)**

BRASÍLIA/DF, 02 de MAIO DE 2008

FICHA CATALOGRÁFICA

BRITES, CARLO RENAN CÁCERES.

Abordagem Multiobjetivo na Seleção de Sistemas de Reúso de Água em Irrigação Paisagística no Distrito Federal. [Distrito Federal. 2008].

xviii, 262p. 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2008).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Reúso de Água

2. Irrigação Paisagística

3. Análise Multicritério

4. Seleção de Sistemas

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BRITES, C. R. C. (2008). Abordagem Multiobjetivo na Seleção de Sistemas de Reúso de Água em Irrigação Paisagística no Distrito Federal. Dissertação de mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM- 112/08, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 262p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Carlo Renan Cáceres de Brites

Título: Abordagem Multiobjetivo na Seleção de Sistemas de Reúso de Água em Irrigação Paisagística no Distrito Federal.

Grau: Mestre

Ano: 2008

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta publicação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva os direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Carlo Renan Cáceres de Brites.

SQN 407 Bloco B Apto. 109 – Asa Norte

70855-020 – Brasília – DF – Brasil

Endereço eletrônico: form2004@yahoo.com.br

*Aos meus pais, Clementino e Ana e
ao meu irmão Alexandre
pela família unida que sempre fomos.*

*À minha esposa Eneida,
pela família que para o resto da vida acabamos de formar.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À FINEP e a CAPES, pelo suporte financeiro e concessão de bolsa de estudos.

Ao Professor Bernard Roy, do LAMSADE, da Universidade de Paris, que gentilmente cedeu o *software* SRF e seu uso para fins acadêmicos.

Ao professor, orientador, mestre, conselheiro, parceiro, amigo Marco Antonio, pelas aulas, orientações, conselhos e momentos de descontração que foram muito importantes para que eu continuasse persistente no mestrado.

Aos professores Henio Normando de Souza Melo e Oscar de Moraes Cordeiro Netto, pelo os quais tive o prazer de ser avaliado na minha banca de defesa de dissertação.

Ao professor Ricardo, pela serenidade que sempre transmitiu em suas aulas e explicações.

Aos demais professores do PTARH pelas experiências e conhecimentos repassados.

Ao Reynaldo Lopes, pela ajuda em compreender os métodos multicritério e sua programação.

A professora Paula Loureira Paulo e ao professor Armando Barbedo pelas cartas de recomendação para ingressar no mestrado.

A Eneida, amiga no colégio, namorada na faculdade e esposa no mestrado. Meu maior alicerce para conseguir progredir no mestrado e na “cidade libélula”. Que nosso relacionamento evolua junto com as realizações das nossas vidas. Sem você, nada eu teria conseguido, minha eterna namorada!

Agradeço à minha família que sempre deu o apoio em tudo que eu fiz na vida: minha mãe Ana, meu pai Clementino e meu irmão Alexandre. Amo vocês!

A minha sogra Cristina pela enorme atenção despendida a nós aqui em Brasília. Sempre conselheira, “sabe tudo” e consultora de gastronomia nas horas vagas.

A minha tia Lourdes pelo apoio de todas as horas. Em especial no casamento com aqueles bombons deliciosos. Ao meu tio Dilei e prima Taíse. Aos meus padrinhos Silvio e Rosângela, por tudo e por serem sempre tão solícitos.

Aos colegas da turma de 2005: Carol, Lígia, Michele, Gustavo, Flávia, Mariana, Wilde, Marco de Vito, Neusa, Gabriel, Nilce e Jamil, Raquel, Jorge (parceiro de violão), e em especial ao Ronaldo (parceiro de banda, padrinho de casamento e contador de histórias), Alcione e Márcio (ex-vizinhos e grandes amigos), Jaqueline e Zago (padrinhos de casamento e parceiros de festas).

Aos colegas da turma de 2006: Luciano, Lorena (companheira de festanças), Bia, Andresa, Wendy (parceiro de basquete) e aos colegas que aos poucos foram chegando: Mércia e Bruno.

Aos colegas da CAESB: Geórgenis, Pedrão (bandidão), Fernando (parceiro de banda e grande batera), Suélen, Cristina Felfili (grande amiga e fiadora), Cristina Karas, Tião, Paiva (*pseudocult*), Márcio Borges (pela liberação para ir à UnB), Hailton, Michele (muito obrigado pelas caronas), Maurício, Bruno Lustosa, Gustavo Penalva (zói), Paulo, Paulo Arenas, Fabiano e a todos que convivemos diariamente tentando aprender e fazer nascer verdadeiras amizades.

Aos irmãos de longa data que mesmo à distância continuamos torcendo um pelos outros: Roger (padrinho), Guilhermão (monitor e padrinho), Bob, Leandro, Mário, Dyecko, Igor. A galera da West Central, que deixei em Campo Grande com um aperto no coração: Juliano, André e Bolha.

Aos irmãos e irmãs dos tempos de faculdade, os quais aos poucos vamos nos juntando novamente: Rafael, Natália, Samuel e Adrienne (padrinhos de casamento), Hermes, Daniel, Keila, Leonardo, Orlando, Fernanda, Glauco, Alessandra, Jack e todos os outros.

A todas as pessoas que mesmo não sendo citadas, contribuíram para a realização desse trabalho, minhas desculpas.

A Deus, por ter me dado a oportunidade de viver e poder escrever esta dissertação.

ABORDAGEM MULTIOBJETIVO NA SELEÇÃO DE SISTEMAS DE REÚSO DE ÁGUA EM IRRIGAÇÃO PAISAGÍSTICA NO DISTRITO FEDERAL

RESUMO

A presente dissertação descreve os efeitos sobre o sistema água-solo-plantas, decorrentes da utilização de efluentes na irrigação de canteiros de flores no Distrito Federal. Além disso, sob a ótica da Análise Multicritério, apresenta e aplica uma metodologia de seleção de sistemas de reúso de água em irrigação, utilizando dados obtidos em um estudo piloto previamente realizado, cultivando flores da espécie Dália Anã Sortida (*Dahlia pinnata*) e também as recomendações encontradas na literatura. O delineamento experimental do estudo previamente realizado foi com os seguintes “tratamentos”: T1 = água + adubação com NPK, T2 = Água do lago Paranoá; T3 = Efluente primário sem diluição; T4 = Efluente primário diluído com efluente terciário, T5 = Efluente secundário; T6 = Efluente terciário; T7 = Efluente de reator UASB; e T8 = Efluente de lagoa de estabilização.

Foram empregados os métodos multicriteriais *Compromise Programming*, *Promethee 2* e *Topsis*, e o *software* SRF, que utiliza o método do Jogo de Cartas para atribuição de pesos dos critérios. Indicaram-se os melhores efluentes conforme suas performances obtidas em escala-piloto. Com recomendações da literatura e cruzamento com dados do estudo piloto, foram obtidos os melhores efluentes a serem utilizados em conjunto com sistemas de condicionamento. Por fim, de forma semelhante, acatando considerações da literatura, obtiveram-se alternativas de sistemas de reúso de água que são compostas por (1) efluentes a serem utilizados, (2) sistemas/processos de adequação de águas de reúso e (3) sistemas de irrigação.

Os efluentes que mantêm restrições moderadas de qualidade de água de irrigação foram T5, T6, T7 e T8. Todos os “tratamentos” apresentaram alta eficiência, quando considerados como sistemas de polimento, com relação a coliformes totais e *E. coli*. Nas águas percoladas, os parâmetros que ultrapassaram as recomendações da CETESB (2005) foram: ferro, níquel, alumínio, cromo, cobalto, chumbo, cádmio e molibdênio. Segundo a biometria das plantas, nos parâmetros altura do caule, diâmetro do caule, número de folhas, número de botões e número de flores, os que obtiveram maiores valores foram os tratamentos T1, T3 e T7. Os piores crescimentos foram nos tratamentos T2, T5 e T6.

Os resultados gerais, quando se puder lançar mão de todos os efluentes estudados, apontam para as três melhores alternativas como sendo: (1º) T3 seguido de filtração e desinfecção UV com irrigação por gotejamento, (2º) T3 com filtração e desinfecção UV com irrigação sub-superficial, (3º) T3 com filtração e cloração e irrigação por gotejamento. Para cada efluente, as melhores combinações de sistemas de tratamento e sistemas de irrigação foram: (1º) T3 com filtração, cloração e irrigação por gotejamento. (2º) T4 com filtração cloração e irrigação sub-superficial. (3º) T7 com cloração e irrigação sub-superficial. (4º) T8 com cloração e irrigação por gotejamento. Sobre os sistemas de tratamento, a filtração seguida de cloração mostrou-se como a alternativa que apresentou melhores resultados na análise multicritério. Isso confirma a indicação da literatura especializada, pois a filtração remove protozoários e helmintos e a cloração é eficiente para a desinfecção. Os sistemas de irrigação escolhidos foram os que menos possibilitam contatos com viandantes.

PALAVRAS-CHAVE: reúso de água, irrigação paisagística, análise multicritério, seleção de sistemas.

A MULTIOBJECTIVE APPROACH FOR SELECTION OF WASTEWATER REUSE IN LANDSCAPE IRRIGATION IN THE FEDERAL DISTRICT

ABSTRACT

This thesis describes the effects on the system water-soil-plant caused by the use of effluents for irrigation of plots of flowers in the Federal District. Also, from the perspective of Multicriteria Analysis, this work describes and applies a methodology for selection of systems for water reuse in irrigation, using data from a pilot study conducted previously, cultivating flowers of the species “Dália Anã Sortida” (*Dahlia pinnata*) and also the recommendations found in the literature. The experimental design of the study was previously conducted with the following “treatments”: T1 = water + with NPK fertilizer, T2 = water of Paranoá Lake; T3 = primary effluent; T4 = primary diluted with sewage effluent tertiary, T5 = secondary effluent, T6 = tertiary effluent; T7 = effluent of UASB reactor and T8 = effluent from the stabilization pond.

The multicriteria methods employed were Compromise Programming, Promethee 2 and Topsis, and the SRF software, which uses the method of the Card’s Game to assign criteria weights. The best effluents were indicated according to their respective performances obtained in pilot scale. Considering the recommendations from the literature and data from the pilot scale study, the best effluents to be used in conjunction with conditioning systems were indicated. Finally, in a similar way, following considerations of literature, alternative systems for the water reuse were generated by combination of (1) effluent to be used, (2) systems/processes of adequacy of the water for reuse and (3) irrigation systems.

“Treatments” T5, T6, T7 and T8 have showed moderated effluent quality restrictions to be used as irrigation water. All the “treatments” showed high efficiency, when considered as polishing systems for removal of total coliform and *E coli*. In the leachates, the parameters that exceeded the recommendations of CETESB (2005) were: iron, nickel, aluminum, chromium, cobalt, lead, cadmium and molybdenum. In terms of plant biometry, T1, T3 and T7 obtained the highest values of the parameters stem height, diameter of the stem, number of leaves, number of buttons and number of flowers. The worst growing results were presented by “treatments” T2, T5 and T6.

When all studied effluents are possible to be used, the overall results indicated that the three best alternatives were: (1°) T3 followed by filtration and disinfection UV drip irrigation, (2°) T3 with filtration and disinfection UV with sub-surface irrigation, and (3°) T3 with chlorination and filtration and drip irrigation. For each effluent, the best combinations of treatment systems and irrigation systems were: (1°) T3 with filtration, chlorination and drip irrigation, (2°) T4 with chlorination and filtration irrigation sub-surface, (3°) T7 with chlorination and irrigation sub-surface, (4°) T8 with chlorination and drip irrigation. In relation to the treatment systems, filtration followed by chlorination was the alternative that showed better results in multicriteria analysis. This confirms indication of the specialized literature, since the filtration removes protozoa and helminths and chlorination is effective in disinfecting. The chosen irrigation systems were those that allow lesser contact with travellers.

KEYWORDS: water reuse, landscape irrigation, multicriteria analysis, selection of systems.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	1
2 - OBJETIVOS	5
2.1 - OBJETIVO GERAL	5
2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
3.1 - REÚSO DE ÁGUA	6
3.1.1 - Tipos de Reúso de Água	8
3.1.2 - Experiências em Reúso de Água.....	9
3.1.2.1 - Contexto Internacional	10
3.1.2.2 - Experiência Nacional	10
3.1.2.3 - Reúso de Água no Distrito Federal	13
3.1.3 - Reúso de Água na Irrigação Urbana	16
3.1.3.1 - Qualidade das águas de reúso em irrigação	16
3.1.3.2 - Fertirrigação com águas residuárias.....	20
3.1.3.3 - Fertirrigação com águas residuárias – Efeitos ao solo e aquíferos	21
3.1.3.4 - Fertirrigação com águas residuárias – Efeitos às plantas.....	23
3.2 - TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS PARA FINS DE REÚSO.....	25
3.2.1 - Processos de recuperação de águas residuárias.....	25
3.2.2 - Critérios e recomendações de sistemas de tratamento e qualidade requerida..	28
3.2.3 - Custos dos sistemas de recuperação de águas residuárias.....	29
3.2.4 - Desempenho do sistemas/operações de recuperação de águas residuárias	30
3.2.5 - Filtração.....	33
3.2.6 - Desinfecção	34
3.2.6.1 - Custos da Desinfecção	38
3.3 - SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO COM O USO DE ESGOTOS SANITÁRIOS.....	39
3.3.1 - Sistemas de irrigação por superfície	41
3.3.2 - Sistemas de irrigação por aspersão.....	41
3.3.3 - Sistemas de irrigação localizada	43
3.3.3.1 - Gotejadores	43
3.3.3.2 - Gotejadores sub-superficiais	45
3.3.3.3 - Irrigação por microaspersão	45
3.3.4 - Subirrigação	45
3.3.5 - Seleção de sistemas de irrigação	46
3.4 - MÉTODOS DE ANÁLISE DE DECISÃO MULTIOBJETIVO E MULTICRITÉRIO	49
3.4.1 - FAMÍLIA DE MÉTODOS ELECTRE	50
3.4.1.1 - Determinação de pesos com a “Técnica do Simos Revisada” (Jogo de Cartas).....	52
3.4.2 - PROMETHEE.....	54
3.4.3 - AHP.....	57
3.4.4 - <i>Compromise Programming</i>	60
3.4.4.1 - Histórico, Potencialidade e Aplicabilidade	60
3.4.5 - TOPSIS	64
3.4.6 - Escolha do Método Multiobjetivo/Multicritério	65
3.4.7 - Aplicações de análise multiobjetivo/multicritério.....	66
4 - DADOS OBTIDOS NO ÂMBITO DO PROSAB 4.....	68
4.1 - DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO PILOTO	68

4.2 - VARIÁVEIS MONITORADAS.....	73
4.3 - DADOS OBTIDOS EM ESCALA PILOTO.....	77
4.3.1 - Ciclo 1 (26/07/2004 – 06/11/2004).....	77
4.3.1.1 - Águas de Irrigação.....	77
4.3.1.2 - Águas Percoladas.....	84
4.3.1.3 - Solos.....	88
4.3.1.4 - Plantas.....	95
4.3.2 - Ciclo 2 (06/12/2004 – 12/03/2005).....	98
4.3.2.1 - Águas de Irrigação.....	98
4.3.2.2 - Águas Percoladas.....	98
4.3.2.3 - Solos.....	103
4.3.2.4 - Plantas.....	107
4.3.3 - Ciclo 3 (15/05/2005 – 29/08/2005).....	110
4.3.3.1 - Águas de Irrigação.....	110
4.3.3.2 - Águas Percoladas.....	115
4.3.3.3 - Solos.....	118
4.3.3.4 - Plantas.....	122
4.3.4 - Ciclo 4 (03/10/2005 – 03/01/2006).....	122
4.3.4.1 - Águas de Irrigação.....	122
4.3.4.2 - Águas Percoladas.....	125
4.3.4.3 - Solos.....	129
4.3.4.4 - Plantas.....	134
4.3.5 - Ciclo 5 (01/03/2006 – 02/06/2006).....	137
4.3.5.1 - Águas de Irrigação.....	137
4.3.5.2 - Águas Percoladas.....	141
4.3.5.3 - Solos.....	144
4.3.5.4 - Plantas.....	149
5 - METODOLOGIA.....	151
5.1 - METODOLOGIA DA ANÁLISE MULTIOBJETIVO/MULTICRITÉRIO.....	151
5.2 - ESCOLHA DOS EFLUENTES.....	154
5.2.1 - Maximização da produtividade.....	154
5.2.2 - Minimização de consumo de fertilizantes.....	155
5.2.3 - Minimização de impactos negativos ao solo.....	155
5.2.4 - Minimização do potencial de contaminação do lençol freático.....	156
5.2.5 - Minimização dos riscos à saúde pública.....	156
5.2.6 - Minimização de problemas com sistema de irrigação.....	156
5.3 - ESCOLHA DOS EFLUENTES COMBINADOS COM SISTEMAS/OPERAÇÕES DE TRATAMENTO PARA FINS DE REÚSO.....	158
5.4 - ESCOLHA DO SISTEMA “EFLUENTES+SISTEMAS/OPERAÇÕES DE TRATAMENTO+SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO”.....	160
5.5 - DETERMINAÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS.....	163
5.6 - MÉTODOS MULTICRITERIAIS E <i>SOFTWARES</i> UTILIZADOS.....	168
6 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	169
6.1 - RESULTADOS OBTIDOS EM ESCALA PILOTO.....	169
6.1.1 - Águas de irrigação.....	169
6.1.1.1 - Ciclo 1.....	169
6.1.1.2 - Ciclo 3.....	170
6.1.1.3 - Ciclo 4.....	170
6.1.2 - Águas Percoladas.....	171
6.1.3 - Solos.....	172

6.1.4 - Plantas	175
6.1.4.1 - Altura do caule	177
6.1.4.2 - Número de Folhas	177
6.1.4.3 - Diâmetro do Caule	178
6.1.4.4 - Número de Botões	179
6.1.4.5 - Número de Flores	180
6.2 - RESULTADOS DA ESCOLHA DOS EFLUENTES	180
6.3 - RESULTADOS DA ESCOLHA DOS EFLUENTES COMBINADOS COM SISTEMAS/OPERAÇÕES DE TRATAMENTO PARA REÚSO.....	186
6.4 - RESULTADOS DA ESCOLHA DOS EFLUENTES COMBINADOS COM SISTEMAS DE TRATAMENTO E SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO.....	196
7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	208
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	213
APÊNDICES	223
APÊNDICE 1A – ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO NO 1º CICLO.....	223
APÊNDICE 1B – ÁGUAS PERCOLADAS DO 1º CICLO.....	225
APÊNDICE 1C – ANÁLISE DE SOLOS NO 1º CICLO	226
APÊNDICE 1D – RESULTADOS DAS ANÁLISES EM PLANTAS 1º CICLO.....	228
APÊNDICE 2A – ÁGUAS PERCOLADAS NO 2º CICLO	230
APÊNDICE 2B – ANÁLISE DE SOLOS NO 2º CICLO	232
APÊNDICE 2C – RESULTADOS DAS ANÁLISES EM PLANTAS DO 2º CICLO....	234
APÊNDICE 3A – DADOS DE ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO NO 3º CICLO.....	236
APÊNDICE 3B – ÁGUAS PERCOLADAS DO 3º CICLO	238
APÊNDICE 3C – ANÁLISE DE SOLOS NO 3º CICLO	240
APÊNDICE 3D – RESULTADOS DAS ANÁLISES EM PLANTAS 3º CICLO.....	242
APÊNDICE 4A – ÁGUA DE IRRIGAÇÃO DO 4º CICLO	244
APÊNDICE 4B – ÁGUAS PERCOLADAS DO 4º CICLO	246
APÊNDICE 4C – ANÁLISE DE SOLOS NO 4º CICLO	248
APÊNDICE 4D – RESULTADOS DAS ANÁLISES EM PLANTAS (4º CICLO).....	250
APÊNDICE 5A – ÁGUA DE IRRIGAÇÃO DO 5º CICLO.....	251
APÊNDICE 5B – ÁGUAS PERCOLADAS NO 5º CICLO.....	252
APÊNDICE 5C – ANÁLISE DE SOLOS NO 5º CICLO	253
APÊNDICE 5D – RESULTADOS DAS ANÁLISES EM PLANTAS (5º CICLO).....	255
APÊNDICE 6 – PARÂMETROS DE ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO E PADRÕES DE REÚSO	256

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1a - Algumas experiências de reúso agrícola no mundo	11
Tabela 3.1b - Algumas experiências de reúso agrícola no mundo (continuação)	12
A Tabela 3.2 – Principais impactos que a irrigação com esgotos tratados pode causar ao solo e águas subterrâneas.....	22
Tabela 3.3 – Funções dos nutrientes nas plantas	24
Tabela 3.4 – Custos da vida útil dos sistemas de tratamento avançado para fins de reúso .	31
Tabela 3.5 – Desempenho dos sistemas de tratamento avançado do projeto de reúso de água em Denver – US.....	32
Tabela 3.6 – Eficiência dos processos de recuperação de água residuárias	33
Tabela 3.7 - Resultados de filtração para adequação de efluentes ao reúso estudadas no PROSAB.....	34
Tabela 3.8 – Características típicas dos principais processos desinfetantes.....	38
Tabela 3.9 – Custo de implantação e operação para processos de desinfecção	39
Tabela 3.10 – Problemas de Obstrução em sistemas de irrigação localizada.....	47
Tabela 3.11 - Fatores para seleção de métodos de irrigação	47
Tabela 3.12 - Fatores que afetam a seleção do método de irrigação e os cuidados necessários na utilização de efluentes	48
Tabela 3.13 – Critérios de seleção dos sistemas de irrigação considerando o local e cultura	48
Tabela 3.14 – Parâmetros para o exemplo de cálculo de pesos pelo Jogo de Cartas.	54
Tabela 4.1 – Período de realização dos ciclos operacionais de cultivo.....	73
Tabela 4.2 – Esquema de amostragens no primeiro ciclo	75
Tabela 4.3 – Esquema de amostragens no segundo ciclo.....	75
Tabela 4.4 – Esquema de amostragens no terceiro ciclo.....	76
Tabela 4.5 – Esquema de amostragens no quarto ciclo.....	76
Tabela 4.6 – Esquema de amostragens no quinto ciclo.....	76
Tabela 4.7 – Elementos que ultrapassam os valores orientadores para água subterrânea para o estado de São Paulo segundo CETESB (2005) para o 4º ciclo em mg/L	127
Tabela 5.1 – Objetivos e critérios da seleção do efluente pela análise multicritério.....	157
Tabela 5.2 – Atribuição de valores para cada classificação dos critérios de seleção de tipos de desinfecção.	159
Tabelas 5.3 – Alternativas de efluentes combinados com tratamento complementar.....	160
Tabela 5.4 – Critérios para a escolha do sistema de irrigação.....	162
Tabela 5.5 – Critérios e alternativas da Matriz 1 para seleção do sistema	162
Tabela 5.6 – Critérios e alternativas da Matriz 2 para seleção do sistema.....	164
Tabela 5.7 – Significado dos códigos das alternativas de seleção de sistemas de reúso...	165
Tabela 5.8 – Ordenação dos critérios por preferência nas etapas 2 e 3.....	166
Tabela 5.9 – Ordenação dos critérios para o sistema efluente-tratamento-irrigação.....	167
Tabela 6.1 – Classificação da Água de Irrigação segundo Ayres & Westcot (1985).....	171
Tabela 6.2 – Eficiência média de remoção nos tratamentos (%)......	171
Tabela 6.3 – Valores médios para oligoelementos em águas percoladas e o limite estabelecido pela CETESB (2005) em águas subterrâneas.	172
Tabela 6.4 – Valores médios para solos no início e no final de cada ciclo por tratamento e comparação com valores orientadores da CETESB	176
Tabela 6.5 – Pesos definidos pelo SRF para os critérios.....	181
Tabela 6.6a – Matriz de Decisão da escolha dos efluentes	183
Tabela 6.6b – Matriz de Decisão da Escolha dos Efluentes (continuação).....	184
Tabela 6.7 – Matriz de Decisão da pré-análise de métodos de Desinfecção(*)	187

Tabela 6.8 – Resultados da pré-análise de métodos de Desinfecção.....	187
Tabela 6.9 – Pesos dos Critérios na escolha das combinações efluentes e sistemas de tratamento	188
Tabela 6.10 – Matriz de decisão da etapa 3: escolha do efluente e sistemas de tratamento	189
Tabela 6.11 – Pesos dos critérios da etapa 4: escolha do efluente, sistema de tratamento e sistema de irrigação	197
Tabela 6.12 – Matriz de Decisão número 1: 5 melhores alternativas da etapa 3 e 4 sistemas de irrigação.	198
Tabela 6.13 – Matriz de Decisão número 2: 2 melhores alternativas de cada efluente da etapa 3 e 4 sistemas de irrigação	200

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Fluxograma da estação de tratamento de água de reúso da SABESP.....	27
Figura 3.2 – Processos de Desinfecção de Esgotos Sanitários.....	35
Figura 3.3 – Sistemas de irrigação por superfície.....	41
Figura 3.4 – Sistemas de irrigação por aspersão.....	42
Figura 3.5 – Sistemas de Irrigação localizada.....	44
Figura 3.6 – Esboço da Lógica do Jogo de Cartas (Técnica de Simos Revisada).....	54
Figura 4.1 – Fluxograma de processos da ETE Brasília Norte.....	69
Figura 4.2 – Fluxograma de processos da ETE Paranoá.....	70
Figura 4.3 – Esquema das unidades de cultivo utilizadas no experimento piloto.....	72
Figura 4.4 – Unidade de cultivo utilizada no experimento piloto.....	72
Figura 4.5 – pH e Condutividade Elétrica em Águas de Irrigação no 1º Ciclo.....	79
Figura 4.6 – Coliformes Totais e Termotolerantes em águas de irrigação do 1º ciclo.....	79
Figura 4.7 – DQO em águas de irrigação no 1º ciclo.....	80
Figura 4.8 – Fósforo Total e Ortofosfato em águas de irrigação no 1º ciclo.....	81
Figura 4.9 – Amônia, Nitrato e Nitrito em águas de irrigação no 1º ciclo.....	81
Figura 4.10 – Cloreto, sódio e potássio em águas de irrigação no 1º ciclo.....	82
Figura 4.11 – Cálcio, Magnésio, Sódio e RAS em águas de irrigação do 1º ciclo.....	82
Figura 4.12 – Ferro, alumínio, zinco, chumbo e potássio em águas de irrigação.....	83
Figura 4.13 – Estrôncio, titânio, níquel cobre, cromo, manganês, bário, cobalto e cádmio em águas de irrigação do 1º ciclo.....	83
Figura 4.14 – pH e Condutividade Elétrica em águas percoladas no 1º ciclo.....	85
Figura 4.15 – Coliformes Totais e <i>E. Coli</i> em águas percoladas no 1º ciclo.....	86
Figura 4.16 – DQO em águas percoladas no 1º ciclo.....	86
Figura 4.17 – Fósforo total e ortofosfato em águas percoladas no 1º ciclo.....	87
Figura 4.18 – Amônia, nitrato e nitrito em águas percoladas no 1º ciclo.....	87
Figura 4.19 – Gráfico da Tensão x Umidade – amostra de solo utilizado na construção das unidades de cultivo (Laboratório LS).....	88
Figura 4.20 – Granulometria Inicial dos solos usados nas unidades de cultivo.....	89
Figura 4.21 – Densidade e porosidade Inicial dos solos usados nas unidades de cultivo ...	89
Figura 4.22 – Sais solúveis dos solos usados nas unidades de cultivo.....	90
Figura 4.23 – Matéria Orgânica e Nutrientes em solos usados nas unidades de cultivo.....	90
Figura 4.24 – Saturação de alumínio, saturação de bases e relação C/N em solos usados nas unidades de cultivo.....	91
Figura 4.25 – Cálcio, Magnésio e Fósforo em solos usados nas unidades de cultivo.....	92
Figura 4.26 – pH e matéria orgânica em solos usados nas unidades de cultivo nos diversos tratamentos.....	92
Figura 4.27 – Ferro, cobre, alumínio, manganês e zinco em solos usados nas unidades de cultivo nos diversos tratamentos.....	93
Figura 4.28 – Sais Solúveis em solos usados nas unidades de cultivo nos diversos tratamentos.....	93
Figura 4.29 – Matéria Orgânica e fósforo em solos usados nas unidades de cultivo nos diversos tratamentos.....	94
Figura 4.30 – Saturação de alumínio, saturação de bases e pH em solos usados nas unidades de cultivo nos diversos tratamentos.....	95
Figura 4.31 – Nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre em folhas no ciclo de cultivo 1.....	96
Figura 4.32 – Boro, cobre, manganês, zinco e sódio em plantas 1º ciclo.....	96

Figura 4.33 – Diâmetro do caule da dália no 1 ciclo.....	97
Figura 4.34 – Altura do caule da dália no 1 ciclo.....	97
Figura 4.35 – Número de folhas da dália no 1 ciclo.....	98
Figura 4.36 – pH e Condutividade Elétrica (CE) em águas percoladas do 2° ciclo.....	99
Figura 4.37 – Coliformes Totais e <i>E. coli</i> em águas percoladas no 2° ciclo.....	99
Figura 4.38 – DQO e cloretos em águas percoladas no 2° ciclo.....	100
Figura 4.39 – Fósforo total e ortofosfato em águas percoladas no 2° ciclo.....	101
Figura 4.40 – Amônia, nitrato e nitrito em águas percoladas no 2° ciclo.....	101
Figura 4.41 – Metais em águas percoladas do 2° ciclo.....	102
Figura 4.42 – Metais em águas percoladas do 2° ciclo.....	102
Figura 4.43 – Cálcio, Magnésio e Ferro em águas percoladas do 2° ciclo.....	103
Figura 4.44 – Cálcio, magnésio e fósforo em solos usados nas unidades de cultivo nos diversos tratamento do ciclo 2.....	104
Figura 4.45 – Matéria orgânica e pH em solos usados nas unidades de cultivo nos diversos tratamento do ciclo 2.....	105
Figura 4.46 – Ferro, cobre, alumínio, manganês e zinco em solos usados nas unidades de cultivo nos diversos tratamento do ciclo 2.....	105
Figura 4.47 – Sais solúveis dos solos usados nas unidades de cultivo nos diversos tratamento do ciclo 2.....	106
Figura 4.48 – Matéria orgânica e fósforo em solos usados nas unidades de cultivo nos diversos tratamento do ciclo 2.....	106
Figura 4.49 – Saturação de alumínio, saturação de bases e pH em solos usados nas unidades de cultivo nos diversos tratamento do ciclo 2.....	107
Figura 4.50 – Nutrientes em folhas no ciclo 2.....	108
Figura 4.51 – Nutrientes em raízes no ciclo 2.....	108
Figura 4.52 – Altura da plantas no ciclo 2.....	109
Figura 4.53 – Número de folhas das plantas no ciclo 2.....	109
Figura 4.54 – Diâmetro do caule das plantas no ciclo 2.....	110
Figura 4.55 – Estrôncio, cálcio, magnésio, ferro, silício, níquel, alumínio, manganês, fósforo, sódio e potássio em águas de irrigação no 3° ciclo.....	111
Figura 4.56 – Alcalinidade, Nitrogênio Total e Condutividade elétrica em águas de irrigação no 3° ciclo.....	112
Figura 4.57 – RAS e Condutividade Elétrica em Águas de Irrigação do 3° ciclo.....	112
Figura 4.58 – Cloretos e o seu limite recomendado em águas de irrigação do 3° ciclo....	113
Figura 4.59 – DBO e DQO em águas de irrigação do 3° ciclo.....	113
Figura 4.60 – Coliformes Totais e Termotolerantes em águas de irrigação do 3° ciclo..	114
Figura 4.61 – Nitrato e Nitrito em águas de irrigação do 3° ciclo.....	115
Figura 4.62 – Sólidos em águas de irrigação do 3°Ciclo.....	115
Figura 4.63 – Potássio, sódio, cálcio e magnésio em águas percoladas do 3° ciclo.....	116
Figura 4.64 – Metais em águas percoladas do 3° ciclo.....	117
Figura 4.65 – Alcalinidade, nitrogênio total e CE em águas percoladas do 3° ciclo.....	117
Figura 4.66 – Cálcio e Magnésio em Solos no 3° ciclo (LQAA).....	119
Figura 4.67 – pH e Matéria Orgânica em Solos no 3° ciclo (LQAA).....	119
Figura 4.68 – Ferro, cobre, alumínio, manganês e zinco em Solos no 3° ciclo (LQAA)..	120
Figura 4.69 – Nitrato, Amônia e Fósforo em Solos no 3° ciclo (LQAA).....	120
Figura 4.70 – Sais Solúveis em solos no 3° ciclo (Soloquímica).....	121
Figura 4.71 – Carbono Orgânico, Matéria Orgânica e Fósforo em solos no 3° ciclo (Soloquímica).....	121
Figura 4.72 – Saturação de Alumínio, Saturação de Bases e pH em solos no 3° ciclo (Laboratório Soloquímica).....	122

Figura 4.73 – Estrôncio, Chumbo, Bário, Manganês e Silício em Águas de irrigação do 4º ciclo.	124
Figura 4.74 – Cálcio, magnésio, ferro, alumínio e fósforo em águas de irrigação do 4º ciclo.	124
Figura 4.75 – Elemento Traços em águas de irrigação do 4º ciclo.	125
Figura 4.76 – Cond. Elétrica, Alcalinidade e Nitrogênio em águas de irrigação do 4º ciclo.	125
Figura 4.77 – Metais em águas percoladas do 4º ciclo.	126
Figura 4.78 – Metais em águas percoladas do 4º ciclo.	127
Figura 4.79 – Cálcio, magnésio, silício e alumínio em águas percoladas do 4º ciclo.	128
Figura 4.80 – Fósforo e Nitrogênio total em águas percoladas do 4º ciclo.	128
Figura 4.81 – Alcalinidade em águas percoladas do 4º ciclo.	129
Figura 4.82 – Condutividade elétrica e pH em águas percoladas do 4º ciclo.	129
Figura 4.83 – Cálcio e magnésio em solo do 4º ciclo (LQAA)	131
Figura 4.84 – Matéria orgânica e nutrientes em solo do 4º ciclo (LQAA)	131
Figura 4.85 – Ferro, cobre, alumínio, manganês e zinco em solo do 4º ciclo (LQAA)....	132
Figura 4.86 – Sais solúveis em solos do 4º ciclo (Laboratório Soloquímica).....	132
Figura 4.87 – Carbono orgânico, matéria orgânica e fósforo em solos do 4º ciclo (Laboratório Soloquímica)	133
Figura 4.88 – Saturação de alumínio e saturação de bases em solos do 4º ciclo (Laboratório Soloquímica).....	133
Figura 4.89 – Composição das raízes no início e ao fim do ciclo 4.	134
Figura 4.90 – Altura das plantas no ciclo 4.	135
Figura 4.91 – Número de folhas das plantas no ciclo 4.	135
Figura 4.92 – Diâmetro do caule das plantas no ciclo 4.	136
Figura 4.93 – Número de flores das plantas no ciclo 4.	136
Figura 4.94 – Alcalinidade e Cloretos em águas de irrigação do 5º ciclo.	138
Figura 4.95 – DBO e DQO em águas de irrigação do 5º ciclo.	138
Figura 4.96 – Coliformes Totais e Coliformes Termotolerantes em águas de irrigação do 5º ciclo.	139
Figura 4.97 – Nitrato e nitrito em águas de irrigação do 5º ciclo.	139
Figura 4.98 – Série de sólidos em águas de irrigação do 5º ciclo.	140
Figura 4.99 – Cobre, ferro e cálcio em águas de irrigação do 5º ciclo.	140
Figura 4.100 – Alcalinidade e Cloretos em águas percoladas do 5º ciclo.	141
Figura 4.101 – DBO e DQO em águas percoladas do 5º ciclo.	142
Figura 4.102 – Coliformes Totais em águas percoladas do 5º ciclo.	143
Figura 4.103 – Nitrato e nitrito em águas percoladas do 5º ciclo.	143
Figura 4.104 – Série de Sólidos em águas percoladas do 5º ciclo.	144
Figura 4.105 – Cobre, ferro e cálcio em águas percoladas do 5º ciclo.	144
Figura 4.106 – Composição do solo ao fim do 5º ciclo.	145
Figura 4.107 – Cálcio, Magnésio, Sódio e potássio em solos do 5º ciclo (LQAA).....	146
Figura 4.108 – Ferro, cobre, alumínio, manganês e zinco em solos do 5º ciclo (LQAA) 146	
Figura 4.109 – Matéria Orgânica e nutrientes em solos do 5º ciclo (LQAA).....	147
Figura 4.110 – pH e Acidez Potencial em solos do 5º ciclo (LQAA).....	147
Figura 4.111 – Composição do solo no 5º ciclo (Bioanalítica).....	148
Figura 4.112 – Densidade e Porosidade do solo no 5º ciclo (Bioanalítica)	148
Figura 4.113 – Diâmetro do caule das plantas no quinto ciclo.....	149
Figura 4.114 – Altura do caule das plantas no quinto ciclo.	149
Figura 4.115 – Número de folhas das plantas no quinto ciclo.	150
Figura 4.116 – Número de flores das plantas no quinto ciclo.	150

Figura 5.1 – Fluxograma seqüencial e geral da metodologia.....	153
Figura 5.2 – Layouts dos <i>softwares</i> utilizados na análise preliminar.....	168
Figura 5.3 – Layout do SAD-PTARH (a) e do SRF (b).....	168
Figura 6.1 – Granulometria inicial do solo (antes do início da irrigação).....	173
Figura 6.2 – Granulometria final do solo (após termino do quinto ciclo).....	173
Figura 6.3 – Comparação dos tratamentos: Altura do caule.....	177
Figura 6.4 – Comparação dos tratamentos: Número de folhas.....	178
Figura 6.5 – Comparação dos tratamentos: Diâmetro do caule.....	179
Figura 6.6 – Comparação dos tratamentos: Número de Botões.....	179
Figura 6.7 – Comparação dos tratamentos: Número de Flores.....	180
Figura 6.8 – Ordenação das alternativas de efluentes.....	182
Figura 6.9 – Resultados da análise multicritério na escolha de efluentes combinados com sistemas de tratamento.....	194
Figura 6.10 – Resultados da matriz 1 da escolha de efluentes, sistemas de tratamento e sistemas de irrigação.....	204
Figura 6.11 – Resultados da matriz 2 da escolha de efluentes, sistemas de tratamento e sistemas de irrigação.....	205

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

APHA.....	American Public Health Association
AR.....	Águas residuárias
AS.....	Aspersão
AWWA.....	American Water Works Association
CAESB.....	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CETESB.....	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CL.....	Cloração
CNRH.....	Conselho nacional de recursos hídricos
CONAMA.....	Conselho nacional do meio ambiente
CTC.....	Capacidade de troca catiônica
ECR.....	Estação de condicionamento para reúso
EMBRAPA.....	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETA.....	Estação de tratamento de água
ETARS.....	Estação de Tratamento de Águas Residuárias
F.....	Filtração
GO.....	Gotejamento
MA.....	Microaspersão
NOVACAP.....	Companhia Urbanizadora da Nova Capital
OMS.....	Organização mundial de saúde
OZ.....	Ozonização
PROSAB.....	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
PST.....	Porcentagem de sódio trocável
USEPA.....	United States Environmental Protection Agency
RAS.....	Razão de absorção de sódio
SABESP.....	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SS.....	Subsuperficial
T1.....	Água + adubação com NPK
T2.....	Água do Lago Paranoá
T3.....	Efluente primário
T4.....	Efluente primário diluído com terciário
T5.....	Efluente secundário
T6.....	Efluente Terciário
T7.....	Efluente UASB
T8.....	Efluente de Lagoa de Alta Taxa
UASB.....	Reator anaeróbico de fluxo ascendente e manta de lodo
UnB.....	Universidade de Brasília
UV.....	Radiação Ultravioleta
WEF.....	Water Environmental Federation

1 - INTRODUÇÃO

A água é o recurso natural mais utilizado no planeta. Atualmente, sabe-se que a água é um bem finito e que seu uso racional é prioridade para evitar sua escassez. Entretanto, muitos lugares no mundo estão sob uma condição de escassez hídrica. A diminuição da disponibilidade hídrica, quantitativa e qualitativamente, traz a necessidade de uma gestão adequada dos recursos hídricos. Dessa forma, o uso indevido e o desperdício de água se tornam ações não justificáveis.

Diversos setores das atividades humanas utilizam os recursos hídricos, seja diretamente ou indiretamente, como insumo básico para o desenvolvimento de suas atividades. Como consequência, os recursos hídricos constituem atualmente o recurso de uma necessidade crescente que apresenta oferta cada vez mais limitada, seja pelo consumo crescente (redução quantitativa), seja pela degradação da qualidade (poluição).

Esses fatores pressionam a sociedade a gerenciar os recursos disponíveis de forma mais eficiente e a buscar novas fontes de fornecimento. Nesse sentido, o desenvolvimento de alternativas não-convencionais de suprimento para fins menos nobres, como o reúso de água, torna-se vantajoso e necessário, principalmente nas regiões onde os recursos disponíveis tornam-se cada vez mais escassos. Essa alternativa possibilita maior disponibilidade de água potável para usos mais nobres.

Do ponto de vista ambiental, o reúso reduz a demanda pela captação de água, pode diminuir a poluição que seria resultante do retorno desses efluentes aos corpos hídricos e ainda contribui para recarga direta ou indireta de aquíferos subterrâneos (no caso da agricultura).

Entre os potenciais usuários das águas de reúso, a agricultura, além de representar o setor com maior demanda, permite o uso de águas de qualidade inferior quando comparado ao uso industrial e doméstico (Trentin, 2005).

Com relação ao reúso de água em irrigação, do ponto de vista agrônômico, essa alternativa além de suprimento para a demanda hídrica das culturas, possibilita a reciclagem integral

dos nutrientes e matéria orgânica dos efluentes, economizando, assim, o uso, de adubos visto que os efluentes sanitários são potenciais fornecedores de nutrientes.

Na agricultura, a irrigação é fundamental para eliminar o risco de deficiência hídrica nos cultivos, aumentar a produtividade, garantir a produção de alimentos e intensificar o uso da terra (Andreoli *et al.*, 2005).

Embora o uso de águas residuárias na agricultura represente uma alternativa adequada sob os aspectos ambiental, social e econômico, pois transforma um resíduo urbano em um insumo de grande valor agrícola, essas águas apresentam comumente, em sua composição, elementos poluentes e patogênicos indesejáveis. Isso exige a definição de critérios que garantam a segurança do uso e assegurem uma relação duradoura entre as empresas de saneamento e os potenciais usuários de águas residuárias.

A possibilidade de contaminação que existe na utilização em irrigação de águas residuárias tratadas, induz a que se busque fazer o reúso de água em irrigação de espécies não comestíveis, apesar de haver muitos estudos no âmbito internacional e nacional que vêm trazendo cada vez mais credibilidade à prática.

O Distrito Federal possui um regime hídrico bem definido com um período de estiagem prolongado. Ocorrem, praticamente, seis meses de chuva seguidos de seis meses de seca durante o ano. Essa condição, por si só, justifica a introdução de práticas de reúso de água. Uma dessas práticas é a utilização de águas residuárias tratadas para irrigação de parques e jardins.

No Distrito Federal são muitas as áreas ocupadas com canteiros de flores e regiões gramadas, sendo que esses são mantidos até mesmo no período de seca. Segundo Militão (2005), o número de canteiros, na época da sua pesquisa, chegava a 1000 unidades.

Segundo Generino (2006), os canteiros ornamentais no Distrito Federal, localizados principalmente no Plano Piloto e nos setores Lago Sul e Lago Norte, são irrigados apenas no período de seca. Consomem a vazão máxima de 1,68 milhão de litros de água por dia. Desses, cerca de 1,5 milhão de L/dia provem de um pequeno manancial de água de excelente qualidade chamado Córrego Acampamento, e 0,18 milhão de L/dia são captados

de outros mananciais. Esse volume de água é utilizado para irrigar 168.000 m² de canteiros ornamentais. Os gramados, normalmente, não são irrigados, exceto os de palácios e principais edifícios públicos. A irrigação de canteiros é feita por caminhões-pipa, que se deslocam de 15 km a 20 km a partir do ponto de captação do córrego Acampamento. Na irrigação dos jardins do Balão do Aeroporto e de áreas adjacentes, são utilizadas águas do riacho Vicente Pires, mais próximo desses jardins.

Para que a prática de reúso em irrigação paisagística possa ser utilizada nos canteiros de flores do Distrito Federal, deve-se estudar criteriosamente qual dos efluentes das Estações de Tratamento de Águas Residuárias (ETARs) teriam um maior potencial para tal prática.

Estudos em escala piloto em irrigação ornamental foram conduzidos por Silva e Silva (2004), Máximo (2005) e pela equipe do Programa de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos da Universidade de Brasília no âmbito do Programa de Saneamento Básico – PROSAB 4, tema 2, até o ano de 2006. Ambos os estudos utilizaram a espécie florífera Dália Anã Sortida (*Dahlia pinnata*) como cultura a ser irrigada.

Vários fatores influenciam na seleção dos efluentes a serem utilizados, tais como a qualidade físico-química dos efluentes, seus possíveis impactos ao solo, aspectos sanitários, aspectos de produtividade, de minimização do consumo de fertilizantes e minimização dos problemas com os sistemas de irrigação.

Outros aspectos importantes a serem considerados são: o sistema de tratamento adicional a que o efluente deve ser submetido para que se enquadre nos padrões de reúso e com qualidades satisfatórias para essa finalidade; e o sistema de irrigação a ser utilizado que deverá considerar que os efluentes a serem utilizados, mesmo sendo tratados, possuem características diferentes de águas de mananciais ou de abastecimento (que normalmente são utilizadas), e isso deve ser levado em conta para a escolha do sistema.

A seleção do efluente para o reúso em irrigação paisagística, de tecnologias de tratamento para esse fim e de sistemas de irrigação para esses casos, exige uma decisão a ser tomada em função de uma série de critérios que são, na maioria das vezes, concorrentes.

As técnicas de análise de decisão Multiobjetivo e Multicritério (MOMC – do inglês *multi-criteria decision analysis – MCDA*) têm se revelado como recurso significativo de apoio à decisão, especialmente em problemas de interesse público. Com grande suporte em modelagem matemática, a abordagem Multiobjetivo e Multicritério justifica-se por permitir organizar melhor as informações e a importância de cada participante nas etapas decisórias, evidenciar os conflitos entre os objetivos e quantificar o grau de compromisso existente entre eles (Gobetti e Braga, 1997).

Destarte, foi realizada a concepção dos sistemas de reúso de água em irrigação paisagística no Distrito Federal, com a utilização de dados experimentais realizados em escala piloto obtidos por Silva (2004) e Máximo (2005) e sob a ótica da abordagem Multiobjetivo e Multicritério de apoio à tomada de decisão. Foram utilizados métodos de auxílio à decisão multiobjetivo/multicritério para seleção do efluente a ser utilizado na irrigação, para a escolha do sistema de tratamento de água com fins de reúso e para a indicação do sistema de irrigação a ser utilizado nesse caso específico.

2 - OBJETIVOS

2.1 - OBJETIVO GERAL

Apresentar e aplicar, sob a ótica da Análise Multiobjetivo/Multicritério, uma metodologia de seleção dos sistemas de reúso de água em irrigação paisagística, utilizando dados obtidos em um estudo piloto, previamente realizado em cinco ciclos de cultivo de flores da espécie Dália Anã Sortida (*Dahlia pinnata*), e alicerçado pelas recomendações da literatura especializada.

2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Constituíram-se objetivos específicos do trabalho:

- Verificar as modificações ocorridas no sistema água-solo-planta, advinda da utilização, em cinco ciclos de cultivo, de águas residuárias tratadas na irrigação da espécie florífera Dália Anã Sortida (*Dahlia pinnata*).
- Determinar o efluente tratado mais adequado para aplicação nos canteiros de flores do Distrito Federal, com auxílio de métodos de análise de decisão multiobjetivo e multicritério e comparando os efeitos entre os diferentes tipos de água de irrigação aplicados em estudos anteriores realizados em escala piloto;
- Decidir, com auxílio de métodos de análise de decisão multiobjetivo e multicritério, o sistema de tratamento adicional mais apropriado para adequação do efluente selecionado às condições de reúso de água urbano considerando as recomendações da literatura específica; e
- Indicar um sistema de irrigação para os canteiros de flores do Distrito Federal, com auxílio de métodos de análise de decisão multiobjetivo e multicritério, ponderando as recomendações da literatura específica pertinente e considerando o efluente e o sistema de tratamento adicional selecionados.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A intenção deste capítulo é a de explicar os conceitos pertinentes, e também das atualidades a respeito dos principais temas envolvidos nesta dissertação. Reúso da Água, Sistemas de Tratamento das Águas para fins de Reúso, Sistemas de Irrigação e Métodos de Análise de Decisão Multiobjetivo e Multicritério são a base do contexto deste trabalho.

A relevância deste capítulo é a de situar o leitor nos diversos assuntos abordados, visto que não necessariamente eles são da mesma área de conhecimento. Dessa forma, os leitores interessados nessas áreas de conhecimento poderão se situar na percepção global do texto. Entretanto, para elucidação mais detalhada sobre os temas, as referências citadas devem ser consultadas.

3.1 - REÚSO DE ÁGUA

A água foi, por muito tempo, considerada pela humanidade como um recurso inesgotável e, talvez por esse motivo, usado sem parcimônia. Não faltam exemplos de escassez de água doce, evidenciada pelo abaixamento do nível dos lençóis freáticos, o desaparecimento ou diminuição de lagos, a secagem dos pântanos. Várias regiões do mundo possuem este panorama e, para a explicação de tais fenômenos, comumente o setor técnico menciona como causa as condições meteorológicas ou os “caprichos do tempo”, como comentam Florêncio *et al.* (2006).

O problema do balanço da oferta contra a demanda de recursos hídricos não é um problema apenas das regiões áridas e semi-áridas, pois os conflitos de uso da água também se fazem perceber em outras regiões, inclusive onde se dispõe de recursos hídricos com boa oferta.

O reúso de água subentende uma tecnologia desenvolvida em maior ou menor grau, dependendo dos fins a que se destina a água e de como ela tenha sido utilizada anteriormente. O que dificulta, entretanto, a conceituação precisa da expressão “reúso da água” é a definição do exato momento a partir do qual se admite que o reúso esteja sendo feito, como comentam Brega Filho e Mancuso (2003).

A prática de descarregar esgotos, tratados ou não, em corpos de água superficiais é a solução normalmente adotada pelas comunidades, no mundo inteiro, para afastamento dos resíduos líquidos. Geralmente, esses corpos de água servem como fonte de abastecimento a mais de uma comunidade, havendo casos em que a mesma cidade lança seus esgotos a faz uso do mesmo corpo hídrico como manancial para potabilização. A comunidade, indústria ou o agricultor que coleta a água, na realidade, está reutilizando-a pela segunda, terceira ou mais vezes.

Assim sendo, a caracterização de reúso deve levar em conta o volume de esgoto recebido pelo corpo de água, relativamente ao volume de água originalmente existente no rio. Num exemplo hipotético de comunidades que utilizam água de um rio que recebe descargas de esgoto, não há sentido em identificar como reúso a situação da comunidade que captasse água cuja diluição pudesse ser caracterizada, em termos práticos, como infinita.

Se por um lado, a literatura é bastante rica quanto à terminologia do reúso da água, por outro, existe desacordo entre vários autores, o que dificulta o entendimento dessa prática. De maneira geral, o reúso da água pode ocorrer de forma direta ou indireta, por meio de ações planejadas ou não.

Para Lavrador Filho (1987), reúso da água seria o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, para suprir as necessidades de outros usos, incluindo o original. De acordo com Metcalf & Eddy (1991), reúso da água é o uso da água residuária tratada para diversas finalidades, tais como irrigação e troca térmica em indústrias. Já a recente Resolução N°54, de 28 de novembro de 2005, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), define o reúso de água como sendo apenas utilização de água residuária, que é definida como sendo esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústria, agropecuária, tratados ou não (Brasil, 2006a).

Contudo, Souza (2004) considera que existam três condicionantes básicas para que algum tipo de utilização de águas residuárias possa ser enquadrado como reúso de água: (i) ele tem que ser intencional; (ii) ele tem que ser planejado; e (iii) ele tem que ser continuamente controlado. Se um desses requisitos não for atendido, não se pode afirmar que existe reúso de água, e o que se tem, na realidade, é um processo de poluição e contaminação ambiental, causador de impacto ambiental e riscos à saúde pública.

Como várias formas de reúso geralmente acontecem acidentalmente, utiliza-se mais o termo “reúso planejado de água”. Neste texto (seguindo a terminologia adotada por Souza em 1997), e na maioria das vezes, quando se menciona reúso de água está implícita a palavra “planejado”, que ajuda na fluência do texto.

Várias terminologias são usadas para as diferentes chaves de classificação dos tipos de reúso. Podem ser divididos em reúso potável e não potável, direto e indireto, planejado e não planejado e também combinações entre esses como por exemplo “reúso indireto não planejado de água”. Considerações a respeito dessas várias terminologias e conceitos de reúso da água são mais bem explanados em Silva e Silva (2004), Brega Filho e Mancuso (2003), Souza (1997) e Metcalf & Eddy (1991).

No âmbito nacional, a Resolução N°54, de 28 de novembro de 2005, do CNRH (Brasil, 2006a), estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água e adota algumas definições importantes.

Souza (2004) comenta como interessante notar que se formou um conceito muito forte, tanto entre os leigos como entre os técnicos em recursos hídricos, de que existe um binômio entre a escassez de água e o reúso de água. Em outras palavras, é senso comum que a implantação de projetos de reúso de água em uma região se dá pela ocorrência de falta de água.

Por causa disso, ignoram-se fatos como a relatividade do conceito de déficit hídrico, que depende de condições econômicas, tecnológicas, urbanísticas, e geográficas, e, principalmente, que existem muitos outros fatores que podem levar à implantação de sistemas de reúso que não a simples solução de problemas de escassez de água.

3.1.1 - Tipos de Reúso de Água

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) promulgou a Resolução N° 54 que estabelece modalidades de reúso, estabelece em seu artigo 3°:

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

I - reúso para fins urbanos: utilização de água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;

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

III - reúso para fins ambientais: utilização de água de reúso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;

IV - reúso para fins industriais: utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais; e

V - reúso na aquicultura: utilização de água de reúso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos” (Brasil, 2005).

Também bastante disseminada é a subdivisão dos usos agrícolas e urbanos em uso restrito e uso irrestrito, conforme Florêncio *et al.* (2006). O que define essas duas categorias é o grau de restrição de acesso ao público, de áreas e técnicas de aplicação dos esgotos ou de plantas irrigadas, ou seja, controlando a exposição humana; e as exigências de tratamento e o padrão de qualidade de uso de efluentes.

3.1.2 - Experiências em Reúso de Água

Embora a utilização de esgotos sanitários seja uma prática mais que centenária, Florêncio *et al.* (2006) interpretam como sendo um conceito moderno, na medida em que ganha cada vez mais reconhecimento como uma importante estratégia para o desenvolvimento sustentável. Os exemplos em todo o mundo vão desde sistemas rigidamente controlados por diretrizes governamentais, com elevados níveis de planejamento e respaldados em políticas de gestão de recursos hídricos, até iniciativas espontâneas de pequenos agricultores envolvendo sérios riscos à saúde pública. Entretanto, apenas posteriormente foram-se consolidando as bases técnicas e científicas para o reúso controlado (Blumenthal, 1989; Strauss, 2001).

3.1.2.1 - Contexto Internacional

Nos EUA, em 1918, o departamento de saúde pública do estado da Califórnia emitiu a primeira regulamentação oficial sobre a utilização agrícola de esgotos sanitários que se tem conhecimento (Crook, 1978). Nesse país, o reúso da água (utilização de esgotos tratados) em suas diversas modalidades (agrícola, urbano, industrial, etc.) é hoje objeto de regulamentação em todo o território nacional, complementada por legislações vigentes em vários estados (USEPA, 2004).

Organismos internacionais, como a Organização Mundial de Saúde (OMS), também têm se dedicado à elaboração de recomendações de critérios de saúde para a utilização de esgotos sanitários. Em 1973, a OMS publicou suas primeiras diretrizes sanitárias sobre o uso de águas residuárias (WHO, 1973; WHO, 1989; WHO, 2006a, b).

Muitas instalações, planejadas ou acidentais, de reúso na agricultura no mundo vêm sendo relatadas ao longo dos anos. Percebe-se que muitas delas surgiram a partir da percepção da possibilidade de reúso aliada à necessidade de alguns locais em condições de escassez hídrica. Algumas dessas instalações são mostradas na Tabela 3.1 (a e b) que foram mostradas em Silva e Silva 2004.

3.1.2.2 - Experiência Nacional

No Brasil, desde a promulgação da Lei N° 9433 de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Brasil, 1997), a gestão dos recursos hídricos é respaldada em um moderno aparato normativo e institucional, em fase crescente de implantação (Florêncio *et al.*, 2006).

Já a Resolução CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes (Brasil, 2005a), define diretrizes de qualidade da água de acordo com os usos preponderantes dos cursos de água. Entretanto, as referidas legislações dispõem essencialmente sobre o uso direto da água,

ainda que na Lei N° 9433/97 (Brasil, 1997) se percebiam vários dispositivos que apontam na direção do reúso como um processo importante para a racionalização do uso de água.

Tabela 3.1a - Algumas experiências de reúso agrícola no mundo

Local	Descrição	Dimensões	Referência
Ra'anana, Israel	Níveis de tratamento indicados são: tratamento terciário para disposição final em corpos d'água no verão, tratamento secundário para a irrigação dos pomares e desinfecção adicional para a disposição final em corpos d'água e irrigação restrita.	Coleta aproximadamente 6mcm (milhões de m ³) de águas residuárias anualmente. Assume uma irrigação de 600 m ³ /ha e 5000 ha cultivados com pomares irrigados com águas residuárias tratadas.	(Haruvy, 1997)
Vale de Jeezrael, Israel	Rica região agrícolas de Israel com alta densidade populacional e limitações nos recursos hídricos. Localiza-se em uma região semi-árida e utiliza águas residuárias recuperadas na agricultura.	65% do esgoto municipal tratado é reutilizado para irrigação na agricultura com previsão de chegar a 80% num futuro próximo	(Bahri, 1999)
Austrália	Nas zonas temperadas da Austrália, o reúso agrícola tem sido usado para a irrigação de diversas culturas e nas zonas áridas, para a irrigação de árvores.	Menos de 10% dos efluentes domésticos e industriais são aproveitados para se obter os benefícios do reúso com número crescente de iniciativas.	(Anderson, 1996)
França	Um país onde os recursos hídricos são sempre abundantes e bem distribuídos, e o reúso de água na irrigação desperta um modesto interesse em nível nacional. Entretanto, o reúso de água é uma prática antiga, devido problemas de ordem sanitária.	Em Paris, desde o século XIX e mais de 2000 ha com cultivo parcial com vegetais e raízes para serem comidas cruas. Reims, similarmente com área de quase 600 ha. Mais de 17 projetos de reúso agrícola, em pequena escala foram desenvolvidos na França desde 1981	(Bontoux e Courtois, 1996 e Faby, <i>et al.</i> , 1999)
Tunísia	Irrigação de árvores frutíferas, algodão, cereais, tabaco, campos de golfe, jardins e hotéis. Na maioria dos casos exige-se tratamento em nível secundário.	Desde os anos 60 para irrigar o projeto Soukra, abrangendo cerca de 600 ha. Áreas irrigadas na Tunísia e em alguns países da região do Mediterrâneo constam de 6.400 ha distribuídos em vários projetos.	(Bahri e Brissaud, 1996)

Silva e Silva (2004) (adaptado).

Mais recentemente, o projeto de Lei N° 5296/2005 (que constitui as diretrizes para os serviços públicos de saneamento básico e a Política Nacional de Saneamento Básico) já se refere diretamente ao reúso da água em seu Artigo 10, Inciso III (Brasil, 2005b): “São diretrizes relativas ao esgotamento sanitário: incentivar o reúso da água, a reciclagem dos

demais constituintes dos esgotos e a eficiência energética, condicionado ao atendimento dos requisitos de saúde pública e de proteção ambiental pertinentes”.

Tabela 3.1b - Algumas experiências de reúso agrícola no mundo (continuação)

Local	Descrição	Dimensões	Referência
Países do Mediterrâneo	Marrocos, Jordânia, Egito e Espanha, utilizam águas residuárias recuperadas e de lodos de esgotos para fins agrícolas resultou no melhoramento dos solos arenosos da região, desde 1971. Sugerem lagoas de estabilização como forma de tratamento para se obter um efluente de melhor qualidade do ponto de vista sanitário.	Até 2010 pretende-se aumentar o potencial de reúso agrícola de 24.4% para 36%, a partir da implantação de novos projetos.	(Shelef e Azov, 1996)
Braunschweig, Alemanha	O reúso agrícola vem sendo praticado nessa região há mais de 100 anos. Em 1954, houve uma expansão para 3.000 ha de terras cultivadas com aveia, batatas, grãos e beterraba, irrigados por aspersão.	Distribuição para cerca de 300 fazendas por meio de 100 km de tubulação e são aspergidas em 6 aplicações de 50 mm cada, sendo 3 no verão e 3 no inverno	(FAO, 1985)
Califórnia, EUA	O distrito de Tuolumne distribui as águas recuperadas para fazendeiros da região para a irrigação de 500 ha de forrageiras e pasto. As culturas cultivadas incluem, milho, grama, aveia, dentre outras.	As águas residuárias recuperadas são transportadas por uma tubulação de 14,2 km para serem armazenadas em um reservatório com capacidade para 1,85 x 10 ⁶ m ³ . No Distrito de Santa Rosa 20 fazendas utilizam águas residuárias recuperadas para irrigar 1.600 ha, na maioria por aspersão.	(FAO, 1985)

Silva e Silva (2004) (adaptado).

Também recentemente, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) promulgou a Resolução N° 54 que estabelece modalidades de reúso: (i) reúso para fins agrícolas e florestais; (ii) reúso para fins urbanos; (iii) reúso para fins ambientais; (iv) reúso para fins industriais; (v) reúso na aquicultura (Brasil, 2006a).

Abordando um tema de interesse semelhante, pois se refere a um outro resíduo gerado em estações de tratamento de águas residuárias, a Resolução do CONAMA N° 375 de 29 de agosto de 2006, define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados (Brasil, 2006b).

Várias instalações de reúso em irrigação têm sido estudadas no Brasil. No âmbito do PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, edital 4, tema 2, muitos trabalhos de reúso em irrigação foram realizados. Mota (2005) coordenou pesquisas estudando a fertirrigação com águas residuárias tratadas em diferentes níveis (AR) de melancia, mamona, feijão e mamão por sistemas de irrigação por sulcos e gotejamento. Volschan Junior (2005) coordenou o estudo da cultura do milho fertirrigada com AR e irrigadas por aspersão. Naval (2005) estudou a produção de batata doce com água de reúso para produção de biomassa para produção de álcool. Coraucci (2005) estudou a fertirrigação do milho e avaliando a qualidade das águas subterrâneas, através de poços de monitoramento, e dos percolados que são coletados por coletores de drenagem livre. Piveli. (2005) coordenou o estudo em cultivo de cana de açúcar e capim tifton por gotejamento e aspersão, respectivamente. Melo (2005), coordenou estudos do emprego de efluentes na irrigação de capim elefante, milho, arroz, girassol e sorgo; e o cultivo por hidroponia NFT as espécies floríferas *Gerbera jamesonii* e *Zinia elegans*. Todos esses experimentos demonstram o principal delineamento que os estudos de reúso em irrigação vêm sendo conduzidos no Brasil.

3.1.2.3 - Reúso de Água no Distrito Federal

A primeira tentativa de reúso de água no Distrito Federal ocorreu quando a CAESB (Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal) projetou e construiu uma ETA (Estação de Tratamento de Água) para captação, tratamento e distribuição de água do lago Paranoá, corpo receptor dos esgotos tratados de duas ETARs (Estações de Tratamento de Águas residuárias), constituindo-se um caso de reúso potável indireto. A população do Paranoá recusou-se a usar essa água, e a ETA teve de mudar o manancial de captação (Máximo e Souza, 2004).

A Universidade de Brasília (UnB), no âmbito do programa de pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, vem desenvolvendo uma série de pesquisas sobre reúso de água no Distrito Federal.

Santos (2000) realizou a dissertação, tendo em vista o estudo da potencialidade do aproveitamento de esgotos sanitários no Distrito Federal. As ETARs mostraram-se capazes de dar origem a efluentes finais de qualidade físico-química e sanitária adequada para o

reúso, entretanto necessitariam de alguma adequação que poderia ser feita com a concepção de um tratamento adicional, como a desinfecção, relevante no controle bacteriológico da água para reúso, ou ainda com a construção de novas unidades de tratamento como lagoas de estabilização, mas avaliando os custos adicionais necessários.

Felizatto (2000) avaliou o potencial do reúso de água em piscicultura como pós-tratamento de efluentes de lagoas de estabilização em série com a implantação de uma unidade-piloto com dois tanques paralelos. Um foi cultivado com peixes, e o outro foi utilizado para controle. Os peixes produzidos nesses experimentos foram considerados adequados para o consumo humano.

Machado (2006) pesquisou a utilização de águas residuárias tratadas da ETE Samambaia para criação de peixes da espécie tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). O trabalho foi desenvolvido em três tanques piscícolas recebendo: (i) efluente da estação e alevinos, sem alimentação complementar; (ii) efluente; e (iii) água natural e alevinos, que foram alimentados com ração artificial. Não se percebeu a mortandade de peixes, apesar da condição à qual eles foram expostos ter sido considerada inadequada para a criação da espécie.

Silva e Silva (2004) investigou o reúso de água na irrigação ornamental. A pesquisa objetivou avaliar os efeitos sobre o sistema solo-água-planta e o potencial do tratamento do próprio sistema. Na irrigação, se utilizaram efluentes brutos e com diferentes níveis de tratamento, água do lago Paranoá e do sistema público de abastecimento totalizando 6 “tratamentos” (efluentes), 3 repetições em 18 unidades de cultivo. A forma tradicional de cultivo (irrigação com água e adubação do solo) apresentou a pior condição de qualidade dos percolados, dadas as altas concentrações de nitrato. Os resultados mostraram também que as plantas irrigadas com esgoto apresentaram produtividade superior às irrigadas com água de abastecimento e do lago Paranoá.

Máximo (2005), incrementando a pesquisa realizada por Silva e Silva (2004), investigou o reúso em irrigação paisagística, irrigando espécies floríferas (Dália Anã Sortida) com 8 “tratamentos” (efluentes) e cinco repetições cada, totalizando 40 unidades experimentais. Concluiu que os efluentes podem substituir os fertilizantes utilizados nos processos convencionais de produção, possibilitando a reciclagem de água e nutrientes. Entretanto

faz se necessário o acompanhamento das características do solo para que não ocorram problemas de impermeabilização e salinização do solo, já que os efluentes utilizados na irrigação mostraram restrições moderadas ao uso.

Experiências em escala real foram desenvolvidas no Posto e Motel Flamingo (Barbosa e Souza, 1999) e em Hospital da Rede Sarah construído às margens do lago Paranoá. Neste caso, o efluente gerado e tratado é utilizado diretamente nas áreas interna e externa do hospital, para irrigar áreas verdes e na descarga de vasos sanitários (Felizzato, 2001).

Muitos trabalhos recentes têm sido apresentados para a comunidade científica e acadêmica sobre reúso de água no Distrito Federal e na região do seu entorno. Segundo Souza (2004), as exigências ambientais severas têm-se constituído em fator principal que contribui para a decisão de se fazer o reúso de água. Discute ainda a percepção clara que as pessoas têm sobre a necessidade do reúso de água quando os recursos hídricos são escassos, e apresenta uma série de outros fatores determinantes da oportunidade de implantação do reúso de água em uma região. Defende a tese de que, no Distrito Federal, assim como em muitos outros locais, as exigências ambientais constituem-se em fator primordial que conduz à implantação de sistemas de reúso de água.

Generino (2006a) examinou a pertinência de utilização de abordagem multicritério como ferramenta de planejamento em reúso de água. Fez a caracterização do Distrito Federal (área de estudo), definiu as áreas passíveis de serem irrigadas com água de reúso por sobreposição de mapas temáticos trabalhando com decisores e utilizando o Método ELECTRE III.

Obteve como resultados que os esgotos sanitários tratados de todas as estações de tratamento de esgotos (ETEs) não apresentaram qualidade satisfatória para irrigação irrestrita. Sugeriu o uso na irrigação das grandes culturas do Distrito Federal (DF): milho, soja, café e trigo. Identificou seis alternativas relacionadas às ETEs para se realizar reúso no Distrito Federal: Brazlândia, Samambaia/Melchior, Gama, Asa Sul, Planaltina e São Sebastião; onde as seis alternativas têm capacidade para irrigar todos os canteiros ornamentais, como também 4.268 ha de áreas agrícolas - correspondentes a 38% das áreas irrigadas das grandes culturas do DF. Após a aplicação do Método ELECTRE III, as alternativas mais vantajosas relacionaram-se às ETEs Sul e Samambaia/Melchior

Souza (2004) comenta que, para um futuro próximo, espera-se que o aumento previsto no valor da água, devido à instituição da política de outorga e cobrança do uso de recursos hídricos, deva compartilhar essa importância e contribuir para que se instaure uma situação mais propícia a um programa generalizado de reúso de água.

3.1.3 - Reúso de Água na Irrigação Urbana

Segundo Mota (2000), a utilização de esgotos tratados em irrigação deve considerar os seguintes aspectos: (1) tipos de culturas a serem irrigadas; (2) qualidade necessária para o efluente a ser utilizado, em função dos tipos de cultura a irrigar; (3) tratamento a ser aplicado ao esgoto, dependendo da qualidade desejada para o efluente; e (4) técnicas de irrigação a serem utilizadas e medidas de controle ambiental a serem adotadas.

Segundo Florêncio *et al.* (2006), as modalidades de reúso urbano e ambiental (paisagístico) envolvem uma grande variedade de aplicações, dentre outras: (i) irrigação de campos de esporte, parques, jardins, cemitérios, canteiros de rodovias, etc; (ii) usos ornamentais e paisagísticos; (iii) descarga de toaletes; (iv) combate a incêndios; (v) lavagem de veículos; (vi) limpeza de ruas; (vii) desobstrução de redes de esgoto e de drenagem pluvial; (viii) usos na construção civil, como a compactação do solo e o abatimento de poeira.

3.1.3.1 - Qualidade das águas de reúso em irrigação

A avaliação da qualidade do efluente como água de irrigação é fundamental para a viabilidade dos projetos de reúso em irrigação. Pode comprometer o sucesso de tal prática. Hespanhol (2003) comenta que os parâmetros de estudo necessários para se verificar a aplicabilidade do efluente para irrigação, são: (1) pH; (2) Salinidade; (3) Taxa de infiltração no solo – A taxa de infiltração da água no solo, isto é, a permeabilidade da água, (depende fundamentalmente da salinidade e da concentração de sódio em relação às concentrações de Cálcio e Magnésio, ou seja, o RAS – Relação de Adsorção de Sódio) (4) Toxicidade por íons específicos representada, principalmente, pelos íons sódio, cloro e boro que afetam de forma mais incisiva as propriedades do solo e das plantas; (5) Nutrientes; (6) DBO; (7) SST; (8) Turbidez e Cor Aparente; (9) Coliformes fecais; (10) Nematódeos intestinais; (11) Elementos traços.

Quanto às características que determinam a qualidade da água para irrigação, segundo Bernardo (1989), de um modo geral, a água deve ser analisada em relação a: (1) concentração total de sais (salinidade); (2) proporção relativa de sódio em relação a outros cátions (permeabilidade do solo); (3) concentração de elementos tóxicos; (4) concentração de bicarbonatos e (5) aspecto sanitário. A Tabela 1 do Apêndice 6 mostra as recomendações de Ayers e Westcot (1985) para a qualidade da água de irrigação.

Os parâmetros condutividade elétrica (CE) e à Razão de adsorção de sódio (RAS), classificam as águas quanto ao perigo de salinidade e sodicidade. A água de irrigação salina traz problemas de acumulação de sais via irrigação no solo e a redução da disponibilidade de água para as plantas, em função do incremento no potencial osmótico, influenciando na produtividade.

Com relação à infiltração, esta comumente aumenta com o aumento da salinidade e diminui com a redução desta, ou com o aumento no teor de sódio em relação ao cálcio e magnésio (RAS). Dessa forma, para avaliar o efeito final da qualidade da água, deve-se considerar esses dois fatores (Ayers e Westcot, 1985). Problemas de infiltração da água ocasionam redução na produção devido à cultura não receber a quantidade de água necessária, além disso, ainda ocorre a formação de crostas superficiais e surgimento de problemas de germinação e emergência das plantas.

Os problemas de toxicidade, em geral, complicam e potencializam os problemas de salinidade e permeabilidade, pois a acumulação dos íons em concentrações tóxicas demora certo tempo e os sintomas visuais dos danos desenvolvem-se muito lentamente para serem notados. O surgimento de tal problema dependerá do tempo, da concentração, da tolerância da cultura e do volume de água transpirada.

Quando a proporção Ca/Mg na água de irrigação é menor que a unidade, os efeitos potenciais do sódio são ligeiramente maiores em virtude da concentração de sódio ser determinada por meio das RAS. Isso quer dizer que determinado valor de RAS é ligeiramente mais perigoso quando a proporção Ca/Mg é menor que a unidade e quanto mais baixa maior o impacto da RAS.

Os íons cloretos presentes na água de irrigação provocam com maior frequência toxicidade nas culturas. Esses íons não são adsorvidos pelas partículas do solo, porém, por serem muito móveis, são facilmente absorvidos pelas raízes das plantas e transportados até as folhas, onde se acumulam devido à transpiração.

Com relação ao pH, águas com pH anormal podem criar desequilíbrios de nutrição ou conter íons tóxicos. No caso das águas de irrigação, o pH normal situa-se entre 6,5 e 8,4 (Ayers e Westcot, 1985). Sobre metais em águas de irrigação, a Tabela 2 do Apêndice 6 mostra as concentrações máximas recomendadas e algumas observações relativas aos seus impactos.

Padrões de qualidade da água de reúso aplicadas em irrigação

O reúso de água, para qualquer fim, depende de sua qualidade física, química e microbiológica. A maioria dos parâmetros de qualidade físico-químicos são bem compreendidos, tendo sido possível estabelecer critérios de qualidade orientadores para o reúso. Os limites microbiológicos relativos à saúde são mais difíceis de serem quantificados, como evidenciado pela multiplicidade de parâmetros e orientações de uso, (Crook, 1993).

Um dos aspectos mais importantes da utilização de esgotos sanitários na agricultura, o de saúde pública, é ainda objeto de grandes controvérsias no seio da comunidade científica internacional.

De um lado, encontram-se as normas e padrões que preconizam a utilização de efluentes para a irrigação irrestrita com qualidade microbiológica próxima dos padrões de potabilidade de água, ou seja, a virtual ausência de indicadores e patogênicos, incluindo vírus e protozoários (Asano, *et al.*, 1992; USEPA, 1992). Essas normas e padrões em geral estão baseados nos critérios da Califórnia (EUA), pioneiro em promover a recuperação das águas residuárias e seu reúso (Asano e Levine, 1996), e encontram-se justificados na teoria que se convencionou chamar de “risco nulo” (Shuval, 1987).

De outro lado, encontram-se os critérios recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em 1989, que foram desenvolvidos a partir de modelos teóricos e evidências

epidemiológicas, além das informações então disponíveis sobre a eficiência de remoção de organismos patogênicos, principalmente por meio de lagoas de estabilização.

Sintetizando, nos padrões recomendados pela OMS (1989) para reúso, consideram-se os parâmetros Nematóides Intestinais e Coliformes Termotolerantes, que são divididos em categorias, considerando o processo de tratamento a ser dado ao efluente, os grupos de riscos, o tipo de cultura e o tipo de irrigação, como é mostrado na Tabela 3 do Apêndice 6. Nos padrões do Estado da Califórnia, consideram-se os parâmetros DBO, SST, Nitrogênio Total, Turbidez e Coliformes Totais para irrigação de parques e jardins que podem ser visualizados na Tabela 4 do Apêndice 6 (Crites e Tchobanoglous, 1998).

A comparação entre as duas vertentes de padronização de parâmetros para utilização do reúso de água, indica que, segundo Crook (1993), os critérios para reúso da água na Califórnia são os típicos padrões seguidos por países industrializados para a proteção da saúde, e as orientações para o reúso segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), são dirigidas especialmente para os países em desenvolvimento. Aponta ainda que os padrões da Califórnia são consideravelmente mais restritivos do que a orientação da OMS.

As atividades antrópicas normalmente praticadas em áreas verdes não incluem contatos primários sendo, portanto, a frequência de interação homem-meio ocasional. Os aspectos condicionantes para a aplicação incidem principalmente sobre a saúde pública, sobre a vegetação e sobre o aspecto estético, ou seja, são caracterizadas como não objetáveis.

Os critérios e padrões vigentes nos EUA, estipulados pela USEPA, também tem servido de referência e sido adotados como normas em diversos países, seja como meras cópias, seja adaptadas às diversas particularidades locais. Mostram-se na Tabela 5 do Apêndice 6.

Com relação aos parâmetros nutrientes (Nitrogênio Total e Fósforo), DBO, SST, Turbidez e Cor Aparente, Hespanhol (2003) tece os comentários que se seguem. O **Nitrogênio** se constitui no nutriente principal das plantas e é encontrado em concentrações de aproximadamente 15 mg.L^{-1} (nitrogênio total) em efluentes de sistemas de lodos ativados. O **Fósforo** ocorre em concentrações próximas de 3 mg.L^{-1} , também como fósforo total. Em excesso, o nitrogênio e o fósforo, assim como os nutrientes, K, Zn e S, podem causar problemas nas plantações.

Teoricamente, a **DBO** total pode influir na adsorção de água pelas raízes da planta apenas quando as concentrações atingem valores superiores a 100 mg/L. Entretanto a carga orgânica biodegradável deve ser controlada para evitar o desenvolvimento de microorganismos e os maus odores, principalmente em dias muito quentes. Recomenda-se o uso de efluentes com valores de DBO menores que 20 mg.L⁻¹.

Com relação a **SST**, a presença de concentrações elevadas de sólidos nos efluentes pode levar ao desenvolvimento de maus odores em gramados, devido à degradação, eventualmente anaeróbia, desses sólidos. Os sólidos podem, também, servir como substrato para o desenvolvimento de microorganismos e outros vetores associados à transmissão de doenças. Além disso, quando a rega é feita por aspersão, gotejamento ou subsuperficialmente, a presença de sólidos pode causar o entupimento de orifícios, comprometendo a distribuição adequada de água. Afeta também a oxigenação do sistema radicular. Recomenda-se o uso de efluentes com valores de SST menores que 20 mg.L⁻¹.

A **Turbidez** e a **Cor Aparente**, embora estejam associadas a sólidos (suspensões coloidais) e a compostos orgânicos dissolvidos, respectivamente, são determinantes para a aceitação estética visual na prática. Recomenda-se o uso de efluentes com Turbidez menor que 5 UNT e Cor Aparente menor que 30 UC.

3.1.3.2 - Fertirrigação com águas residuárias

Observa-se que as taxas potenciais de aplicação de nutrientes podem superar, por vezes em muito, a demanda da grande maioria das culturas e as doses recomendadas de fertilização, especialmente em relação ao nitrogênio e fósforo (Bastos, 2003). A aplicação de nitrogênio em excesso pode provocar a queda na produção e/ou a queda da qualidade do produto. Pode ainda mostrar-se problemática em vista dos riscos de lixiviação de nitratos e contaminação do lençol subterrâneo.

Outro aspecto a ser considerado é a forma em que os nutrientes se encontram no efluente. Enquanto que a maioria dos fertilizantes nitrogenados são formulados a base de amônia e nitratos, a composição dos esgotos sanitários pode variar bastante em função do processo de tratamento utilizado. Por exemplo, observa-se que alguns efluentes podem apresentar até cerca de 50% do total de nitrogênio na forma de N-orgânico, o restante basicamente na

forma de N-NH₄, sendo os nitratos virtualmente ausentes. Nesses casos, o nitrogênio orgânico representaria uma reserva de nitrogênio inorgânico, liberada gradualmente a partir das transformações a ocorrer no solo. Assim, na fertirrigação com efluentes não só o fornecimento de nutrientes é gradual, mas também sua disponibilidade.

3.1.3.3 - Fertirrigação com águas residuárias – Efeitos ao solo e aquíferos

É consenso que o esgoto tratado quando aplicado ao solo para a irrigação de culturas pode substituir totalmente a água de irrigação convencional e parcialmente a adubação mineral. Todavia, os esgotos são águas com características particulares e que podem promover alterações físicas, químicas e biológicas (Friedel *et al.*, 2000)

Segundo Bond (1998), os fatores limitantes para uma aplicação sustentável de esgotos tratados no solo são a salinidade, a sodicidade, a lixiviação do nitrato para as águas subterrâneas e, em alguma circunstância, a própria lixiviação do fósforo ou seu acúmulo no solo, podendo modificar suas propriedades de forma irreversível. Outra preocupação pode ser a presença de metais pesados nos efluentes aplicados nos solos, que também podem migrar para as águas subterrâneas.

Com relação às águas subterrâneas, sua composição química e sua evolução é um resultado combinado da composição da água que infiltra no solo e das rochas do meio que ela atravessa. Em geral, as águas subterrâneas apresentam boa qualidade para o consumo humano. Entretanto, mudanças de qualidade podem ocorrer devido aos processos de urbanização, desenvolvimento industrial, atividades agrícolas ou de mineração, práticas de descartes de resíduos orgânicos, inorgânicos ou radioativos, entre outros (Foster e Hirata, 1988). O risco de contaminação da água subterrânea pode ser avaliado por meio da associação entre a vulnerabilidade natural do aquífero e a carga contaminante potencial existente.

As águas residuárias quando aplicadas ao solo podem se somar à componente de infiltração das águas das chuvas na recarga dos aquíferos. A interação entre as águas da zona não saturada e as águas subterrâneas e superficiais é contínua. Dependendo da condutividade hidráulica da zona não saturada e da sua isotropia, o fluxo de água dessa zona poderá contribuir significativamente para a descarga de base dos rios. Assim, segundo

Fetter (1993), a disposição de águas residuárias no solo poderá se constituir num importante instrumento para a conservação das águas, principalmente em regiões críticas. A Tabela 3.2 mostra os impactos causados pela irrigação com águas residuárias.

A Tabela 3.2 – Principais impactos que a irrigação com esgotos tratados pode causar ao solo e águas subterrâneas.

Parâmetro	Impacto Relacionado
pH	Tem sido observado aumento do pH do solo ao uso de esgotos em irrigação.
Matéria Orgânica	Pode alterar a taxa decomposição da matéria orgânica do solo, ocasionando diminuição de C e N. Porém tem sido observado aumento nos teores de Carbono Total, Nitrogênio Total e na atividade microbiana do solo.
Nitrogênio	Considera-se a maior preocupação nos sistemas irrigados com esgotos por apresentar alta mobilidade no solo, podendo levar à contaminação de água subterrâneas e superficiais. Pode trazer problemas de saúde causando a metahemoglobinemia.
Fósforo	Há evidências de migração do Fósforo em solos irrigados com esgotos tratados, notadamente os arenosos.
Sódio	Associado juntamente com os sais provocam um dos mais sérios problemas que causam a degradação do solo: alcalinização e salinização.
PST – Porcentagem de sódio trocável = Na/CTC(capacidade de troca catiônica)	Relacionado à problemas de condutividade hidráulica nos solos
Metais Pesados	Podem se acumular no solo ou mesmo percolar ao longo do seu perfil

Montes *et. al*, (2006) (adaptado).

Todavia, a aplicação de águas residuárias no solo pode resultar em alterações físicas e químicas do solo, da solução do solo e das águas subterrâneas. Estas alterações dependerão da taxa de aplicação, concentrações e características das substâncias (inertes ou reativas), e também associadas às características químicas e físicas do solo.

O nitrato é uma substância relativamente inerte e se não for absorvido pela plantas pode ser carregado em profundidade, até as águas subterrâneas. Vários trabalhos registram a contaminação de águas subterrâneas por nitrato seja por práticas agrícolas convencionais seja pela irrigação com esgotos tratados (Montes *et al.*, 2006).

Se metais pesados estiverem presentes nos esgotos tratados, podem também migrar para as águas subterrâneas. Dessa forma, é importante conhecer o comportamento desses íons no solo, pois sua retenção ou mobilidade dependem das formas de combinação com os diferentes componentes do meio, das transformações de suas associações ao longo do tempo, da saturação dos sítios específicos para adsorção, da cristalinidade e morfologia das superfícies dos adsorventes e sua variação de pH do meio.

O objetivo maior do emprego de esgoto tratado na agricultura é a produtividade e a sustentabilidade das culturas irrigadas, adotando-se, portanto, práticas que avaliem sistematicamente possíveis impactos negativos ao sistema solo-planta-água subterrânea/superficial pela sua disposição. Nesse contexto, torna-se fundamental preservar as funções do solo, conhecer suas características químicas, físicas e físico-hídricas, bem como as características químicas das substâncias adicionadas ao solo, de modo que a qualidade das águas subterrâneas possa permanecer protegida (Montes *et al.*, 2006).

3.1.3.4 - Fertirrigação com águas residuárias – Efeitos às plantas

Os elementos considerados essenciais ao desenvolvimento das plantas atendem basicamente a dois critérios: são partes de um composto ou de alguma reação sem a qual as (1) plantas não vivem ou (2) não completam seu ciclo vital. São considerados os nutrientes os elementos carbono, hidrogênio, oxigênio e os nutrientes minerais, dentre estes os macronutrientes: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre; e os micronutrientes: boro, cloro, cobre, ferro, manganês, molibdênio, níquel, zinco. Os nutrientes minerais são basicamente extraídos do solo (Mota *et al.*, 2006).

Os nutrientes são absorvidos pelas raízes das plantas a partir da solução solo. As raízes e as radículas entram em contato com o meio líquido, promovendo a absorção dos minerais. Todavia, as plantas também podem absorver alguns elementos e águas pelas folhas, em

pequenas quantidades. A Tabela 3.3 relaciona as principais funções dos nutrientes justificando sua essencialidade.

Tabela 3.3 – Funções dos nutrientes nas plantas

Elemento	Função	Elemento	Função
N	É parte constituinte dos aminoácidos, das proteínas, purinas, pirimidinas, coenzimas e da clorofila.	P	Participa nos processos de armazenamento e transferência de energia metabólica nas plantas e essencial para o desenvolvimento do sistema radicular.
K	Ativador de enzimas na síntese de proteínas, fotossíntese e respiração.	Ca	Crucial para o crescimento e desenvolvimento das raízes e faz parte da estrutura da parede celular.
Mg	Ativador de enzimas nos processos metabólicos dos carboidratos e síntese de ácidos nucléicos. Compõe a clorofila.	S	Faz parte do grupo ativo de enzimas e coenzimas, com destaque aos compostos cisteína, cistina, metionina, aurina, glutatone e sulfolipídeos.
B	Atua nos processos de transformação de carboidratos e coordenação de fenóis	Cu	Colabora com enzimas respiratórias e fotossintéticas, participa da formação de algumas enzimas.
Fe	Atua como grupo ativo de enzimas (transporte de elétrons e fixação de biológica de N)	Mn	Participa da decomposição do H ₂ O; toma parte na formação da clorofila, da membrana dos cloroplastos, lipídeos, síntese de proteínas, ácidos nucléicos e controle hormonal.
Mo	Faz parte de uma enzima que auxilia na assimilação do nitrogênio nítrico, participa da formação do grão de pólen, de formação de proteínas, dos ácidos nucléicos, da absorção e transporte de ferro.	Ni	Sua essencialidade está ligada à funcionalidade da uréase (produção de amônia e CO ₂ pela uréia)
Na	Pode substituir o K em algumas funções osmóticas e, ainda, promover a aceitabilidade de forragem pelo animais.	Co	Coativador de enzimas, fixação biológica de N e faz parte das vitaminas.
Se	Ligado à síntese de proteínas e ácidos nucléicos	Si	Associados à maior proteção das plantas ao ataque de pragas e doenças.

Mota *et. al.*, (2006) (adaptado)

O Sódio é considerado elemento benéfico para algumas espécies. O cobalto e selênio também são considerados elementos benéficos ao desenvolvimento das plantas, mas ainda não tiveram a sua essencialidade comprovada.

Um caso muito comum no Brasil tem sido a fitotoxicidade de Al, devido à elevada acidez dominante nos solos tropicais. Altas concentrações de Al na solução do solo impedem o

desenvolvimento das radículas e conseqüentemente da planta. Para a maioria das espécies vegetais de interesse agrônômico, um valor de pH adequado é de aproximadamente 6,5 (Mota *et al.*, 2006). Mais efeitos dos elementos à plantas podem ser visto no Apêndice 6.

3.2 - TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS PARA FINS DE REÚSO

Para a utilização das águas residuárias em irrigação irrestrita em áreas urbanas, estas devem passar por processos de adequação de suas características qualitativas (tornando-se águas residuárias recuperadas), para que esse uso não resulte fundamentalmente em riscos à saúde pública. Contudo, impactos às culturas a serem irrigadas, ao solo, aos sistemas de irrigação e aspectos estéticos também devem ser considerados na determinação da(s) tecnologia(s) a ser(em) utilizada(s).

3.2.1 - Processos de recuperação de águas residuárias

Metcalf & Eddy (1991) comenta que as tecnologias de recuperação de águas residuárias comumente são as mesmas usadas nos tratamentos convencionais de água de abastecimento e águas residuárias. Em certos casos, contudo, processos adicionais de tratamento podem ser requeridos para a remoção de determinados contaminantes físicos e químicos e para a inativação e remoção de microorganismos patogênicos. Na avaliação das tecnologias para recuperação de águas residuárias, os principais aspectos são a confiabilidade de cada processo unitário e especialmente a eficiência do sistema de tratamento como um todo em produzir águas residuárias recuperadas que atinjam os critérios estabelecidos para tal.

Para Bastos (2003), na seleção da(s) alternativa(s) de tratamento devem ser analisados os seguintes aspectos: (1) eficiência de remoção de matéria orgânica, nutrientes e organismos patogênicos; (2) demanda de áreas; (3) facilidades de operação e manutenção e (4) custos de implantação, operação e manutenção.

WEF e AWWA (1998) consideram que os processos de tratamento avançado para fins de reúso são aqueles que removem ou ajudam a reduzir constituintes na água recuperada que não foram suficientemente tratadas no tratamento secundário convencional. Consideram

que dentre os sistemas de tratamento avançado têm-se: (1) remoção biológica de nutrientes, (2) coagulação-sedimentação, (3) filtração granular média, (4) microfiltração e ultrafiltração, (5) troca iônica, (6) eletrodialise, (7) osmose reversa, (8) oxidação química, (9) adsorção por carvão ativado e (10) *Stripping*. Nos Estados Unidos muitos parâmetros e diretrizes foram estabelecidas para a prática de reúso de água.

Guerrero (2003) considera que, uma vez determinados os dados de qualidade do efluente secundário, identificados os usos da água residuária tratada e os critérios de qualidade aplicados a cada tipo de reúso, têm-se condições de delinear as tecnologias de tratamento a se empregar.

De acordo com a qualidade requerida do efluente (USEPA, 1992), podem-se agrupar os tipos de tratamentos em:

- **Processos de eliminação de sólidos em suspensão, redução da carga bacteriana, eliminação de cistos de protozoários, ovos de helmintos parasitas e vírus:** Neste grupo têm-se diferentes processos de filtração, microfiltração, ultrafiltração e sedimentação. Esses processos podem ser acompanhados de clarificação com coagulantes e floculantes;
- **Processos de desinfecção por agentes físicos e/ou químicos:** A redução importante das concentrações de organismos patogênicos (coliformes totais, *E. Coli*) se realiza aplicando agentes desinfetantes químicos como cloro, hipoclorito, dióxido de cloro, ozônio, ácido peracético; e físicos como a radiação ultravioleta;
- **Processos de dessalinização:** Estes reduzem o conteúdo de sais dissolvidos, microcontaminantes inorgânicos e orgânicos. Aplicam-se os processos de separação por membrana: osmose reversa, nanofiltração e eletrodialise reversível;
- **Processos de adsorção:** que reduzem o conteúdo de compostos orgânicos em geral e de microcontaminantes orgânicos específicos.

Segundo o estado da arte atual, conforme Guerrero (2003), os esquemas de tratamento para alcançar os diferentes critérios de qualidade compreendem diferentes combinações dos processos mencionados. Em geral, podem-se delinear os esquemas de tratamento considerando necessário ou não a redução de salinidade, microcontaminantes orgânicos e patógenos:

(1) Tratamento de clarificação do efluente secundário mediante filtração granular, desinfecção por radiação ultravioleta e desinfecção química final; (2) Tratamento de clarificação do efluente secundário mediante microfiltração ou ultrafiltração e posterior dessalinização por osmose reversa, nanofiltração ou eletrodialise reversível.

Costa e Silva e Florio (2005) mostram o fluxograma do processo de tratamento das águas de reúso da SABESP (Figura 3.1). A SABESP utiliza a água de reúso na rega de jardins e áreas públicas, lavagens de ruas e pisos industriais e algumas atividades industriais bem específicas. Também faz o uso nas estações de tratamento das águas residuárias em diversas fases do processo, como para quebra de espuma, diluição, lavagens, dentre outros.

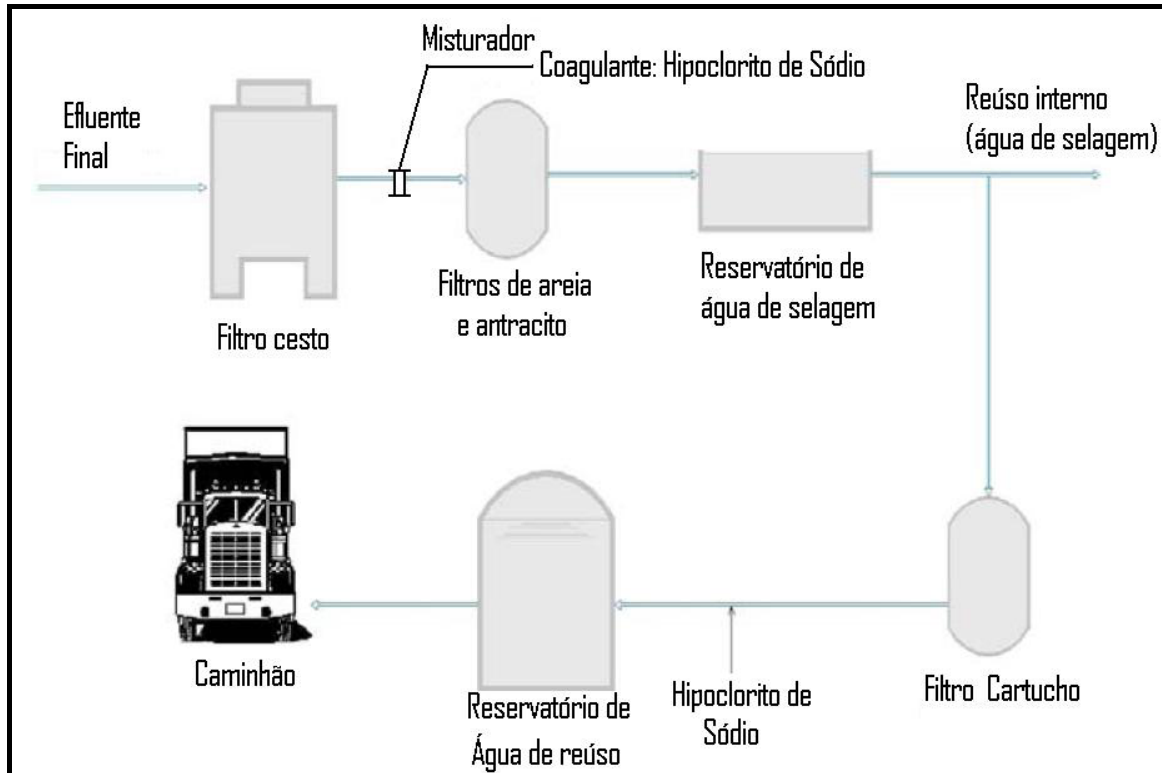


Figura 3.1 – Fluxograma da estação de tratamento de água de reúso da SABESP
Costa e Silva e Florio (2005)

3.2.2 - Critérios e recomendações de sistemas de tratamento e qualidade requerida

A USEPA (*United States Environmental Protection Agency*) recomenda critérios gerais a serem observados em todo território norte-americano, não substituindo as legislações existentes nos estados. Tais diretrizes, conforme Bastos e Bevilacqua (2006), de certa forma ainda refletem o “padrão Califórnia” em referência à pioneira legislação (1968) deste estado.

O critério da USEPA exige para irrigação irrestrita, ou para irrigação por aspersão em qualquer situação, um padrão de qualidade de efluentes semelhante ao padrão de potabilidade da água (ausência de coliformes e organismos patogênicos, turbidez ≤ 2 uT e cloro residual ≥ 1 mg.L⁻¹). Assegurar-se-ia portanto a ausência de bactérias patogênicas, remoção de protozoários e inativação de vírus. Portanto, tais exigências somente seriam contempladas possivelmente por processos rigorosos incluindo a filtração e a desinfecção.

No caso de reúso urbano e industrial, a USEPA (2004) define os usos urbanos como restritos e irrestritos. O que define as duas categorias é o grau de restrição de acesso ao público e as exigências de tratamento e o padrão de qualidade de efluentes. Para usos urbanos irrestritos como irrigação de campos de esporte, parques, jardins e cemitérios; e usos ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso irrestrito ao público, as diretrizes indicam tratamento em nível secundário seguido de filtração e desinfecção. Ainda salientam que a coagulação química e pré-filtração podem ser necessárias para o atendimento de qualidade do efluente e que o efluente tratado deve apresentar aparência e odores não objetáveis.

As diretrizes da OMS (WHO, 1989) pouco se dedicam aos usos urbanos, referindo-se apenas à irrigação de parques e jardins e sugerindo um padrão de ≤ 200 CTer.100 mL⁻¹.

Chernicharo *et al.* (2006) comentam que, quando se pretende a utilização do efluente em fertirrigação, quer se preservar a oferta de nutrientes e sua remoção deixa de ser um aspecto relevante. Todavia, alguma remoção de nitrogênio pode ser necessária para prevenção de impactos sobre as plantas. Em qualquer modalidade de reúso de água, uma elevada remoção de patógenos é necessária. Bactérias e vírus são preponderantemente removidos por inativação pela ação de desinfetantes, e protozoários e helmintos são

removidos preferencialmente por processos físicos de separação como decantação e filtração. Assim, a concepção de sistemas de tratamento com vistas ao reúso pode diferir bastante daquela voltada para o atendimento de padrões de lançamento de efluentes em corpos receptores.

Santos (2003) comenta que, para evitar o desperdício de água tratada em finalidades que não necessariamente necessitem de alto nível de qualidade, a prefeitura de São Caetano do Sul e a SABESP demonstraram interesse em fazer o uso de efluentes tratados em (1) rega de ruas sem calçamento, evitando o pó que perturba os moradores; (2) jateamento do lodo e detritos acumulados na ruas após chuvas fortes; (3) lavagem de ruas após feiras livres; (4) desobstrução de redes coletoras de esgotos e galerias de águas pluviais e (5) lavagem de prédios, pátios, jardins, praças, veículos etc. O sistema de água de utilidades da ETE ABC tem capacidade de 31 L.s^{-1} , sendo que, destes, utiliza 17 L.s^{-1} em operações internas na ETE e 14 L.s^{-1} são disponibilizados para usos externos.

A ETE ABC possui a denominada Estação de Condicionamento para Reúso – ECR (ETA de utilidades) que é composta pelos processos unitários de (1) filtração grosseira com filtros cestos, (2) pré-cloração com hipoclorito de sódio, (3) coagulação e floculação com policloreto de alumínio, (4) filtração fina por filtro de pressão, com camadas de areia e antracito e (5) pós-cloração, também com hipoclorito de sódio. A SABESP tem contrato para fornecimento de $1000 \text{ m}^3/\text{mês}$ de água de reúso por caminhões pipa para a prefeitura de São Caetano e os parâmetros de qualidade adotados são baseados na legislação do estado da Califórnia nos Estados Unidos.

3.2.3 - Custos dos sistemas de recuperação de águas residuárias

Com relação aos custos dos sistemas de reúso de água, Richard (1998) *apud* Santos (2003) fez uma estimativa de custos de construção de estações recuperadoras da qualidade da água nos Estados Unidos. As estimativas feitas englobam os custos relativos desde o pré-tratamento ao tratamento avançado, porém, neste trabalho, interessa-se apenas pelo tratamento avançado, já que os sistemas de tratamento já estão concebidos e operando e necessita-se apenas de um sistema de tratamento avançado para adequar esses efluentes com a finalidade de reúso urbano.

Como no texto original mostram-se os custos incluindo todo o sistema, fez-se a diferença dos custos dos sistemas pelo custo do tratamento secundário, obtendo-se assim o preço apenas dos sistemas de tratamento avançado na Tabela 3.4, que mostra os custos de vida útil (*life cycle cost*), de construção e de manutenção e operação dos sistemas de tratamento avançado. O custo total por ano, ou o custo anual durante a vida útil é obtido dividindo-se o custo anual total (amortização anual do capital somada com o custo operacional anual) pelo volume anual produzido (Richard, 1998). A análise do custo anual assume uma vida útil de 20 anos e uma determinada taxa de retorno para o investimento (10% a.a).

3.2.4 - Desempenho do sistemas/operações de recuperação de águas residuárias

WEF e AWWA (1998) descrevem uma série de projetos de tratamento e recuperação de água residuárias para fins de reúso nos Estados Unidos. Apesar de apresentarem projetos cujo objetivo é o reúso potável, o pertinente neste texto diz respeito às eficiências dos sistemas de tratamento avançado utilizados e com relação a uma série de parâmetros. Dentre esses, o projeto demonstrativo de reúso potável de Denver foi criado para resolver questões sobre produção de efluente de qualidade, saúde pública, aspectos técnicos e econômicos e aceitação do público e órgãos reguladores. Dentre os sistemas estudados, obtiveram-se as eficiências de remoção mostradas na Tabela 3.5.

Metcalf & Eddy (1991) comenta que o maior problema em aplicações de reúso de água em áreas urbanas são os riscos à saúde pública causados por patógenos e orgânicos, e os aspectos estéticos na aceitação pública. A eficiente inativação e remoção de bactérias e vírus dependem de dois critérios operacionais que devem ser ajustados: (1) o efluente deve ter baixa concentração de sólidos suspensos e turbidez, para que não atrapalhem o processo de desinfecção e (2) dose de desinfetante e tempo de contato suficientes.

Para satisfazer o primeiro critério, frequentemente, a filtração granular média terciária é instalada (1) para remover sólidos suspensos residuais encontrados em efluentes secundários que podem interferir na desinfecção, (2) para reduzir a concentração de matéria orgânica que pode reagir com os desinfetantes e (3) para promover a qualidade estética da água recuperada, reduzindo sua turbidez. Em recuperação de águas residuárias, a filtração tem sido usada tanto precedendo a desinfecção como em etapas intermediárias dos sistemas avançados de tratamento de águas residuárias. A Tabela 3.6 mostra os

principais processos unitários utilizados em recuperação de águas residuárias nos Estados Unidos, e as respectivas eficiências de remoção de determinados parâmetros/contaminantes.

Tabela 3.4 – Custos da vida útil dos sistemas de tratamento avançado para fins de reúso

Custos da Vida Útil, US\$/1000 m ³ (Estados Unidos)				Aplicações
Vazão (L/s)	44	219	438	
Tratamento Secundário				Pastagens para gado leiteiro, campos de golfe, cemitérios, canteiros centrais de auto-estradas, cinturões verdes, lagos recreativos paisagísticos, lagos recreacionais de acesso restrito, dessedentação de animais de criação ou selvagens.
Custo de Implantação	522	246	212	
Custo da operação e manutenção	196	136	125	
Total	718	382	337	
Instalação para exigências da Califórnia				Culturas alimentícias, parques, <i>playgrounds</i> , irrigação de pátios escolares gramados e para lagos recreacionais de acesso irrestrito.
Custo de Implantação	196	69	89	
Custo da operação e manutenção	181	149	152	
Total	377	218	241	
Filtração direta				Culturas alimentícias, parques, <i>playgrounds</i> , irrigação de pátios escolares gramados e para lagos recreacionais de acesso irrestrito
Custo de Implantação	67	22	44	
Custo da operação e manutenção	59	38	42	
Total	126	60	86	
Filtração por contato				Culturas alimentícias, parques, <i>playgrounds</i> , irrigação de pátios escolares gramados e para lagos recreacionais de acesso irrestrito
Custo de Implantação	80	38	52	
Custo da operação e manutenção	55	38	41	
Total	135	76	93	
Filtração por contato remoção de fósforo				Criação de peixes
Custo de Implantação	84	64	82	
Custo da operação e manutenção	286	260	263	
Total	370	324	345	
Filtração por contato e adsorção por carvão ativado				Remoção de nutrientes para uso do efluente em recarga de aquífero (poços ou bacias de inundação)
Custo de Implantação	251	191	217	
Custo da operação e manutenção	397	359	361	
Total	648	550	578	
Filtração por contato, adsorção por carvão ativado e osmose reversa				Água desmineralizada para reúso industrial
Custo de Implantação	625	501	506	
Custo da operação e manutenção	703	585	571	
Total	1328	1086	1077	
Calagem e osmose reversa				Água desmineralizada para reúso industrial
Custo de Implantação	510	358	347	
Custo da operação e manutenção	570	478	464	
Total	1080	836	811	

(a) Preços de junho de 1996. Os custos são regionais (não valem para todos os lugares).

Richard (1998) (adaptado)

Tabela 3.5 – Desempenho dos sistemas de tratamento avançado do projeto de reúso de água em Denver – US

Tratamento Químico			
Parâmetro	Unidades	Concentração afluente	Percentual de remoção (%)
Coliformes Totais	NMP/100 mL	1084	99,8
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	84	99,6
COT	mg/L	9,4	42
Turbidez	UNT	1,4	84,5
Filtração			
Coliformes Totais	NMP/100 mL	785	27,7
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	65	22,7
COT	mg/L	8,9	5,6
Turbidez	UNT	0,33	76,7
Radiação Ultravioleta			
Coliformes Totais	NMP/100 mL	Nd	99,9
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	0,35	99,5
Carvão ativado granular			
Coliformes Totais	NMP/100 mL	Nd	99,9
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	Nd	99,9
COT	mg/L	4,6	71,8
Turbidez	UNT	0,25	97,3
Osmose reversa			
Dureza	mg/L	-	97,5
Sólidos Dissolvidos	mg/L	-	96,8
COT	mg/L	-	97,0
Turbidez	UNT	-	74,8
Ultrafiltração			
Dureza	mg/L	-	28,6
Sólidos Dissolvidos	mg/L	-	34,7
COT	mg/L	-	80,5
Turbidez	UNT	-	80,9

WEF e AWWA (1998) (adaptado)

Tabela 3.6 – Eficiência dos processos de recuperação de água residuárias

Parâmetros	Processo ou operação																	
	Tratamento primário	Lodos Ativados	Nitrificação	Desnitrificação	Filtro Biológico	RBC	Coag-Floc-Sed	Filtração pós lodos Ativados	Adsorção por carvão	Stripping	Troca Iônica	Oxidação por cloro	Osmose reversa	Escoamento superficial	Irrigação	Infiltração-percolação	Cloração	Ozonização
DBO	X	+	+	0	+	+	+	X	+		X	+	+	+	+			0
DQO	X	+	+	0	+		+	X	X	0	X	+	+	+	+			+
SST	+	+	+	0	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+		
NH ₃ -N	0	+	+	X		+	0	X	X	+	+	+	+	+	+	+		
NO ₃ -N				+				X	0				X					
Fósforo	0	X	+	+			+	+	+			+	+	+	+			
Alcalinidade		X					X	+								X		
Óleos e Graxas	+	+	+				X		X				+	+	+	+		
Coliformes Totais		+	+		0		+		+			+	+	+	+	+	+	+
SDT												+						
Arsênico	X	X	X				X	+	0									
Bário		X	0				X	0										
Cádmio	X	+	+		0	X	+	X	0							0		
Cromo	X	+	+		0	+	+	X	X									
Cobre	X	+	+		+	+	+	0	X							+		
Fluoreto							X		0							X		
Ferro	X	+	+		X	+	+	+	+									
Chumbo	+	+	+		X	+	+	0	X							X		
Manganês	0	X	X		0		X	+	X			+						
Mercurio	0	0	0		0	+	0	X	0									
Selênio	0	0	0				0	+	0									
Prata	+	+	+		X		+		X									
Zinco	X	+	+		+	+	+		+							+		
Cor	0	X	X		0		+	X	+			+	+	+	+	+		+
<i>Foaming Agents</i>	X	+	+		+		X		+			+	+	+	+	+		0
Turbidez	X	+	+	0	X		+	+	+			+	+	+	+	+		
COT	X	+	+	0	X		+	X	+	0	0	+	+	+	+	+		+

0 = 25% de remoção da concentração afluente

X = 25-50%

+ = >50%

Metcalf & Eddy (1991) (Adaptado)

3.2.5 - Filtração

Chernicharo *et al.* (2006) apresentam uma série de experimentos realizados no âmbito do PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, tema 2, edital 4 que se referem ao tratamento de esgotos e produção de efluentes adequados à modalidades de reúso. Dentre outros sistemas, alguns tipos de filtração foram testados. A Tabela 3.7 mostra os resultados resumidos das tecnologias de filtração para adequação de efluentes ao reúso, estudadas no PROSAB, tema 2, edital 4, em escala piloto.

Tabela 3.7 - Resultados de filtração para adequação de efluentes ao reúso estudadas no PROSAB

Instituição Envolvida	Tipo de Filtro	Qualidade dos efluentes produzidos		
		DBO (mg.L ⁻¹)	SST (mg.L ⁻¹)	Coliformes Termotolerantes (NMP.100mL ⁻¹)
UFRJ	Filtro Biológicos Percoladores	32,0	30,0	-
UFSC	Filtros de Pedra	73,5 (±0,7)	16,0 (±2,8)	1,17 E+04 (±7,62 E+03)
UFMG	Filtros de Pedra	29,5 (±3,5)	42,5 (±21,9)	2,13E+03 (±2,93E+03)
UFBA	Filtros Intermitentes em Leito de Areia	8,0 (±3,6)	3,2 (±3,5)	<1,00E+03
PUC-PR	Filtros rápidos de areia ¹	73,0 (±23,0) ²	19,3 (±0,6)	-

Chernicharo *et al.* (2006) (Adaptado)

¹ – Valores para taxas de filtração de 200 m³/m².dia

² – valores de DQO em mg.L⁻¹.

Para Gonçalves (2003), o filtro de areia segue os mesmos princípios da vala de filtração, ou seja, o tratamento ocorre quando da passagem do esgoto pela camada de areia, onde se processa a depuração por meio físico (retenção) e bioquímico (oxidação), devido aos microrganismos fixos na superfície dos grãos de areia. A operação e a manutenção de um filtro de areia são muito fáceis de serem realizadas, devendo-se ter atenção aos períodos de aplicação de esgoto e descanso.

3.2.6 - Desinfecção

Tanto os processos artificiais como os naturais utilizam, isoladamente ou de forma combinada, agentes físicos e químicos para inativar os organismos-alvo. Entre os agentes físicos, pode-se citar a transferência de calor (aquecimento ou incineração), as radiações ionizantes, a radiação UV e a filtração em membranas. As radiações ionizantes do tipo gama, também em função dos custos envolvidos, restringem-se a aplicações de pequena escala (Gonçalves *et al.*, 2003).

No tocante à radiação ultravioleta, suas aplicações experimentam aceitação crescente, tanto pela técnica de solarização, que utiliza a luz solar para a potabilização de águas em pequena escala, quanto por reatores que geram artificialmente a radiação ultravioleta.

A desinfecção química é realizada pela aplicação de compostos do grupo fenólico, álcoois, halogênios e metais pesados. Os agentes químicos mais utilizados na desinfecção de esgotos são cloro, dióxido de cloro e ozônio.

Nos processos naturais, além dos agentes químicos e físicos naturalmente presentes, a ação de predação ou competição de outros organismos resulta na inativação de patógenos como mostrado na Figura 3.2.

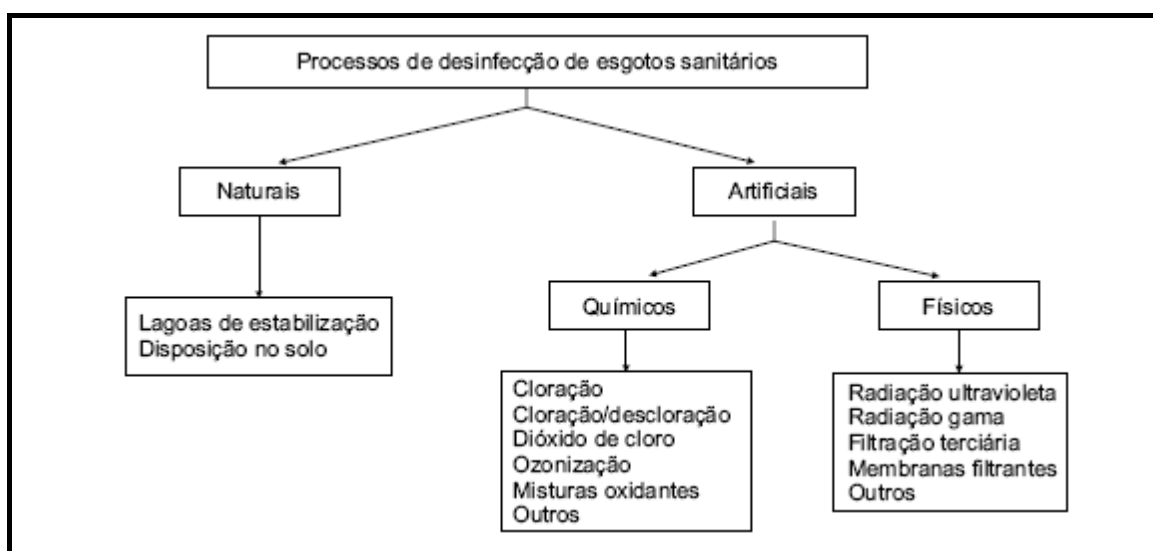


Figura 3.2 – Processos de Desinfecção de Esgotos Sanitários (Gonçalves *et al.*, 2003).

A Tabela 3.8 mostra as principais características dos principais processos de desinfecção. No que se refere aos processos artificiais de desinfecção, as principais opções disponíveis são:

Cloração – O cloro é o desinfetante mais largamente utilizado para águas e esgotos. É uma tecnologia mundialmente conhecida, normalmente aplicada nas formas de cloro gasoso, hipoclorito de sódio ou cálcio e outros compostos na forma líquida ou sólida. A ação desinfetante do cloro deve-se principalmente ao mecanismo de oxidação do material celular. Entretanto, trabalhos científicos relatam inibição enzimática e danificação do material genético como outros mecanismos da desinfecção com cloro. Os compostos de cloro, ao serem adicionados à água, reagem formando ácido hipocloroso (HOCl) que se dissocia em OCl^- e H^+ . A quantidade de HOCl e OCl^- em solução depende do pH e é chamado de cloro residual livre disponível. O cloro também reage com a matéria orgânica

presente no esgoto, formando compostos organoclorados e cloraminas, conhecidos como cloro residual combinado. O ácido hipocloroso tem o maior poder desinfetante, seguido do íon hipoclorito (OCl^-), e a monocloramina, a menor capacidade desinfetante. O cloro livre reage com substâncias diluídas ou suspensas na água por três processos: oxidação, adição e substituição. Nas reações em que ocorre oxidação, o cloro livre é sempre reduzido a cloreto (Cl^-).

Cloração/descloração – As desvantagens da cloração estão na formação de compostos organoclorados carcinogênicos (trihalometanos – THM), bem como na toxicidade do cloro residual à biota aquática. O cloro, quando empregado em águas que contêm compostos orgânicos, como efluentes de ETEs, pode levar à formação de compostos potencialmente prejudiciais à saúde humana, como: trihalometanos, haloacetonitrilas, etc. Adicionalmente, baixas concentrações de residuais de cloro são tóxicas a várias espécies aquáticas. A descloração antes do lançamento, geralmente com dióxido de enxofre, tem sido a opção utilizada para reduzir os impactos da disposição de efluentes desinfetados com cloro no meio ambiente e adequar-se à legislação. As etapas integrantes do fluxograma de um sistema de cloração/descloração incluem: armazenagem, medição de vazão, dosagem de cloro, tanque de contato, dosagem de dióxido de enxofre e disposição final.

Ozonização – O ozônio é um oxidante extremamente reativo, altamente bactericida. A maioria das estações de desinfecção de esgoto gera ozônio, impondo alta voltagem (6 a 20 kV) em uma câmara de gás. A geração *in loco* deve-se a sua instabilidade, que se decompõe em oxigênio elementar em curto espaço de tempo após a geração. O interesse na utilização do ozônio tem por principal motivo o impacto benéfico ao meio ambiente, pois não há formação de trihalometanos. Contudo, pouco se sabe sobre a possível formação de subprodutos (Usepa, 1986). A maioria das aplicações tem sido em ETEs de médio e grande porte, devido à complexidade da tecnologia e aos custos de operação e manutenção. A aplicação do ozônio no tratamento de efluentes sempre é realizada pela dispersão do gás no mesmo.

Ultravioleta – A utilização da radiação ultravioleta (UV) mostra-se muito competitiva com a cloração/descloração, devido à não geração de subprodutos tóxicos, como os do cloro (ex.: organoclorados, trihalometanos e outros). O mecanismo primário da inativação de microrganismos consiste no dano direto aos ácidos nucléicos celulares. Sua eficiência

depende principalmente das características do afluente, da concentração de colóides e partículas no esgoto, da intensidade da radiação UV aplicada, do tempo de exposição dos microrganismos à radiação e da configuração do reator.

Outros processos de desinfecção – Dentre os principais os desinfetantes químicos podem ser citadas as cloraminas, as misturas oxidantes (Moggod), o permanganato de potássio, o íon ferrato(VI), o ácido peracético, o H_2O_2 , o dicloroisocianurato de sódio, os sais de bromo, o iodo, o ouro, a prata, o gluturaldeído e o fenol/fenato.

Com relação aos processos físicos, devem ser citados a filtração por membranas, o ultrassom e a radiação gama. A radiação gama pode penetrar profundamente no meio líquido, independente da presença de sólidos e turbidez, tendo por fonte de radiação o cobalto 60. Não obstante, seu custo ainda é pouco competitivo em relação aos processos convencionais de desinfecção.

Alternativas com base na combinação de produtos e processos, como os chamados processos oxidativos avançados (ex.: H_2O_2 + ozônio ou UV + O_3) têm sido testadas na desinfecção de esgotos sanitários.

Dentre os processos naturais de desinfecção podem ser citados:

Lagoas de estabilização – As lagoas de estabilização são processos de tratamento de esgotos utilizados principalmente para remoção de matéria orgânica. No entanto, com algumas adaptações no fluxograma, no número e na geometria das lagoas, pode ser alcançada elevadíssima eficiência de remoção de organismos patogênicos (*lagoas de maturação*).

Disposição controlada no solo – A disposição controlada de efluentes secundários no solo resulta na remoção dos nutrientes, absorvidos pelas plantas e incorporados ao solo; dos sólidos suspensos; e dos patógenos, que são inativados por ação de raios ultravioleta, pela dessecação e pela ação dos predadores biológicos no solo (OMS, 1989). Trata-se de uma técnica de pós-tratamento e reúso, visto que o mesmo fornece os nutrientes e a matéria orgânica para o conjunto solo-plantas e pode promover a recarga do aquífero.

Tabela 3.8 – Características típicas dos principais processos desinfetantes

Características	Cloro Gasoso	Hipocloritos	Dióxido de Cloro	UV	Ozônio	Lagoas de Maturação
Custos de implantação	menor	médio	médio	elevado	elevado	elevado
Custo de operação	menor	médio	médio	elevado	elevado	menor
Eficiência de desinfecção	elevada	elevada	elevada	elevada	elevada	elevada
Aplicabilidade a ETEs	Médias a grandes	Pequenas a médias	Pequenas a médias	Pequenas a grandes	Médias a grandes	Pequenas a médias
Geração de subprodutos	Organoclorados possível	Organoclorados possível	menor	não	não	não
Pureza do desinfetante	elevada	baixa	Boa, gerada <i>in loco</i>	-	-	-
Toxicidade aos microorganismos	elevada	elevada	elevada	elevada	elevada	-
Toxicidade à vida aquática	elevada	elevada	elevada	não	elevada	não
Grau mínimo de tratamento	primário	primário	primário	secundário	secundário	secundário
Corrosividade	elevada	elevada	elevada	não	elevada	não
Riscos operacionais	elevados	elevados	elevados	não	moderados	não

Metcalf & Eddy (2003) (adaptado)

3.2.6.1 - Custos da Desinfecção

Sem dúvida, os custos relativos à cloração são ainda os mais baixos, em relação tanto à implantação como à operação. A desinfecção por radiação UV tem custos muito acima dos referentes à cloração apenas, mas já pode se tornar competitiva quando comparada ao conjunto cloração-descloração, conforme Gonçalves *et al.* (2003).

A desinfecção por ozônio é, de todas, a opção a mais cara; no entanto, em ETEs que já utilizem oxigênio puro, o processo já pode se tornar competitivo.

Lagoas de maturação não têm custos de energia ou de produtos químicos, sendo altamente indicadas como parte de um conjunto de lagoas em série. Sua limitação está na possível falta de área disponível e nos próprios custos construtivos, que se tornam elevados à medida que cresce a vazão de esgotos.

A Tabela 3.9 apresenta custos de implantação e de operação para as diferentes opções de desinfecção, levando em conta os experimentos desenvolvidos no âmbito do PROSAB 3 e em outros projetos.

Tabela 3.9 – Custo de implantação e operação para processos de desinfecção

Desinfecção	ETE	População hab.	Vazão L/s	Custo de Implantação R\$	Custo unitário de implantação R\$/hab.	Custo de operação R\$/m ³
Cloro gasoso (1)	Apucarana, PR	71.000	137	270.000,00	3,80	0,012
Cloro gasoso (2)	Maringá, PR ETE sul	124.000	310	600.000,00	4,83	0,024
Hipoclorito de sódio (3)	Bandeirantes, PR	41.380	88	230.000,00	5,55	0,078
Dióxido de cloro (5)	Pesquisa PROSAB, PR	5.844	10	273.674,00	46,83	0,108
Radiação UV (6)	Pesquisa PROSAB, PR	5.844	10	128.433,00	21,98	0,034
Ozonização (7)	Pesquisa PROSAB, SC	10.000	18,5	181.120,00	18,11	0,091

(1) após UASB + FB; (2) após UASB + FB; (3) após UASB + F. an.; (4) após UASB + lagoa; (5) após UASB + FAD; (6) após UASB + FB;

(1) a (4): ETES operadas pela SANEPAR

(5) e (6): segundo Miguel Aisse. Dados de pesquisa, PUCPR;

(7): segundo Flávio Lapolli, dados de pesquisa, UFSC.

3.3 - SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO COM O USO DE ESGOTOS SANITÁRIOS

As técnicas de irrigação citadas por Bastos *et al.* (2003), incluem: hidroponia, irrigação por inundação, por sulcos, gotejamento e aspersão. A irrigação pode ser definida como a aplicação de água no solo com o objetivo de atender a demanda hídrica da planta. Vieira (1995) ressalta que irrigar não é “molhar”, e sim disponibilizar a planta a quantidade requerida de água por meio de sistema de irrigação, de forma compatível com o tipo de solo, a declividade do terreno, a capacidade de retenção do solo e a cultura irrigada, tendo por objetivo aumentar a produtividade e a qualidade do produto ou obter colheitas fora das épocas normais, sem os inconvenientes de saturação do solo e das perdas por percolação, as quais podem comprometer o lençol freático.

Os sistemas de irrigação, segundo Andreoli *et al* (2005), apresentam certa diversidade e facilitam na adaptação dos métodos demandados para diferentes culturas e características locais, como vento, topografia e solo. No Brasil, os principais sistemas de irrigação são: superfície/inundação (50%), pivô central (21%), convencional (14%), carretel enrolador (9%) e localizada (6%). Estima-se que existam cerca de 14.000 ha com irrigação de superfície para arroz. Em menor quantidade, a irrigação localizada na forma de gotejamento em cerca de 1.100 ha da fruticultura.

Conforme USEPA (2006), os três maiores tipos de sistemas de distribuição de esgotos para o tratamento por disposição no solo são superficial, aspersão e gotejamento. Fatores que distinguem o tratamento de esgotos por disposição no solo da irrigação convencional incluem:

- Pode ser necessário que a demanda hídrica da planta não seja suprida apenas com os esgotos, sendo necessária complementação com água;
- Aplicações geralmente ocorrem em temporadas não concomitantes com a da irrigação convencional. Isso faz com que haja esgotos tratados abundantes quando não há muita demanda;
- A eficiência de irrigação com uso de esgotos tratados, nem sempre é a mesma da água;
- Um alto nível de monitoramento ambiental é requerido, incluindo medidas precisas de vazão, controle do escoamento superficial e controle da qualidade da água e cargas aplicadas.
- Fatores adicionais de controle da taxa e frequência quando comparadas com a irrigação tradicional.

As aplicações de esgotos tratados podem ser efetuadas por meio de métodos básicos de irrigação (Hespanhol, 2003). As características físico-químicas do efluente e a escolha do método de irrigação são fatores a serem levados em conta. Os métodos comumente utilizados na irrigação com efluentes são: (a) Inundação ou por canais laterais molhando praticamente toda a superfície do solo; (b) Sulcos com pequena lâmina de molhamento na superfície do solo; (c) Aspersores com molhamento do solo e cultura, semelhante ao que ocorre durante as chuvas; (d) Sub-superficial com molhamento de pequena porção do solo,

mas permitindo a saturação do sub-solo; (e) Localizada por meio do gotejamento e microaspersão onde se ajusta a taxa de água para cada planta individualmente.

3.3.1 - Sistemas de irrigação por superfície

Na irrigação por superfície podem-se citar os métodos sulcos e faixas. Nestes, a distribuição da água se dá por gravidade. Na irrigação por sulcos, estes ficam localizados entre as fileiras das plantas, podendo ser um sulco para cada fileira ou um sulco para cada duas fileiras (EMBRAPA, 2006). Sistemas de irrigação por superfície podem ser vistos na Figura 3.3.



Figura 3.3 – Sistemas de irrigação por superfície
(a) por inundação e (b) por sulcos. EMBRAPA (2006)

As elevadas concentrações de sólidos totais, sódio, óleos e graxas nas águas de qualidade inferior podem alterar a infiltração de água no solo e, conseqüentemente, o desempenho de sistemas de irrigação por sulcos e faixas.

3.3.2 - Sistemas de irrigação por aspersão

No método de irrigação por aspersão, jatos de água lançados ao ar caem sobre as culturas na forma de chuva. As principais vantagens deste método são: a facilidade de adaptação às diversas condições de solo e topografia; maior eficiência de distribuição de água quando comparado aos métodos de superfície; pode ser totalmente automatizado; pode ser transportado e as tubulações são facilmente desmontadas (EMBRAPA, 2006). Os sistemas

de irrigação mais usados são: (1) aspersão convencional, (2) autopropelido, (3) pivô central, (4) deslocamento linear e (5) LEPA (*low energy precision application*), conforme Figura 3.4.

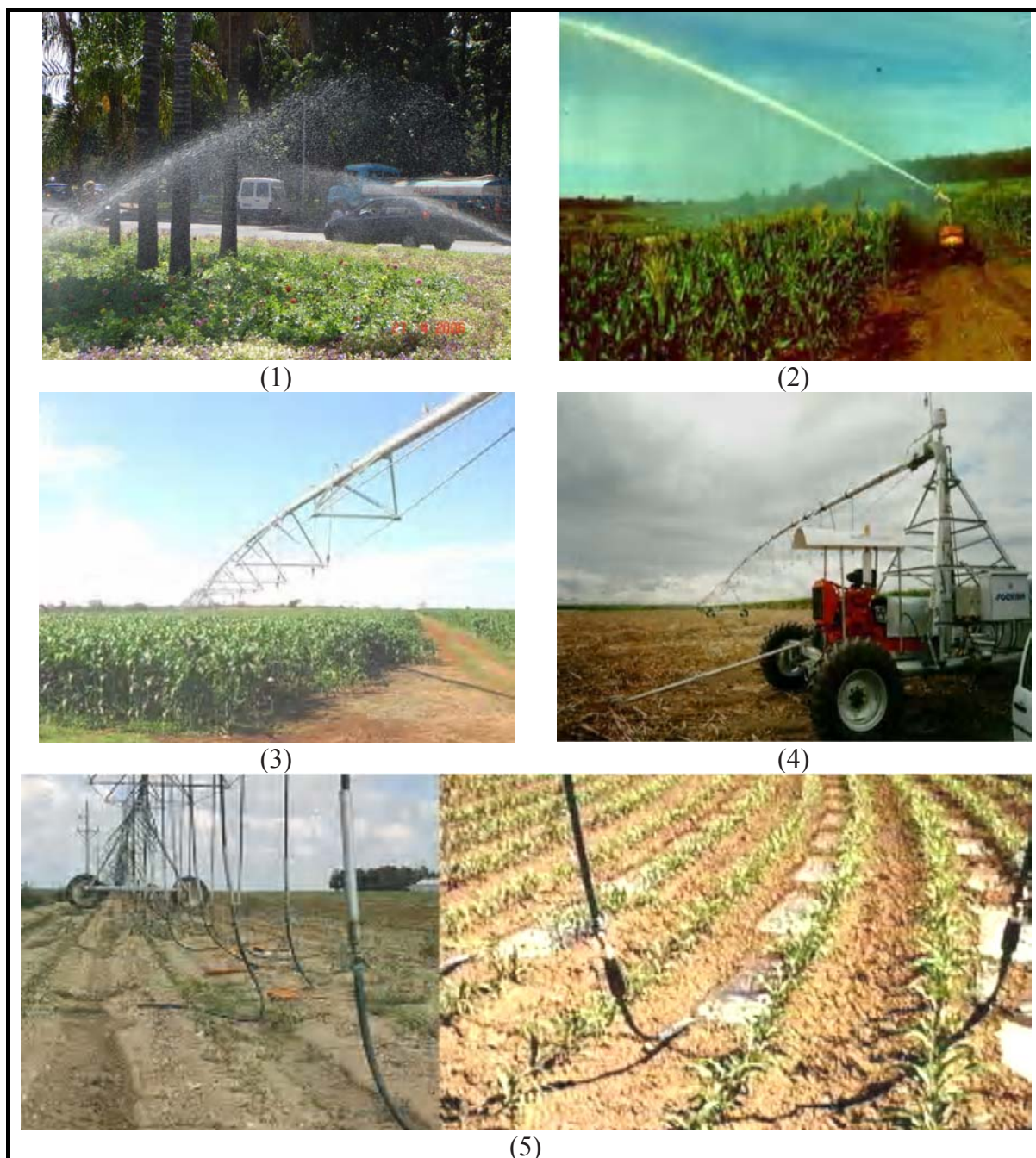


Figura 3.4 – Sistemas de irrigação por aspersão

(1) aspersão convencional, (2) autopropelido, (3) pivô central, (4) deslocamento linear e (5) LEPA. EMBRAPA (2006)

No caso de uso de águas de qualidade inferior, podem ocorrer problemas de corrosão no equipamento e entupimento dos aspersores, particularmente, quando não existe um manejo adequado do sistema de aplicação. Em geral, as tubulações que conduzem água limpa não

apresentam problemas de entupimento. Sampaio (1999) observou forte aderência de material orgânico, presente tanto na água residuária de bovinocultura quanto na água residuária de suinocultura, nas paredes internas das tubulações de aço zincado.

Existem estudos que alertam sobre o risco da proliferação de caramujos dentro da tubulação de pivô central abastecida com água residuária, que podem atingir tamanhos capazes de proporcionar o entupimento dos aspersores. Outro problema relacionado à estagnação de água residuária na tubulação do sistema de irrigação por aspersão é a possibilidade do surgimento de corrosão.

3.3.3 - Sistemas de irrigação localizada

Nos métodos de irrigação localizada, a água é, em geral, aplicada em apenas uma fração do sistema radicular das plantas, empregando-se emissores pontuais (gotejadores superficiais ou sub-superficiais), lineares (tubo poroso ou “tripa”) ou superficiais (microaspersores) (EMBRAPA, 2006). Na Figura 3.5 pode-se ver os subsistemas de irrigação localizada.

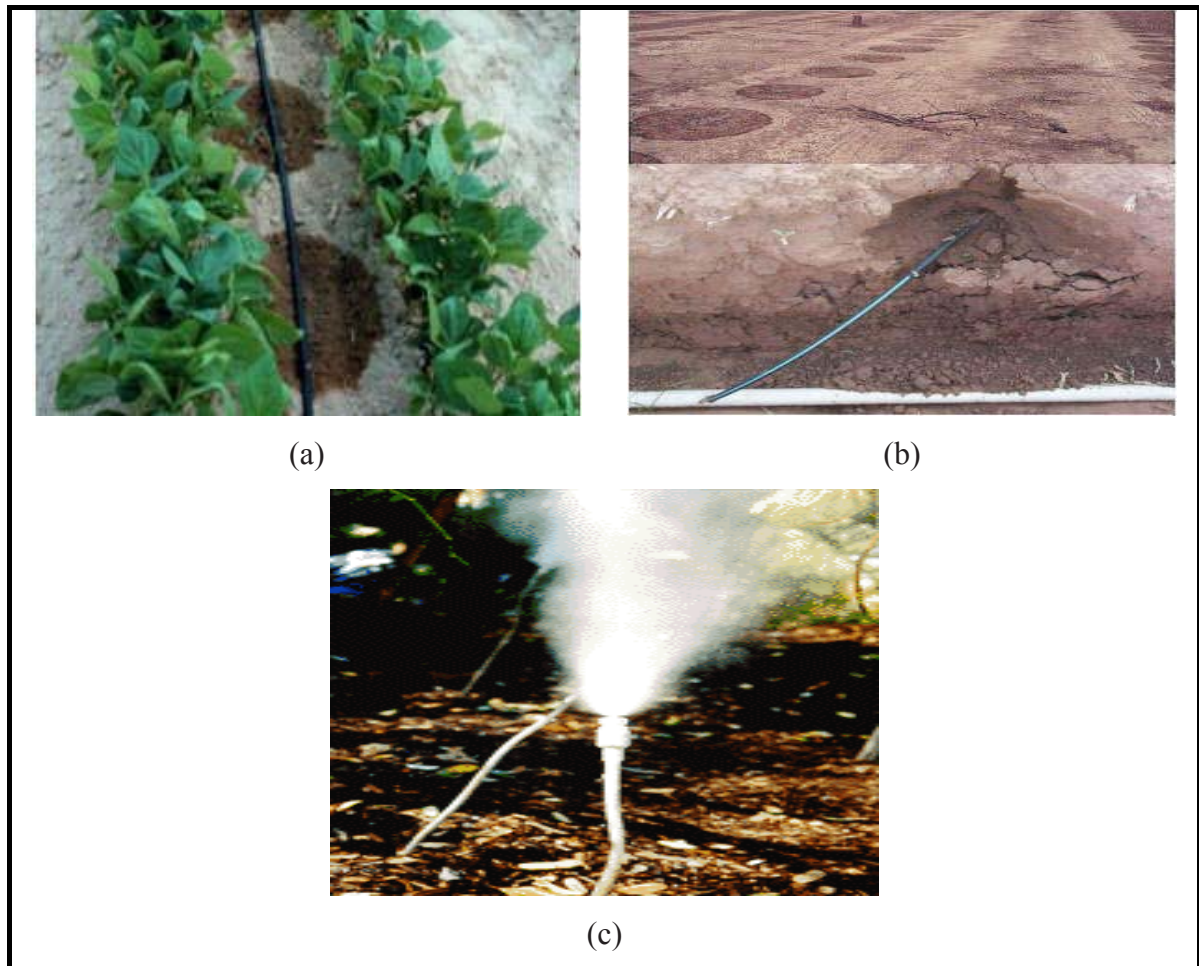
O método de irrigação localizada tem sido usado para aplicação de águas de qualidade inferior, devido à elevada eficiência de aplicação de água e ao baixo risco de contaminação do produto agrícola e de operadores no campo. No entanto, os sistemas de irrigação localizada possuem emissores que apresentam alta suscetibilidade ao entupimento.

3.3.3.1 - Gotejadores

No sistema de gotejamento, a água é aplicada de forma pontual na superfície do solo. A grande vantagem, quando comparado com o sistema de aspersão, é que a água não molha a folhagem ou o colmo das plantas, e possibilita menor contato da água com trabalhadores e viandantes. Comparado com o sistema sub-superficial, as vantagens são a facilidade de instalação, inspeção, limpeza e reposição, possibilidade de medição de vazão e avaliação da área molhada. As maiores desvantagens são os entupimentos que requerem filtração da água.

Os sólidos suspensos que podem entupir as pequenas passagens dos gotejadores, na maioria das vezes, possuem componentes orgânicos e inorgânicos. Geralmente, partículas

maiores que 1/10 do diâmetro do orifício para escoamento de água no gotejador representam risco potencial de entupimento. Adin e Sacks (1991) consideraram as algas como um grupo de partículas de alto potencial indireto de obstrução dos emissores, particularmente aquelas com tamanho superior a 50µm.



(a)

(b)

(c)

Figura 3.5 – Sistemas de Irrigação localizada

(1) gotejadores, (2) gotejadores sub-superficiais e (3) microaspersão. EMBRAPA (2006)

De acordo com Cordeiro *et al.* (2003), freqüentemente surgem problemas de obstrução de gotejadores em sistemas de irrigação por gotejamento abastecidos com águas superficiais contendo elevada concentração de ferro. Dentre os fatores biológicos de entupimento de gotejadores, destacam-se as bactérias e os protozoários. Sagi *et al.* (1995) aplicaram esgoto sanitário tratado via sistema de irrigação por gotejamento e constataram entupimento de gotejadores por sulfobactéria (*Beggiatoa alba*).

O entupimento dos emissores reduz a vazão e, conseqüentemente, diminui a uniformidade de aplicação de água de sistemas de irrigação localizada. Hills *et al.* (2000) verificaram

diminuição de até 75% da vazão nominal média de sistemas de irrigação por gotejamento aplicando esgoto sanitário tratado, após 3.000 horas de funcionamento. Estudos realizados por Dehghanisanij *et al.* (2003) constataram que a aplicação de esgoto sanitário tratado proporcionou redução de até 9% no coeficiente estatístico de uniformidade de aplicação de água de sistemas de irrigação por gotejamento operando por 187 horas.

3.3.3.2 - Gotejadores sub-superficiais

Nestes sistemas, as linhas laterais dos gotejadores ou tubos porosos são enterrados de forma a permitir a aplicação sub-superficial da água. As vantagens deste sistema é a retirada das linhas laterais da superfície do solo que facilita o tráfego, a redução da evaporação da água pois a área superficial molhada é pequena ou inexistente e não permite o contato com trabalhadores e viandantes. As limitações deste sistema são as dificuldades de detecção de entupimentos e a redução de vazão dos emissores (EMBRAPA, 2006).

3.3.3.3 - Irrigação por microaspersão

Atualmente, existem poucos estudos sobre o efeito da aplicação de águas de qualidade inferior via microaspersores. No entanto, é previsível que o risco de obstrução deste tipo de emissor seja menor que o dos gotejadores, em razão do maior diâmetro do orifício para escoamento da água.

Santos *et al.* (2003) aplicaram esgoto sanitário tratado via microaspersão e, após 750 horas de operação, detectaram redução de 5% na vazão dos microaspersores, que, conseqüentemente, acarretou desuniformidade de aplicação de água. O entupimento dos microaspersores foi atribuído à acumulação de algas próximas aos bocais.

3.3.4 - Subirrigação

Com a subirrigação, segundo EMBRAPA (2006), o lençol freático é mantido a uma certa profundidade capaz de permitir um fluxo de água adequado à zona radicular da cultura. Geralmente está associado a um sistema de drenagem sub-superficial. Havendo condições satisfatórias, pode se constituir no método de menor custo.

3.3.5 - Seleção de sistemas de irrigação

Conforme Andrade (2001), não existe um sistema de irrigação ideal, capaz de atender satisfatoriamente a todas essas condições e interesses envolvidos. Em consequência, deve-se selecionar o sistema de irrigação mais adequado para certa condição e para atender aos objetivos desejados. O processo de seleção requer a análise detalhada das condições apresentadas, em função das exigências de cada sistema de irrigação, de forma a permitir a identificação das melhores alternativas.

Hespanhol (2002) acrescenta ainda, que, na seleção do método de irrigação, devem ser considerados os riscos para saúde dos trabalhadores, contaminação da cultura, formação de aerossóis, odores e possíveis danos ao sistema de irrigação. Medidas preventivas e corretivas contra entupimentos bem sucedidas incluem a filtração em areia, filtros de tela com autolavagem, cloração e descargas periódicas para a lavagem das linhas laterais (Oron *et al.*, 1979; 1980; Adin & Sacks, 1991 *apud* Mendonça *et al.*, 2003).

Soares *et al.* (2005) comentam que as águas de qualidade inferior podem danificar os sistemas de aplicação por meio da corrosão e entupimento dos equipamentos. Geralmente, a aplicação das águas de qualidade inferior tem sido feita via sistemas de irrigação por sulcos, faixas, inundação, aspersão, gotejamento e microaspersão. A Tabela 3.10 mostra os problemas de obstrução em sistemas de irrigação localizada.

O primeiro passo no processo de seleção do sistema de irrigação mais adequado para certa situação consiste em selecionar antes o método de irrigação, conforme ilustra a Tabela 3.11. Vários fatores podem afetar a seleção do método de irrigação. Os principais são: Topografia, Solos, Culturas, Clima, Fonte de Água, Aspectos econômicos, sociais e ambientais e Fatores Humanos. A tabela 3.12 apresenta de forma resumida as vantagens e limitações de cada método.

Montazar e Behbahani (2007) desenvolveram um método de seleção de sistemas de irrigação considerando critérios físicos, socioeconômicos e ambientais e utilizando o método de análise multicritério AHP (*Analytic Hierarch Procces*). Os critérios utilizados para a seleção de uma das três áreas estudadas, das culturas, de métodos e sistemas de irrigação são mostrados na Tabela 3.13.

Tabela 3.10 – Problemas de Obstrução em sistemas de irrigação localizada

Parâmetro	Restrição de Uso		
	Nenhuma	Ligeira-moderada	Severa
Sólidos suspensos (mg.L ⁻¹)	<50	50-100	>100
pH	<7	7-8	>8
Sólidos Dissolvidos (mg.L ⁻¹)	<500	500-2000	>2000
Manganês (mg.L ⁻¹)	<0,1	0,1-1,5	>1,5
Ferro (mg.L ⁻¹)	<0,1	0,1-1,5	>1,5
Ácido Sulfúrico (mg.L ⁻¹)	<0,5	0,5-2,0	>2,0
Bactérias Heterotróficas (mg.L ⁻¹)	<10000	10000-20000	>50000

WPCF (1989) adaptado *apud* Bastos e Bevilacqua (2006)

Tabela 3.11 - Fatores para seleção de métodos de irrigação

Métodos	Declividade	Taxa de aplicação	Sensibilidade da cultura ao molhamento	Efeito do vento	Forma de irrigação
Superfície	Área plana ou nivelada artificialmente com limite de 1%. Maiores declividades podem ser empregadas com devidos cuidados de dimensionamento	Não recomendado para solos com taxa de infiltração acima de 25 mm/H ou com taxa de infiltração muito baixa	Adaptável à maioria das lavouras. Pode ser prejudicial às culturas que não toleram água na raiz	Não é problema para o sistema de sulcos	Sulcos e tabuleiros
Aspersão	Adaptável às mais diversas condições	Adaptável às mais diversas condições	Pode propiciar o desenvolvimento de doenças foliares	Pode afetar a uniformidade de distribuição e a eficiência	Pivô central - Canhão
Localizada	Adaptável à diversas condições	Todo tipo. Pode ser usado em solos muito arenosos ou muito pesados	Menor efeitos de doenças que a aspersão. Permite umedecimento de apenas parte da área	Nenhum efeito no caso de gotejamento	Gotejamento e microaspersão
Sub - irrigação	Área plana ou nivelada	Solo com uma camada impermeável abaixo da zona de raízes, ou lençol freático alto que possa ser controlado	Adaptável a quase todas as culturas	Não tem efeito	Gotejamento subsuperficial

Trentin (2005)

Tabela 3.12 - Fatores que afetam a seleção do método de irrigação e os cuidados necessários na utilização de efluentes

Métodos	Sistema	Fatores para seleção	Cuidados
Inundação	tabuleiros	Custo mínimo; sistematização opcional do terreno; melhor adaptação a terrenos planos a suavemente ondulados; eficiência de uso de água; maiores riscos de contaminação da água subterrânea.	Adequada seleção de culturas, proteção dos agricultores e pessoais de operação do sistema de irrigação, manejo adequado da irrigação para minimizar riscos de contaminação do lençol.
Sulcos		Custo reduzido; sistematização comum; melhor adaptação a terrenos planos ou suavemente ondulados; eficiência relativa baixa de uso de água	Idem
Aspersão	Convencional, pivô central e carretel	Custo médio a elevado; boa eficiência de uso da água; não requer sistematização; fácil adaptação a terreno com declives elevado; maiores restrições de qualidade da água em termos de efeito sobre plantas (toxicidade) e riscos potenciais à saúde. Muito utilizado na irrigação noturna.	Idem. Proteção das comunidades circunvizinhas (riscos de aerossóis). Efluentes anaeróbios podem provocar mau cheiro.
Localizada e subsuperficial	Gotejamento, microaspersão, gotejamento subsuperficial.	Custo elevado; maior eficiência de uso de água; maiores produtividades; não requer sistematização; fácil adaptação a terrenos com declive elevado; menores restrições de qualidade da água em termos de efeito sobre o solo (físico-químicos) e as plantas e riscos potenciais à saúde; maiores restrições de qualidade da água em termos de operação dos sistemas de irrigação.	Proteção do pessoal de operação do sistema de irrigação. Pré-tratamento para evitar a obstrução dos emissores. Há a necessidade de cuidados com a formação de aerossóis (microaspersão). Possuem baixa pressão, energia e volume.

Andreoli (2005)

Tabela 3.13 – Critérios de seleção dos sistemas de irrigação considerando o local e cultura

Disponibilidade da mão de obra	Necessidade de mão de obra especializada
Aceitabilidade da cultura ao sistema de irrigação	Tipo de planta
Densidade da cultura	Favorecimento ao aparecimento de doenças
Preço da cultura	Custos do sistema
Condições de crescimento	Necessidade de suporte técnico
Aceitabilidade - índice do parâmetro de consistência da região	Aceitabilidade do sistema de irrigação
Taxa de infiltração	Qualidade da água
Área	Quantidade da água
Declividade	Velocidade do vento
Geometria da área	

Montazar e Behbahani (2007)

3.4 - MÉTODOS DE ANÁLISE DE DECISÃO MULTIOBJETIVO E MULTICRITÉRIO

Tomar uma decisão pode ser uma tarefa complexa. Em muitas ocasiões, um decisor se depara não só com processos que demandam uma análise envolvendo diferentes pontos de vista, como também com problemas que podem comportar variadas soluções, atendendo a distintos interesses.

As técnicas de análise multiobjetivo têm-se revelado como recurso significativo de apoio à decisão, especialmente em problemas de interesse público. Com grande suporte em modelagem matemática, a abordagem multiobjetivo justifica-se por permitir: organizar melhor as informações e o papel de cada participante nas etapas decisórias; evidenciar os conflitos entre os objetivos e quantificar o grau de compromisso existente entre eles; e por tratar cada objetivo na unidade de mensuração mais adequada, sem distorção introduzida pela simples conversão em unidades monetárias, como é feito na análise benefício-custo.

Existem pelo menos cinquenta diferentes técnicas multiobjetivo. O emprego de cada uma delas dependerá de uma série de fatores, tais como a disponibilidade de informações, a natureza do problema (discreto ou contínuo), o cenário decisório, condicionantes institucionais, etc.

De acordo com Cohon e Marks (1975), as técnicas de análise multiobjetivo podem ser classificadas dependendo da forma em que são utilizadas as preferências do decisor em:

Técnicas de soluções não dominadas – nesse grupo, o conjunto de soluções não-dominadas é gerado e apresentado ao decisor que faz a sua escolha com base no conhecimento dos compromissos entre os objetivos. Dessa maneira a ação do decisor fica restrita à última etapa do processo decisório. Nessa classe, encontram-se: (1) Método dos pesos; (2) Método das restrições; (3) Método multiobjetivo Simplex.

Técnica de antecipação de preferências – o decisor estabelece a priori suas preferências sobre as trocas possíveis entre os objetivos e sobre pesos relativos destes: (1) Método da Função Utilidade Multiatributo; (2) Método da Programação de Compromisso; (3)

Programação por Metas; (4) ELECTRE I, II, III; (5) PROMETHEE, (6) AHP - *Analytic Hierarchy Process*.

Técnicas de articulação progressiva de preferências – nessa técnica, as preferências são estabelecidas interativamente durante o processo: (1) Método dos Passos; (2) SWTM (Surrogate Worth Trade-off Method); (3) GM (Método de Geaffrion); (4) TDM (Trade – off Development Method).

3.4.1 - FAMÍLIA DE MÉTODOS ELECTRE

Os métodos ELECTRE (Roy, 1985) aplicam-se principalmente no tratamento de alternativas discretas avaliadas qualitativamente. O método ELECTRE I tem como idéia principal separar, do conjunto total de alternativas, aquelas que são preferidas na maioria dos critérios de avaliação e que não causam um nível inaceitável de descontentamento nos outros critérios. Para isso, são introduzidos os conceitos de concordância e discordância. A concordância entre duas alternativas i e j representa a disposição do decisor em escolher a alternativa i em lugar da j . O índice de concordância (C), mostrado na equação 3.1, representa uma razão ponderada dos critérios para os quais a alternativa i é preferida da alternativa j . O conceito de discordância (D), equação 3.2, é complementar e representa o quanto a escolha de i é prejudicial em relação a j . Para ambos os índices, é definida uma escala numérica comum a todos os critérios. Estes são definidos pelas expressões:

$$C(i, j) = \frac{W_+ + 0,5 \cdot W_-}{(W_+ + W_- + W_-)} \quad \text{Equação (3.1)}$$

Onde:

W_+ = somatório de pesos dos critérios em que i é superior a j ;

W_- = somatório de pesos dos critérios em que i é equivalente a j ;

W_- = somatório de pesos dos critérios em que i é inferior a j .

e,

$$D(i, j) = \frac{\max(z(j, k) - z(i, k))}{R^*} \quad \text{Equação (3.2)}$$

$K \in I^-$

Onde:

$D(i,j)$ = é o elemento da fila i e coluna j ;

$z(j,k)$ = é a avaliação da alternativa j , segundo o critério k ;

R^* = maior valor da escala numérica, no critério em análise.

A relação de dominância é definida ao se estabelecerem valores limites (p,q) , tais que a alternativa i é preferida a j se $C(i,j) \geq p$ e $D(i,j) \leq q$.

O resultado do ELECTRE I é um gráfico determinando uma ordenação parcial das alternativas, sendo as alternativas a escolher obtidas mediante a determinação de um subconjunto de alternativas denominado Kernel (K).

Já o ELECTRE II pode apresentar uma ordenação mais completa, apresentando, como enriquecimento do método anterior, duas relações de subclassificação, de dominância forte e fraca, havendo dessa forma, dois patamares de concordância e dois de discordância.

O ELECTRE III veio a acrescentar alguns aperfeiçoamentos em relação às versões anteriores, como uma graduação contínua da concordância entre as preferências forte e fraca, representada por um segmento de reta inclinado, e não por patamares estanques. Outro grande diferencial é a utilização de funções q , p e v , indicando indiferença, preferência e veto definidas com precisão por Roy (1985). Para um critério im , com sentido decrescente de preferência e alternativas ja e jb , essas funções introduzem conceitos de:

- Não preferência se: $im(jb) < im(ja) + q(im(ja))$: ja não desclassifica jb .
- Preferência fraca se: $im(ja) + q(im(ja)) < im(jb) < im(ja) + p(im(ja))$: ja é fracamente preferível a jb .
- Preferência forte se: $im(ja) + p(im(ja)) < im(jb)$: ja é fortemente preferível a jb .
- Não “comparabilidade” se: $im(ja) + v(im(ja)) < im(jb)$: ja é fortemente preferível a jb .

Também são usados os índices de concordância e discordância, sendo determinados por meio das expressões:

- Índice de concordância:

$$Cim(ja,jb) = 0, \quad \text{se } im(ja) + p(im(ja)) \geq im(jb)$$

$$Cim(ja,jb) = 1, \quad \text{se } im(ja) + q(im(ja)) \leq im(jb)$$

$$\text{Se } im(ja) + q(im(ja)) < im(jb) < im(ja) + p(im(ja)), \quad Cim(ja,jb) \text{ é linear.}$$

- Índice de discordância:

$$Dim(ja,jb) = 0, \quad \text{se } im(ja) + p(im(ja)) \leq im(jb)$$

$$Dim(ja,jb) = 1, \quad \text{se } im(ja) + v(im(ja)) \geq im(jb)$$

$$\text{Se } im(ja) + p(im(ja)) < im(jb) < im(ja) + v(im(ja)), \quad Dim(ja,jb) \text{ é linear.}$$

A partir da agregação das matrizes de concordância e discordância, é possível construir uma matriz de credibilidade, que representa uma medida de quanto cada alternativa desclassifica seu par. Com um algoritmo proposto por Skalka *et al.* (1992), é possível uma classificação ordenada de preferências.

O ELECTRE IV, como característica básica, busca passar ao largo do problema da determinação de pesos para representar a importância relativa entre critérios, não empregando pesos e considerando que não existem relações de maior ou menor diferença entre a importância relativa de cada critério. Assim, nenhum critério é desconsiderado em relação a outro em comparações, sendo interessante em aplicações empregando critérios subjetivos de avaliação.

3.4.1.1 - Determinação de pesos com a “Técnica do Simos Revisada” (Jogo de Cartas)

Em uma tomada de decisão, quantificar as preferências dos responsáveis pelas decisões e determinar os pesos dos critérios é uma tarefa complexa. Diversos métodos podem ser usados para uma valoração apropriada dos pesos dos critérios. Segundo Roy e Figueira (1998), Jean Simos propôs um procedimento muito simples, usando um bloco dos cartões

imaginário, com o qual pode-se determinar indiretamente valores numéricos para pesos de critérios. Roy e Figueira (1998) do LAMSADE propuseram uma versão nova deste método, que introduziu mais informações ao cálculo.

Ao responsável pelas decisões é dado um bloco de cartões imaginários: cada cartão representa um critério. Para n critérios, haverá n cartões. São dados também alguns cartões brancos. É pedido então para arranjar os n cartões em ordem da preferência, sendo o primeiro o critério menos importante. Também pode-se decidir em ordenar os critérios com mesmo nível de importância, unindo-os com um grampo. Assim, se obtêm n classes de preferências.

Então o responsável pelas decisões tem que demonstrar a distância em nível de importância entre duas classes consecutivas. Assim sendo, pode-se introduzir um cartão branco entre dois cartões, quando considerar a distância como sendo duas vezes mais importante. Consequentemente, nenhum cartão branco significa a distância mínima u entre dois cartões consecutivos, um cartão branco significa uma distância de $2u$, dois cartões brancos significam uma distância de $3u$ e assim sucessivamente.

A informação procurada é **a relação entre o primeiro critério (o pior) e o último (melhor)** que representa quantas vezes o melhor critério é mais importante do que o pior. Este valor é chamado de Z .

O cálculo dos pesos não normalizados

Supõem-se n classes de preferências. Ao pior nível é dado um peso não normalizado k ($l = 1$). O melhor terá assim um peso $k(\tilde{n}) = Z$. Definiu-se $e'_r =$ o número dos cartões brancos entre os $rank\ r$ e o $rank\ r_{+1}$. E $e_r = 1 + e'_r$.

Supondo e o número total de u (distâncias) (e é a soma de e_r até $r = \tilde{n}-1$). Então, têm-se: $u * e + 1 = Z$. Como exemplo pode-se citar os seguintes parâmetros da Tabela 3.14: com 8 critérios a, b, c, d, e, f, g, h, arranjando $n = 3$ classes das preferências tendo: $\{a, c, g\}$, $\{d\}$, *cartão branco*, $\{b, e, f, h\}$. A Tabela 3.14 mostra os parâmetros de cálculo pela “técnica de Simos Revisada” (Jogo de Cartas).

Tabela 3.14 – Parâmetros para o exemplo de cálculo de pesos pelo Jogo de Cartas.

Rank <i>r</i>	Pacotes Iguais	Número de cartões brancos observados no ranking	<i>e_r</i> Para $R < \tilde{n}$	Pesos não normalizados	Total	Pesos Normalizados
1	{a,c,g}	0	1	1	$1*3 = 3$	$100/29,66 = 3,37$
2	{d}	1	2	$1 + 1,666 = 2,66$	$2,66*1 = 2,66$	$266,66/29,66 = 8,9887$
3	{b,e,f,h}	0		$1 + 3*1,66 = 6$	$6*4 = 24$	$600/29,66 = 20,22$
Total	Total	e = 3	29,666	100

A partir deste ponto, o responsável pelas decisões diz que a melhor classe {b, e, f, h} é $z = 6$ vezes mais importante do que a pior {a, c, g}. Neste caso, portanto, têm-se $\tilde{n} = 3$, $e = 3$ e $u = (z - 1)/e = 5/3 = 1,666$. Então, para o número r da classe, o peso não normalizado é $k(r) = 1 + u * (e_0 + e_1 + \dots + e_{r-1})$, com $e_0 = 0$, e_r definido como acima. A Figura 3.6 mostra um esboço da lógica do SRF para $z = 6$; $u = 1,66$, citado neste exemplo.

Pesos Normalizados

Considerando k a soma de todos os pesos não normalizados ($k = 29,66$ no exemplo), o peso normalizado $k'(r)$ será: $k'(r) = 100*k(r)/k$ como mostrado na Tabela 3.14.

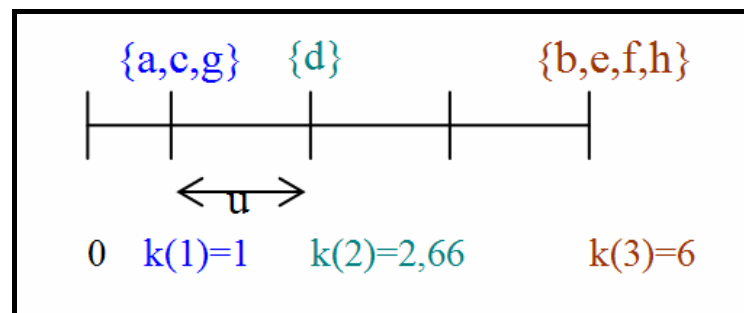


Figura 3.6 – Esboço da Lógica do Jogo de Cartas (Técnica de Simos Revisada)

3.4.2 - PROMETHEE

Do mesmo modo que o ELECTRE, o método PROMETHEE (Vincke, 1982) estabelece uma estrutura de preferência entre alternativas discretas. Para cada critério, existe uma função preferência entre alternativas, que deve ser maximizada. Essa função indica a

intensidade da preferência de uma alternativa à outra, com o valor variando entre 0 (indiferença) e 1 (preferência total).

Freqüentemente, são utilizados seis tipos mais usuais de funções de preferência, sendo utilizados dois parâmetros, no máximo. Esses tipos são descritos a seguir:

Tipo I: A preferência é total para a alternativa com maior valor, não havendo preferência entre a e b apenas quando $f(a) = f(b)$.

Tipo II: Considera-se a indiferença todos os desvios entre $f(a) = f(b)$ menores que q . Para desvios maiores, a preferência é total.

Tipo III: A preferência aumenta linearmente até o desvio entre $f(a) = f(b)$ alcançar um limite r , após o qual a preferência é total.

Tipo IV: Não existe preferência entre a e b para desvios entre $f(a)$ e $f(b)$ menores que q . Entre q e r , é atribuído um valor médio, e para desvios acima de r , a preferência é total.

Tipo V: Semelhante à forma anterior, porém, entre q e r , a preferência aumenta linearmente.

Tipos VI: A preferência aumenta continuamente com a variação do desvio.

A classificação das alternativas é feita definindo-se o índice de preferência global de a sobre b , $\pi(a, b)$, para cada critério i , dado pela equação 3.3.

$$\pi(a, b) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot P_i(a, b) \quad \text{Equação (3.3)}$$

Sendo:

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1 \quad \text{Equação (3.4)}$$

onde α_i são pesos associados a cada critério. Esse índice possibilita a avaliação de cada alternativa, mediante a consideração de duas grandezas chamadas **fluxo de importância positivo** e **fluxo de importância negativo** que representam os somatórios dos índices de preferência de a em relação ab e de b em relação aa , sob todos os critérios.

O fluxo de importância positivo é representado pela equação 3.5, consistindo em uma estimativa de quanto cada alternativa domina as outras:

$$\phi^+(a) = \sum \pi(a, x) \quad \text{Equação (3.5)}$$

$$x \in X$$

O fluxo de importância negativo expressa o quanto cada alternativa é dominada pelas outras, sendo representado pela equação 3.6.

$$\phi^-(a) = \sum \pi(a, x) \quad \text{Equação (3.6)}$$

$$x \in X$$

Dessa forma, a classificação das alternativas é feita com base nos valores obtidos de $\phi^+(a)$ e $\phi^-(a)$. Uma ordenação parcial de alternativas é obtida no método PROMETHEE I, considerando as condições das equações 3.5 e 3.6, dada alternativas a e b :

a é preferido de b se:

$$\phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ e } \phi^-(a) < \phi^-(b) \quad \text{Equação (3.7)}$$

$$\phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ e } \phi^-(a) = \phi^-(b)$$

$$\phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ e } \phi^-(a) < \phi^-(b)$$

a é indiferente de b se:

$$\phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ e } \phi^-(a) = \phi^-(b) \quad \text{Equação (3.8)}$$

a e b são incomparáveis caso não se enquadrem nas formas descritas.

No PROMETHEE II, obtém-se uma ordenação total, com a escolha da alternativa com o maior fluxo líquido de importância, dado pela equação 3.9.

$$\mathcal{O}(a) = \mathcal{O}^+(a) - \mathcal{O}^-(a) \quad \text{Equação (3.9)}$$

Na equação 3.9, a é preferível a b se $\mathcal{O}(a) > \mathcal{O}(b)$ e indiferente se $\mathcal{O}(a) = \mathcal{O}(b)$.

3.4.3 - AHP

O AHP é um método que se caracteriza pela capacidade de analisar um problema de tomada de decisão, por meio da construção de níveis hierárquicos, ou seja, para que se tenha uma visão global da relação complexa inerente à situação, o problema deve ser decomposto em fatores. Os fatores são decompostos em um novo nível de fatores, e assim por diante até determinado nível. Esses elementos são organizados numa hierarquia descendente onde os objetivos finais devem estar no topo, seguidos de seus sub-objetivos, imediatamente abaixo, as forças limitadoras dos decisores, os objetivos dos decisores e por fim, os vários resultados possíveis, os cenários. Os cenários determinam as probabilidades de se atingir os objetivos. Os objetivos influenciam os decisores, e os decisores guiam as forças que, finalmente, causarão impacto nos objetivos finais. Nessa perspectiva percebe-se que o AHP parte do geral para o mais particular e concreto (Gomes, 2004).

A primeira fase envolve a estruturação do problema em níveis. Nesse sentido, o AHP permite aos decisores a modelagem de problemas complexos em uma estrutura hierárquica que mostra as relações entre as metas, os critérios que exprimem os objetivos e sub-objetivos, e as alternativas que envolvem a decisão.

Após a construção da estrutura hierárquica do problema, o agente decisor deve fazer a comparação par a par, de cada elemento em um nível hierárquico dado, criando-se uma matriz de decisão quadrada. Os resultados das comparações devem ser apresentados de forma matricial.

O decisor deverá fazer, portanto, $n(n-1)/2$ comparações, sendo n o número de elementos do nível analisado.

Na matriz quadrada, deve-se observar as seguintes condições:

$$a_{ij} = \alpha;$$

$$a_{ji} = 1/\alpha;$$

$$a_{ii} = 1;$$

em que :

a – comparação par a par entre os critérios;

α – valor da intensidade de importância.

Em termos práticos, cada elemento a_{ij} do vetor linha da matriz representa a dominação da alternativa A_i sobre a alternativa A_j . A diagonal principal da matriz dominante é preenchida com um valor estipulado, que representa a não dominância de uma alternativa sobre outra.

Nessa matriz, o decisor representará, a partir de uma escala predefinida, sua preferência entre os elementos comparados, sob o enfoque de um elemento do nível imediatamente superior.

A resolução da matriz resulta no auto-vetor de prioridades, o qual expressa as importâncias relativas de cada critério ou pesos.

O cálculo se processa da seguinte forma:

Na matriz de decisão A , são calculados os resultados parciais dentro de cada critério $\bar{v}_i(A_j)$, $j = 1, \dots, n$, representando o valor de impacto da alternativa j em relação a alternativa i , em que os resultados representam valores numéricos das atribuições verbais dadas pelo decisor a cada comparação da alternativa. Tais resultados são normalizados pela equação 3.10.

$$\bar{v}_i(A_i) = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad \text{Equação (3.10)}$$

A normalização dos valores de prioridades é normalmente feita após a classificação par a par, sendo posteriormente calculado o valor do vetor de prioridade ou auto-vetor. O vetor de prioridades da alternativa i em relação ao critério C_k é calculado pela equação 3.11.

$$\bar{v}_k(A_i) = \frac{\bar{v}_i(A_j)}{n} \quad \text{Equação (3.11)}$$

onde n = número de alternativas comparadas.

Depois de realizados os cálculos para obter o vetor de prioridades das alternativas sob cada critério K , segue-se com o nível dos critérios. Assim, volta-se novamente a escala verbal para a classificação par a par dos critérios. Para tanto, procede-se da mesma forma em que se calculou a importância relativa das alternativas, utilizando-se as equações 9 e 10 nos respectivos níveis.

Conhecidas as importâncias relativas dos critérios e os níveis de preferência das alternativas parte-se então para a valoração global de cada uma das alternativas, que se dá por meio da função aditiva mostrada na equação 3.12.

$$\bar{f}(A_j) = \sum_{i=1}^m \bar{w}_i(C_i) \cdot \bar{v}_i(A_j) \quad j=1, \dots, n \quad \text{Equação (3.12)}$$

Onde:

$\bar{w}_i(C_j)$ corresponde a importância relativa do critério j .

$\bar{v}_i(A_j)$ corresponde ao nível de preferência da alternativa analisada no critério j .

m corresponde ao número de critérios de um mesmo nível.

n corresponde ao número de alternativas.

O método AHP, depois da divisão do problema em níveis hierárquicos, determina de forma clara e por meio da síntese dos valores dos agentes de decisão, uma medida global para cada alternativa, priorizando-as ou classificando-as ao finalizar o método.

De posse dos valores das importâncias, é testada a integridade dos julgamentos, calculada por um índice de inconsistência. Para a verificação da inconsistência, devem-se observar as seguintes considerações. Seja n o número de elementos a serem comparados, λ_{max} o auto-

vetor de A (matriz de decisão) e w o vetor próprio correspondente ou vetor de prioridades. Caso os juízos emitidos pelo decisor sejam perfeitamente consistentes, tem-se $\lambda_{max} = n$ e $a_{ij} = w_i / w_j$. Contudo, quase sempre se verifica alguma inconsistência nos juízos. A inconsistência pode ser medida da seguinte maneira: quanto mais próximo estiver o valor de λ_{max} de n , maior a consistência dos juízos. Assim, $\lambda_{max} - n$ é um indicador da consistência dos juízos. Para se obter o autovetor λ_{max} tem-se a equação 3.13.

$$\lambda_{max} = \left(\frac{1}{n}\right) \sum v_i \frac{[Aw]_i}{w_i} \quad \text{Equação (3.13)}$$

Saaty (1980) *apud* Schmidt (1995), propôs ainda um índice de consistência (IC). Esse índice é dado pela equação 3.14.

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} \quad \text{Equação (3.14)}$$

Se a matriz for consistente, o resultado da relação ora descrita na equação 3.14 deve ser $IC < 0,1$.

3.4.4 - *Compromise Programming*

3.4.4.1 - Histórico, Potencialidade e Aplicabilidade

Foi utilizado primeiramente num contexto multiobjetivo de variáveis contínuas com articulação progressiva de preferências, (Zeleny, 1973, 1974). Posteriormente foi usado num problema discreto, num problema de planejamento de recursos hídricos numa bacia hidrográfica na Hungria, problema discreto, (Duckstein e Opricovic, 1980). Souza (1992) propôs o cálculo para produzir uma classificação ordenatória das alternativas.

O método apresenta a capacidade de pontuação de alternativas por proximidade espacial, valendo-se da articulação progressiva de preferências, solicitando ao Agente Decisor (AD) a opinar sobre o resultado obtido e, em seguida, executando o método novamente caso não haja satisfação. No entanto, existe a possibilidade de adaptação para articulação prévia, onde o AD é consultado anteriormente à execução do método.

O método *Compromise Programming* é utilizado com êxito nos problemas decisórios de natureza pública, como nos casos de planejamento e gestão de recursos hídricos.

Desenvolvimento Teórico e Matemático

Nesse método, os dados básicos de entrada no problema multiobjetivo discreto se encontram na forma de uma “matriz de resultados” $[i \times j]$, onde as alternativas a_1, a_2, \dots, a_m são avaliadas pelos critérios de decisão f_1, f_2, \dots, f_n . Desse modo, a matriz é composta pelos valores $f_i(a_j)$, com $i = 1, 2, \dots, n$ e $j = 1, 2, \dots, m$.

No método, são identificadas as soluções que estão mais perto da solução ideal, mediante o uso de uma medida de proximidade. Considera-se esta medida como sendo a distância que separa uma dada solução, da solução ideal.

A solução ideal é definida como sendo:

$$f^* = (f^*1, f^*2, \dots, f^*n)$$

onde os f^*i , são definidos como os melhores valores no conjunto finito dos $f_i(x)$, isto é, a solução ideal será formada pelo vetor dos melhores valores alcançados em cada critério, da matriz de avaliação.

Uma vez que a solução ideal é inviável (sendo praticamente impossível alcançar uma solução real que maximize a satisfação em todos os objetivos de um problema), esse vetor serve como um padrão de avaliação das diversas soluções propostas para o problema.

Uma das medidas de proximidade usada com mais freqüência é dada pelas equações 3.15 e 3.16.

$$Lp(j) = \left[\sum_{i=1}^n W_i^p (f_i^* - f_{ij})^p \right]^{\frac{1}{p}} \quad \text{Equação (3.15)}$$

ou

$$Lp(j) = \sum_{i=1}^n W_i^p (f_i^* - f_{ij})^p \quad \text{Equação (3.16)}$$

sendo:

$L_p(j)$ = escala L_p para a j -ésima alternativa

W_i = pesos dos critérios definidos *a priori*

p = índice de importância com relação ao desvio máximo ($p=1, 2$ ou ∞)

F_{ij} = valor atribuído ao i -ésimo critério para a j -ésima alternativa componente da matriz de avaliação

n = número de critérios de decisão considerados

m = número de alternativas analisadas

Os pesos W_i podem ser determinados a partir da formação de uma estrutura de preferência dos critérios de decisão ou devem ser definidos por consulta ao AD, (DUCKSTEIN e OPRICOVIC, 1980).

A solução de compromisso L_p^* , para um dado p , será de acordo com a equação 3.17.

$$L_p^* = \min L_p(j) \quad \text{Equação 3.17}$$

Devido a variação dos parâmetros W_i e p , para a obtenção da solução de compromisso, buscar-se a utilidade e influência desses parâmetros nos resultados obtidos (GOICOCHEA *et al.*, 1982)

Adotando $W_1 = W_2 = \dots W_n = 1$, e $K_i = f_i^* - f_{ij}$, tem:

$$L_p(j) = \left[\sum_{i=1}^n K_i^{p-1} (f_i^* - f_{ij}) \right]^{\frac{1}{p}} \quad \text{Equação (3.18)}$$

Para $p = 1$, $K_i^{p-1} = 1$, tem-se:

$$L_p(j) = L_1(j) = \sum_{i=1}^n (f_i^* - f_{ij}) \quad \text{Equação (3.19)}$$

Neste caso, todos os desvios em relação ao ideal têm peso igual na determinação de $L_p(j)$.

Para $p = 2$, tem-se:

$$L_p(j) = L_2(j) = \left[\sum_{i=1}^n K_i (f_i^* - f_{ij}) \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{Equação (3.20)}$$

No caso, cada desvio tem como peso sua própria magnitude.

À medida que p aumenta, mais importância é dada ao maior desvio, até que em $p = \infty$, tem-se:

$$L_{\infty}(j) = \max[f_i^* - f_{ij}] \quad \text{Equação (3.21)}$$

Com a escolha de p o AD reflete a importância que atribui aos desvios máximos. Existe um duplo esquema de pesos. O parâmetro p refere à importância que tem os desvios máximos e o parâmetro w_i refere à importância relativa do critério i . A sensibilidade é estudada com a solução do problema para diferentes conjuntos de parâmetros, conforme equação 3.22.

$$Lp(j) = \sum_{i=1}^n W_i^p K_i^{p-1} (f_i^* - f_{ij}) \quad \text{Equação (3.22)}$$

Com a função $S_i(D_i)$, com $D_i = f_i^*$ - intervalo de $[0,1]$, como:

$$S_i(D_i) = \frac{f_i^* - f_{ij}}{f_i^* - f_i^{**}} \quad \text{Equação (3.23)}$$

onde os f_i^{**} , são definidos como os piores valores no conjunto finito dos $f_i(x)$, isto é, a solução não ideal será formada pelo vetor dos piores valores alcançados em cada critério, na matriz de avaliação.

Sendo a distância de cada alternativa à solução ideal dada pela equação 3.24.

$$Lp(j) = \left[\sum_{i=1}^n W_i^p \left(\frac{f_i^* - f_{ij}}{f_i^* - f_i^{**}} \right)^p \right]^{\frac{1}{p}} \quad \text{Equação (3.24)}$$

Para $p = \infty$:

$$L_{\infty}(j) = \max W_i \left(\frac{f_i^* - f_{ij}}{f_i^* - f_i^{**}} \right) \quad \text{Equação (3.25)}$$

Duckstein e Opricovic (1980) recomendam o cálculo da escala métrica L_p somente para $p = 1$, $p = 2$ e $p = \infty$. A solução de compromisso do problema é aquela que produz o mínimo valor da escala métrica L_p .

Produzindo uma classificação ordenatória das alternativas analisadas pelo método, Souza (1992), propôs o cálculo do que chamou de L_p total $L_t(j)$, definida pela equação 3.26.

$$L_t(j) = \sum L_p(j) \quad \text{Equação (3.26)}$$

$[p=1, 2, \infty]$

A solução final do método é a alternativa (ou alternativas) apresentando o valor mínimo da escala métrica total $L_t(j)$.

3.4.5 - TOPSIS

O método TOPSIS pertence tanto à primeira classe (sem articulação de preferências por parte do agente decisor) como de articulação progressiva. Esse método foi desenvolvido e descrito por Hwang e Yoon (1981) *apud* Lai *et al.* (1994) e descrito também em Kirby (2001), para resolver problemas multiobjetivo de tomada de decisão. Esta técnica é baseada no princípio de que a alternativa escolhida deveria ter a menor distância a partir de uma solução ideal positiva (*PIS – Positive Ideal Solution*) e a maior distância a partir de uma solução ideal negativa (*NIS – Negative Ideal Solution*).

Esse método segue o mesmo princípio da “Programação de Compromisso” (Goicochea, 1982), calculando uma distância a uma solução ideal. Por outro lado, o Método TOPSIS, calcula uma distância com relação a uma solução Ideal Negativa (NIS), e gera um coeficiente de similaridade, de cada alternativa, mostrando o quanto cada uma se afasta da solução ideal positiva. Sendo assim têm-se uma informação a mais para o Agente decisor. Pode-se ter uma decisão que não somente é a mais aceitável, mas também pode-se “quantificar” essa aceitabilidade.

A definição de um ponto de referência é usualmente o primeiro passo para resolver problemas multiobjetivos. Várias técnicas necessitam de um ponto inicial de referência

para obter uma solução de compromisso. Com um dado ponto de referência, problemas multiobjetivos podem ser resolvidos localizando as alternativas ou decisões que estão próximas desse ponto. Então, o problema se torna medir a distância ao ponto de referência.

O Método de Critério Global mede essa distância usando o comprimento métrico L_p . O comprimento métrico L_p define a distância entre dois pontos (d_p), f e f^* (o ponto de referência e o ponto ideal), num espaço de k dimensões:

$$d_p = \left\{ \sum_{t=1}^k (f_t^* - f_t)^p \right\}^{1/p} \quad \text{Onde } p \geq 1 \quad \text{Equação (3.27)}$$

Quando p aumenta, a distância d_p decresce dando maior ênfase ao maior desvio. Especificamente, p reflete a importância que o decisor atribui aos desvios máximos. Se $p=1$, todos os desvios em relação ao ideal tem igual peso na determinação de L_p . Enquanto que $p=2$ implica que os desvios possuem pesos proporcionais à sua magnitude. Por último, se $p=\infty$, o maior desvio recebe a máxima importância, isto é:

$$d_\infty = \max \{ |f_t^* - f_t| \} \quad \text{Equação (3.28)}$$

Devido à incomensurabilidade entre os objetivos, a distância d_p necessita ser normalizada, essa normalização pode ser dada por:

$$d_p = \left\{ \sum_{t=1}^k [(f_t^* - f_t) / f_t^*]^p \right\}^{1/p} \quad \text{Equação (3.29)}$$

Lai *et al.* (1994) usaram ambas as distâncias PIS (f^*) e NIS (f^-) para normalizar a distância d_p :

$$d_p = \left\{ \sum_{t=1}^k [(f_t^* - f_t(x)) / (f_t^* - f_t^-)]^p \right\}^{1/p} \quad \text{onde } p \geq 1 \quad \text{Equação (3.30)}$$

3.4.6 - Escolha do Método Multiobjetivo/Multicritério

Não há um método que possa ser considerado melhor do que outro. Cada problema representa um caso particular e a escolha do método multiobjetivo para analisá-lo está

vinculada à disponibilidade de informações e familiaridade do analista com um ou outro método. Observa-se, porém, que o decisor sente-se mais atraído pelos métodos que considera de mais fácil entendimento.

3.4.7 - Aplicações de análise multiobjetivo/multicritério

Os métodos de Análise Multiobjetivo são bastante usados em soluções para problemas ambientais, de saneamento e de recursos hídricos.

Duckstein e Opricovic (1980) aplicaram a técnica *Compromise Programming* para a escolha de uma solução para o suprimento de água na bacia central do Rio Tisza na Hungria.

Uma comparação dos métodos ELECTRE I, programação de compromisso e teoria do jogo cooperativo, foi feita por Aregai *et al.* (1988), na análise de sistema para o tratamento de esgotos do Arizona.

De maneira similar Souza (1992) desenvolveu o modelo PROSEL-I (*Process Selection Version I*) para eleger processos de tratamento de águas residuárias usando princípios de Tecnologia Apropriada e análise de decisão com múltiplos objetivos e múltiplos critérios. Nesse modelo, são aplicados os métodos da Ponderação Aditiva Simples, *Compromise Programming* e ELECTRE-I.

Gobetti e Barros (1994) aplicaram os métodos de análise de decisão com multiobjetivos *Compromise Programming*, Função Utilidade Multidimensional, ELECTRE-I e PROMETHEE para a seleção de alternativas para a interceptação, tratamento e disposição final dos esgotos coletados no Sistema Principal.

Duckstein *et al.* (1994) *apud* Souza (1997) usaram as técnicas de análise de decisão com múltiplos objetivos *Compromise Programming*, “Função Utilidade Multidimensional”, ELECTRE-III e UTA (do francês *Utilité Additive*) para a seleção de alternativas de manejo de águas subterrâneas.

Barbosa e Gobetti (1995), aplicaram os métodos ELECTRE-I, ELECTRE-II e *Compromise Programming* para a seleção de alternativas do plano integrado para aproveitamento e controle dos recursos hídricos das bacias do alto Tietê, Piracicaba, Baixada Santista e Sorocaba.

Harada e Cordeiro Netto (1999 e 1997), elaboraram um suporte metodológico de auxílio à decisão, com uma abordagem multicritério, voltado para a seleção de alternativas em sistemas de coleta e tratamento de esgotos em condomínios do Distrito Federal, onde aplicaram os métodos *Compromise Programming*, PROMETHEE-II e ELECTRE-III.

E finalmente com relação à aplicações destes métodos em reúso de água no Distrito Federal, Generino (2006) examinou a pertinência de utilização de abordagem multicritério como ferramenta de planejamento em reúso de água e utilizando o Método ELECTRE III. Obteve como resultados que as águas residuárias tratadas de todas as ETARs não apresentaram qualidade satisfatória para irrigação irrestrita e identificou seis alternativas relacionadas às ETARs para se realizar reúso no Distrito Federal: Brazlândia, Samambaia/Melchior, Gama, Sul, Planaltina e São Sebastião, dentre as quais as seis alternativas têm capacidade para irrigar todos os canteiros ornamentais, como também 4268 ha de áreas agrícolas que correspondem a 38% das áreas irrigadas das grandes culturas do DF. Após a aplicação do Método ELECTRE III, as alternativas mais vantajosas relacionaram-se às ETEs Sul e Samambaia/Melchior.

4 - DADOS OBTIDOS NO ÂMBITO DO PROSAB 4

Este capítulo trata dos experimentos realizados pela equipe do Programa de pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, estudando a fertirrigação, em escala piloto, da espécie florífera Dália Anã Sortida (*Dahlia pinnata*) no PROSAB 4, no período de julho de 2004 a março de 2006. Vale ressaltar que estes dados foram obtidos anteriormente ao início desta dissertação, mas foram a matéria prima fundamental para realização deste texto. A metodologia utilizada no experimento do PROSAB 4 será apresentada, no sentido de esclarecer quaisquer dúvidas com relação aos dados que serão discutidos mais adiante.

4.1 - DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO PILOTO

O experimento piloto consistiu em uma simulação controlada da realização do reúso de água para fins paisagísticos, empregando um sistema de irrigação com águas residuárias municipais submetidas a diferentes níveis e tipos de tratamento: efluente primário, efluente “secundário” e efluente “terciário”, provenientes da Estação de Tratamento de Esgotos de Brasília – Asa Norte (ETEB-Norte), efluente de Reator “UASB simplificado”, e efluente das lagoas de estabilização de alta taxa, provenientes da Estação de Tratamento de Esgotos de Paranoá (ETE-Paranoá).

O delineamento experimental foi idealizado por blocos casualizados, tendo-se feito o sorteio por números aleatórios para a localização definitiva no espaço dos diferentes tratamentos. Os tratamentos concebidos foram: T1 = Testemunha 1: Água potável do sistema de abastecimento da Asa Norte com adubação clássica; T2 = Testemunha 2: Água do lago Paranoá; T3 = Efluente primário sem diluição; T4 = Efluente primário diluído com terciário; T5 = Efluente secundário; T6 = Efluente terciário; T7 = Efluente de reator UASB; e T8 = Efluente de lagoa de estabilização.

A adubação clássica feita refere-se à mesma utilizada pela NOVACAP (órgão responsável pela irrigação dos canteiros no DF) composta de esterco de galinha a 100 kg.m^{-2} e de adubo químico NPK 4-14-8 com 0,4% Zn a 50 kg.m^{-2} , e de micronutrientes FTE a 10 kg.m^{-2} . A diluição do tratamento T4 trata-se de 50% de efluente primário com 50% do efluente terciário, obtido por irrigação alternada.

O experimento teve a intenção de transferir dados de pesquisa para execução em escala real, onde a sua concepção envolveu unidades experimentais em ambiente natural externo, fora de casa de vegetação.

Os efluentes usados como águas de irrigação, como já dito, foram esgotos sanitários tratados provenientes de duas estações de tratamento de esgotos, a ETEB-Norte e a ETE-Paranoá.

A Estação de Tratamento de Esgotos Brasília Norte (ETEB-Norte) foi projetada para tratar os esgotos de 251.000 habitantes pelo processo biológico de remoção de nutrientes conhecido como “Bardenpho Modificado”, “Bardenpho de 5 estágios” ou “Phoredox”, seguido de polimento final pelo processo físico-químico constituído de coagulação, floculação e flotação. O fluxograma da estação é apresentado na Figura 4.1.

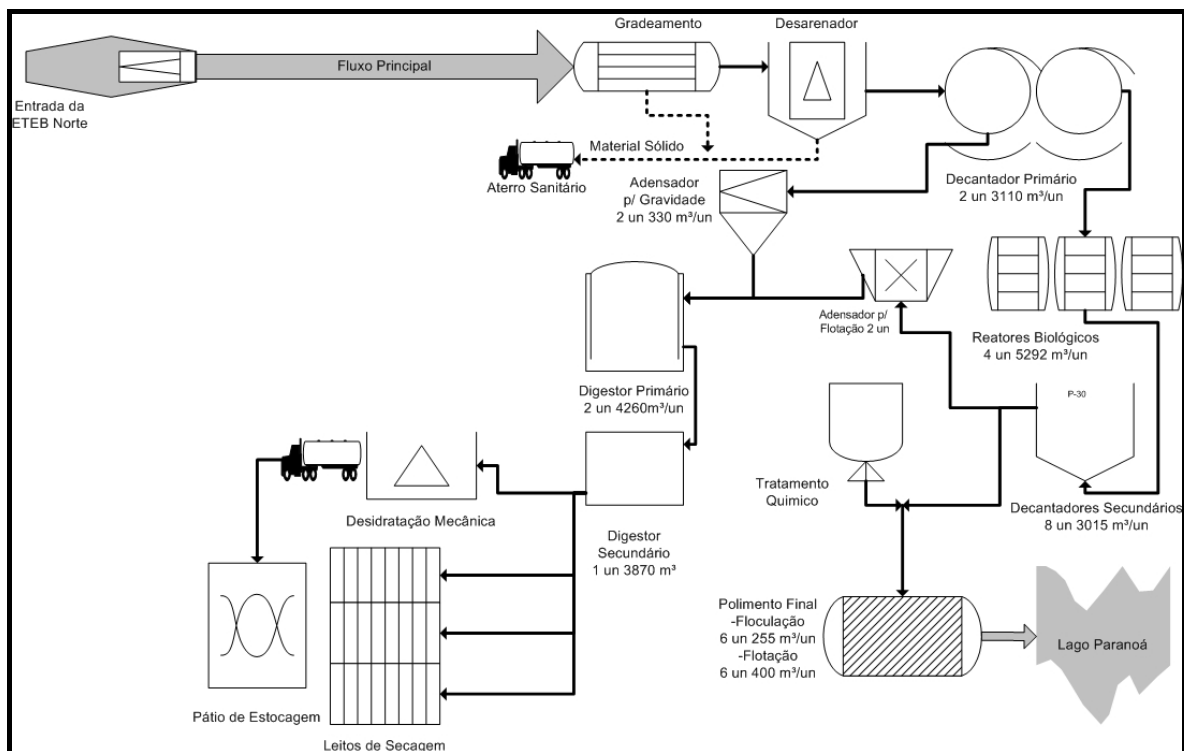


Figura 4.1 – Fluxograma de processos da ETE Brasília Norte
Nakazato (2005)

Na etapa inicial, o tratamento preliminar é realizado por um sistema de gradeamento manual e mecanizado e por desarenadores do tipo *air lift*. Após o tratamento preliminar, a água residuária é submetida à decantação primária, que completa a fase do tratamento primário da estação. Na etapa seguinte, o tratamento secundário avançado, a água residuária é tratada em reatores biológicos especiais que realizam a nitrificação e a desnitrificação biológica. O polimento final do efluente secundário ocorre após a decantação secundária, quando o efluente dessa etapa é submetido a um tratamento químico. Esse tratamento é feito adicionando à água residuária sulfato de alumínio e polieletrólitos (CAESB, 2005).

A Estação de Tratamento de Esgotos Paranoá (ETE Paranoá) atendia à época da pesquisa cerca de 49.000 habitantes da cidade satélite de mesmo nome. A estação foi projetada para atender 60.000 habitantes com capacidade para tratar 112 L/s de vazão afluente. A Figura 4.2 descreve o fluxograma da estação.

O tratamento preliminar é realizado por um sistema formado por grades manuais e mecanizadas e por um desarenador dotado de um sistema de remoção mecanizado. A etapa seguinte é realizada por três reatores UASB compartimentados. Esses reatores operam em paralelo e cada um possui duas câmaras em série, com tempo de detenção de um dia para a vazão média. Em seguida a água residuária é encaminhada às lagoas de alta taxa. A estação possui nove lagoas de alta taxa, cada uma com tempo de detenção de quinze dias. A última etapa do processo de tratamento, desativada recentemente, era realizada por seis leitos de escoamento superficial, que deveriam reter parte das algas produzidas nas lagoas de alta taxa (CAESB, 2005).

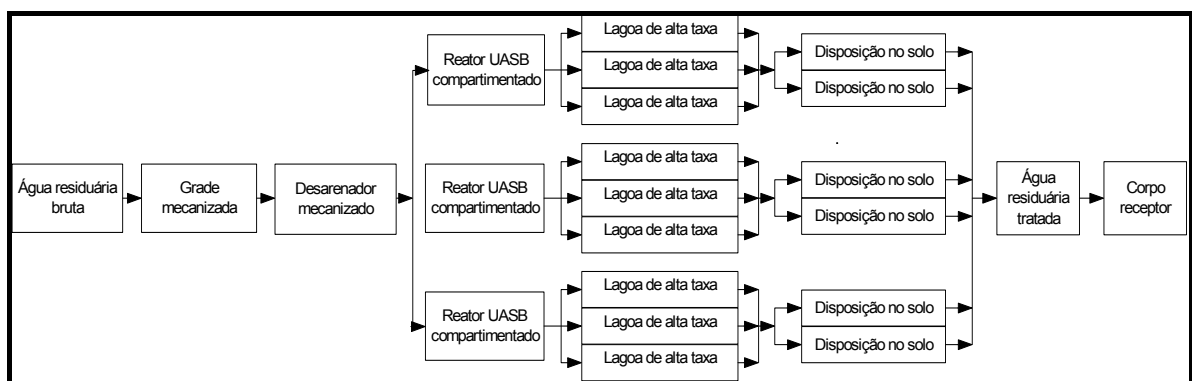


Figura 4.2 – Fluxograma de processos da ETE Paranoá Santos (2000)

A espécie escolhida para cultivo foi a *Dahlia pinnata* (Dália Anã Sortida) mantendo a mesma cultura em todos os ciclos de cultivo. A densidade do enchimento de solo foi de 866 kg.m^{-3} . Todas as unidades sofreram calagem com uma dosagem de 1 kg de calcário dolomítico por m^3 de solo. A Figura 4.3 apresenta um esquema representativo das unidades de cultivo utilizadas no experimento piloto e a Figura 4.4 uma foto de uma unidade construída. Foram realizados cinco ciclos de cultivo, sendo cada um com duração de 4 meses operacionais. O cronograma de execução dos ciclos pode ser visto na Tabela 4.1.

No delineamento experimental, cada um dos oito tratamentos (incluindo as duas testemunhas) teve cinco repetições, com 40 blocos e/ou parcelas chamadas “unidades de cultivo”. O experimento piloto foi dotado de 40 recipientes de fibra de vidro em formato circular em planta, cada um com um volume de 500 litros contendo um sistema de drenagem em cruzeta de tubos de PVC perfurados, ligados a uma saída no fundo com registro de vedação, o que permitiu a amostragem da água drenada.

Cada recipiente apresentou diâmetro igual a 1,2 m e altura de 0,72 m. Cada unidade de cultivo foi dotada de uma tubulação lateral transparente para verificação do nível de água, recebeu vinte e três mudas de flores e possuía sistema de coleta da água drenada para fins de verificação do potencial de contaminação do reúso e de tratamento do sistema. Em uma unidade de cada tratamento foi inserido um tensiômetro e um bloco de gesso para medida de condutividade do solo, ambos para controle da umidade no solo. No quinto ciclo foram instalados também mais 16 tensiômetros denominados “Irrigás”, patenteado pela EMBRAPA, sendo 4 do tipo 8 Kpa instalados à profundidade de 15 cm, 4 do tipo 16 KPa instalados a profundidade de 30 cm e 8 instalados a profundidade de 20 cm.

No decorrer da pesquisa, observou-se a ocorrência de infestações de pragas. Primeiramente houve infestação por lagartas, que eram responsáveis pela destruição das folhas das plantas e posteriormente houve a infestação por pulgões. No segundo ciclo, devido ao excesso de umidade, ocorreu uma doença causada por vírus do próprio solo, que é comum à espécie Dália e para a qual não se recomenda combate. Para o terceiro ciclo além dos pulgões, também foi observada outra praga chamada oídeo. No quarto ciclo, talvez o mais crítico, observou-se a ocorrência de pulgões, oídeos e alternária, devido ao grande volume de água de chuva. Nos três casos, foi feito o controle fito-sanitário adequado, que foi conduzido por profissionais da área de agronomia. No quinto ciclo também foi observado a manifestação

de alternária, mas devido ao excesso de chuva nesse período não foi possível fazer um controle adequado.

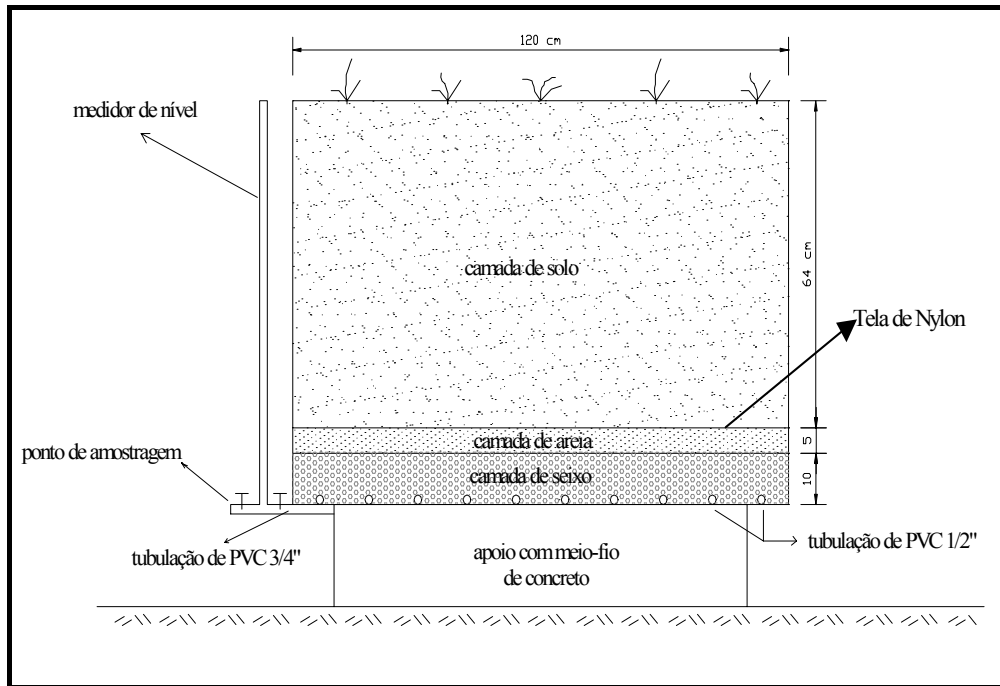


Figura 4.3 – Esquema das unidades de cultivo utilizadas no experimento piloto Souza (2006)



Figura 4.4 – Unidade de cultivo utilizada no experimento piloto Souza (2006)

Tabela 4.1 – Período de realização dos ciclos operacionais de cultivo

Ciclos	Início	Término
Primeiro	26 de julho de 2004	6 de novembro de 2004
Segundo	6 de dezembro de 2004	12 de março de 2005
Terceiro	15 de maio de 2005	29 de agosto de 2005
Quarto	3 de outubro de 2005	3 de janeiro de 2006
Quinto	1 de março de 2006	2 de junho de 2006

4.2 - VARIÁVEIS MONITORADAS

Foram monitorados ao longo do cultivo em cada fase: (1) as águas utilizadas nos 8 tratamentos; (2) as águas percoladas nas unidades; (3) o solo contido nas unidades; (4) as plantas cultivadas; (5) as condições climáticas; e (6) os volumes de água usada na irrigação. Além disso, as características do solo inicial foram examinadas.

As águas de irrigação foram coletadas manualmente, obtendo-se amostras simples. O solo utilizado nas unidades de cultivo foi analisado para granulometria, gradiente textural, complexo sortivo e curva de umidade, a partir de amostragem por quarteamento em ziguezague. Foram medidos em efluentes e percolados: temperatura, pH, condutividade, sólidos totais dissolvidos, cloretos, DQO, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato, fósforo total, ortofosfato, coliformes totais e termotolerantes.

A análise de elementos em efluentes e percolados foi realizada utilizando as técnicas de espectroscopia de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado como fonte (ICP-AES) e espectroscopia de emissão atômica em chama. Os elementos Al, Mg, Si, Pb, Zn, Mn, Co, Ti, P, Ba, V, Sr, Cd, Cu, Cr, La, Y, Mo, Zr, Ni, Fe foram determinados pelo ICP-AES e o Na e K utilizando o Fotômetro de Chama. Todas as amostras foram medidas em triplicata, tomando-se as médias com nível de confiança de 90%.

A amostragem dos percolados foi realizada deixando-se escorrer a água pela torneira da drenagem por 5 minutos e coletando o material de todas as repetições de cada tratamento, misturando-as e retirando uma alíquota (amostra composta).

Como não houve ocorrência de chuvas em Brasília durante todo o primeiro ciclo de cultura, não houve descarga de percolados e a necessidade de análises. Já no segundo ciclo, como houve chuva e percolados, estes foram coletados e examinados para os mesmos

parâmetros das águas de irrigação. Para o terceiro ciclo, devido ao período de seca em Brasília, foi necessário fazer a percolação forçada irrigando quantidades maiores de efluentes, visando condicionar essa lixiviação. No quarto ciclo para a primeira coleta de percolados foi necessário realizar percolação forçada, pois não houve precipitação suficiente para tal coleta, já para as outras amostragens houve grande incidência de precipitação, não tendo necessidade de realizar tal procedimento. A percolação forçada foi feita mantendo-se a irrigação até ocorrer a percolação. Dessa mesma forma se procedeu no quinto ciclo, devido ao alto índice pluviométrico.

Foram coletadas amostras de solo simples deformadas de cada uma das repetições de cada tratamento, após sorteio das unidades. Assim foi feito para evitar retirar grande quantidade de solo das unidades, uma vez que o mesmo solo serviu para os seis ciclos de cultura. As amostras de solo foram examinadas para: pH-água, pH-CaCl₂, RAS, CTC, Valor S, %Na, saturação de alumínio, carbono orgânico, matéria orgânica, e a mesma série de elementos que foi analisada para as águas de irrigação e percolados.

A amostragem das plantas foi feita de maneira aleatória, mas com o cuidado de só coletar folhas e plantas saudáveis. Foram examinadas as folhas e a raiz. Os parâmetros analisados incluíram: N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Zn, Na, e toda a série de elementos que foi analisada para as águas de irrigação e percolados. No 4º e 5º ciclos que não foi possível coletar amostra de plantas no final do ciclo, devido à ocorrência de doenças originadas pela alta umidade.

A produtividade da cultura foi acompanhada pela medida dos parâmetros de desenvolvimento das plantas: altura e diâmetro do caule, número de botões, número e diâmetro de flores e número de folhas. Essas medidas foram feitas quinzenalmente em 5 plantas de cada unidade, evitando as plantas da bordadura. O mesmo procedimento foi realizado em todos os ciclos de cultivo.

Durante todo o período dos ciclos, as quantidades de água irrigadas foram monitoradas, e foram obtidos dados climáticos importantes em estação meteorológica situada no local do experimento.

Durante as etapas da pesquisa, as amostras foram enviadas e examinadas pelos seguintes laboratórios: LS – Laboratório Soloquímica – laboratório certificado pela EMBRAPA; BA – Laboratório Bioanalítica; LAA – Laboratório de Análise de Águas – UnB; LQAA – Laboratório de Química Analítica e Ambiental – UnB; LG – Laboratório de Geoquímica – UnB; e LS-IAC – Laboratório de Solos do IAC - Instituto Agrônomo de Campinas. Além disso, os laboratórios da CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal, que realizam o controle das duas ETES (ETEB-Norte e ETE-Paranoá) e do sistema de abastecimento de água do local, possuem medidas diárias em amostras compostas. As Tabelas 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6 mostram os esquemas de amostragem efetivamente realizados durante os 5 ciclos de cultivo.

Tabela 4.2 – Esquema de amostragens no primeiro ciclo

Data	Código da amostragem (*)	Águas de irrigação	Águas percoladas	Solo inicial	Solo nas unidades	Plantas composição química	Plantas biometria
26/07/2004	I-1			X	X		
30/07/2004	I-2						X
16/08/2004	I-3	X					
24/08/2004	I-4						X
03/09/2004	I-5						X
13/09/2004	I-6	X					
04/10/2004	I-7	X					
13/10/2004	I-8						X
27/10/2004	I-9		X				
08/11/2004	I-10						X
10/11/2004	I-11	X			X	X	
Nº de amostras	-	4	1	1	2	1	5

(*) Cada amostragem corresponde a 8 amostras, uma para cada tratamento.

Tabela 4.3 – Esquema de amostragens no segundo ciclo

Data	Código da amostragem (*)	Águas de irrigação	Águas percoladas	Solo inicial	Solo nas unidades	Plantas composição química	Plantas - biometria
06/12/2004	II-1						X
06/01/2005	II-2						X
19/01/2005	II-3		X				
16/02/2005	II-4						X
17/02/2005	II-5		X				
11/03/2005	II-6				X	X	
16/03/2005	II-7						X
21/03/2005	II-8		X				
Nº de amostras	-	0	3	0	1	1	4

(*) Cada amostragem corresponde a 8 amostras, uma para cada tratamento.

Tabela 4.4 – Esquema de amostragens no terceiro ciclo

Data	Código da amostragem (*)	Águas de irrigação	Águas percoladas	Solo inicial	Solo nas unidades	Plantas composição química	Plantas - biometria
24/05/2005	III-1	X			X	X	
24/06/2005	III-2	X	X				
27/06/2005	III-3						X
11/07/2005	III-4				X		
25/07/2005	III-5						X
27/07/2005	III-6	X	X				
22/08/2005	III-7	X	X				X
31/08/2005	III-8					X	
02/09/2005	II-9				X		
Nº de amostras	-	4	3	0	3	2	3

(*) Cada amostragem corresponde a 8 amostras, uma para cada tratamento.

Tabela 4.5 – Esquema de amostragens no quarto ciclo

Data	Código da amostragem (*)	Águas de irrigação	Águas percoladas	Solo inicial	Solo nas unidades	Plantas composição química	Plantas - biometria
02/09/2005	IV-1				X		
06/10/2005	IV-2	X					
09/10/2005	IV-3					X	
08/11/2005	IV-4	X					X
11/11/2005	IV-5		X				
02/12/2005	IV-6						X
12/12/2005	IV-7		X				
10/01/2006	IV-8				X	X	
Nº de amostras	-	2	2	0	2	2	2

(*) Cada amostragem corresponde a 8 amostras, uma para cada tratamento.

Tabela 4.6 – Esquema de amostragens no quinto ciclo

Data	Código da amostragem (*)	Águas de irrigação	Águas percoladas	Solo inicial	Solo nas unidades	Plantas composição química	Plantas - biometria
24/03/2006	V-1				X	X	
04/04/2006	V-2						X
18/04/2006	V-3	X					
20/04/2006	V-4						X
04/05/2006	V-5				X		
08/05/2006	V-6		X				
16/05/2006	V-7						X
20/05/2006	V-8	X	X		X		
29/05/2006	V-9	X					
31/05/2006	V-10		X				
02/06/2006	V-11				X		
Nº de amostras	-	3	3	0	4	1	3

(*) Cada amostragem corresponde a 8 amostras, uma para cada tratamento.

4.3 - DADOS OBTIDOS EM ESCALA PILOTO

Como a pesquisa realizada em escala piloto teve cinco ciclos, a apresentação desses dados será realizada por ciclo. Os efluentes usados na pesquisa são objeto de monitoramento para controle operacional contínuo pela CAESB. Sendo assim, a sua caracterização pode ser feita de maneira mais segura por dados de longo prazo como os apresentados nas Tabelas 4.7 e 4.8. É pertinente salientar que nenhuma das duas ETEs se presta para generalizações, uma vez que os efluentes chamados de “secundário” e “terciário” apresentam concentrações menores de nitrogênio e fósforo, no caso da ETEB-Norte, e os efluentes da ETE Paranoá referem-se a um esgoto bruto altamente concentrado.

4.3.1 - Ciclo 1 (26/07/2004 – 06/11/2004)

4.3.1.1 - Águas de Irrigação

Nesta seção serão mostrados valores médios dos dados de água de irrigação. Os dados completos obtidos das análises das águas de irrigação no ciclo 1, podem ser visualizados no Apêndice 1A. Nos dados de águas de irrigação não se apresentam os valores do tratamento T1 (água + adubação NPK) e nem os do tratamento T4, que se trata da diluição do tratamento T3 com o tratamento T6.

Tabela 4.7 – Caracterização das águas residuárias ao longo do processo na ETEB Norte (valores médios no período de 2000-2004)

Parâmetro	Etapas do Processo							
	Bruto	Primário		“Secundário” (avançado)		“Terciário” (avançado)		Remoção Geral (%)
	mg/L	mg/L	% remoção	mg/L	% remoção	mg/L	% remoção	
DBO	331,61	239,09	28	21,01	91	4,44	79	99
DQO	549,68	449,47	18	47,76	89	32,01	33	94
SS	127,67	72,18	43	7,79	89	4,52	42	96
NTK	43,19	42,99	0	43,00	80	8,64	26	85
P Total	6,39	7,96	-25	1,32	83	0,14	89	98

Nakazato (2005), adaptado.

Tabela 4.8: Caracterização das águas residuárias ao longo do processo na ETE Paranoá (valores médios no período de 1998-1999)

Parâmetro	Etapas do Processo							
	Bruto	Efluente dos Reatores UASB (*)		Efluente das Lagoas de Alta		Efluente de Escoamento		Remoção Geral (%) (***)
		mg/L	mg/L	% remoção	mg/L	% remoção	mg/L	
DBO	1.015	218	78	120	50	172	-(30)	83
DQO	1812	744	59	744	0	562	25	69
SS	550	164	70	219	-(25)	170	22	69
NTK	96	81	16	78	4	56	28	42
P Total	15	11,6	23	7	39	11	-(36)	27

Luduvic *et al.* (2000)

(*) média dos três reatores UASB; (**) trabalhando com profundidade de 0,60m; (***) média anual em 1999; valores para OLF inferidos.

A Figura 4.5 mostra os dados de pH e Condutividade Elétrica dos diversos tratamentos. Os valores de pH se mantêm em torno de 7, sendo que o pH dos tratamentos T6 e T7 foram menores, em torno de 6,5. O maior pH foi do tratamento T1 igual a 7,8. Todos os valores se mantêm dentro do recomendado por Ayers e Westcot (1985), mostrado na Tabela 1 do Apêndice 6. Já com relação aos valores de Condutividade Elétrica, têm-se que os tratamentos T7 e T8 apresentam os valores mais altos, sendo de respectivamente 1161 e 835 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e, dessa forma, se enquadram como sendo de restrição fraca à moderada. Os demais tratamentos, pelos seus valores, não apresentam nenhuma restrição.

A Figura 4.6, mostra os dados de Coliformes Totais e Coliformes Termotolerantes nas águas de irrigação do 1º ciclo. Para os padrões seguidos no estado da Califórnia para coliformes totais, todos os tratamentos extrapolam a recomendação para irrigação em parques e jardins, conforme Tabela 4 do Apêndice 6, de 2 NMP/100mL como limite. Para os valores de coliformes termotolerantes, pela USEPA (Tabela 5 do Apêndice 6) também todos os tratamentos extrapolam a recomendação de “não detecção – ND”. Todavia, com relação aos valores recomendados pela OMS (Tabela 3 do Apêndice 6), somente o tratamento T2 fica abaixo do limite recomendado de 100 NMP/100mL. Os valores mais altos de Coliformes totais são dos tratamentos T3 e T7, e igualmente para os valores de Coliformes termotolerantes.

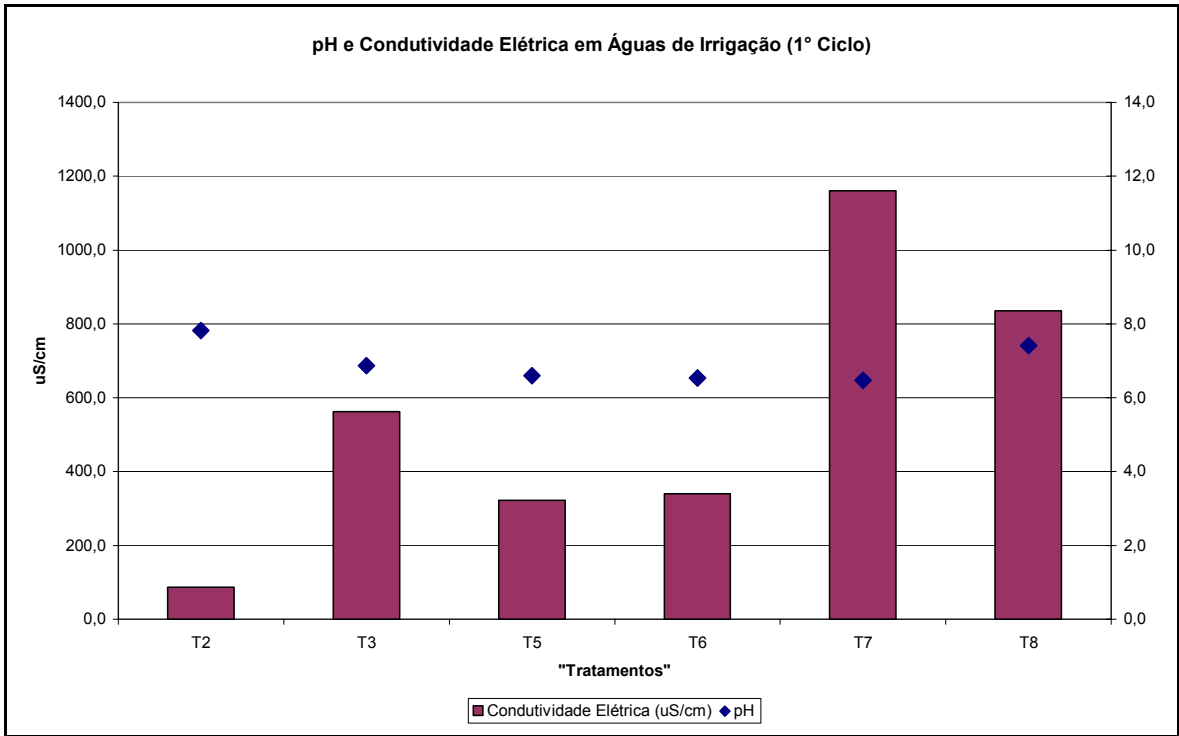


Figura 4.5 – pH e Condutividade Elétrica em Águas de Irrigação no 1º Ciclo.

A Figura 4.7, mostra os valores de DQO para as águas de irrigação do 1º ciclo. Têm-se que os tratamentos T8, T3 e T7 mostram-se mais expressivos, tendo como valores 355, 228 e 220 mg/L respectivamente.

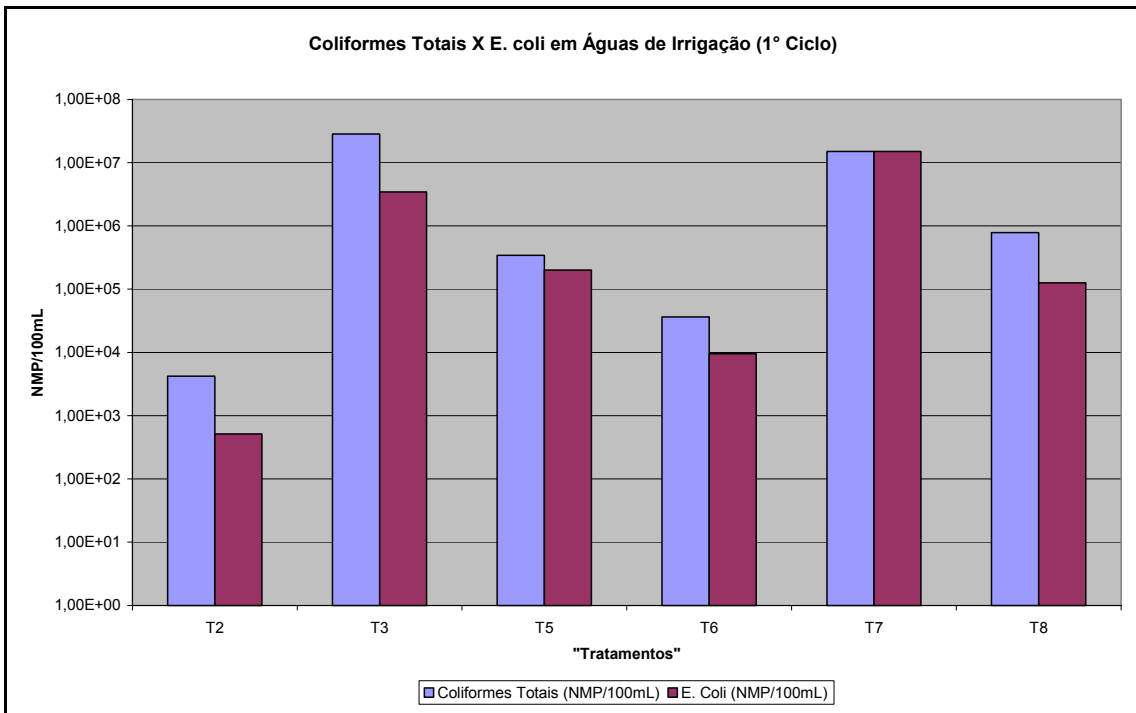


Figura 4.6 – Coliformes Totais e Termotolerantes em águas de irrigação do 1º ciclo.

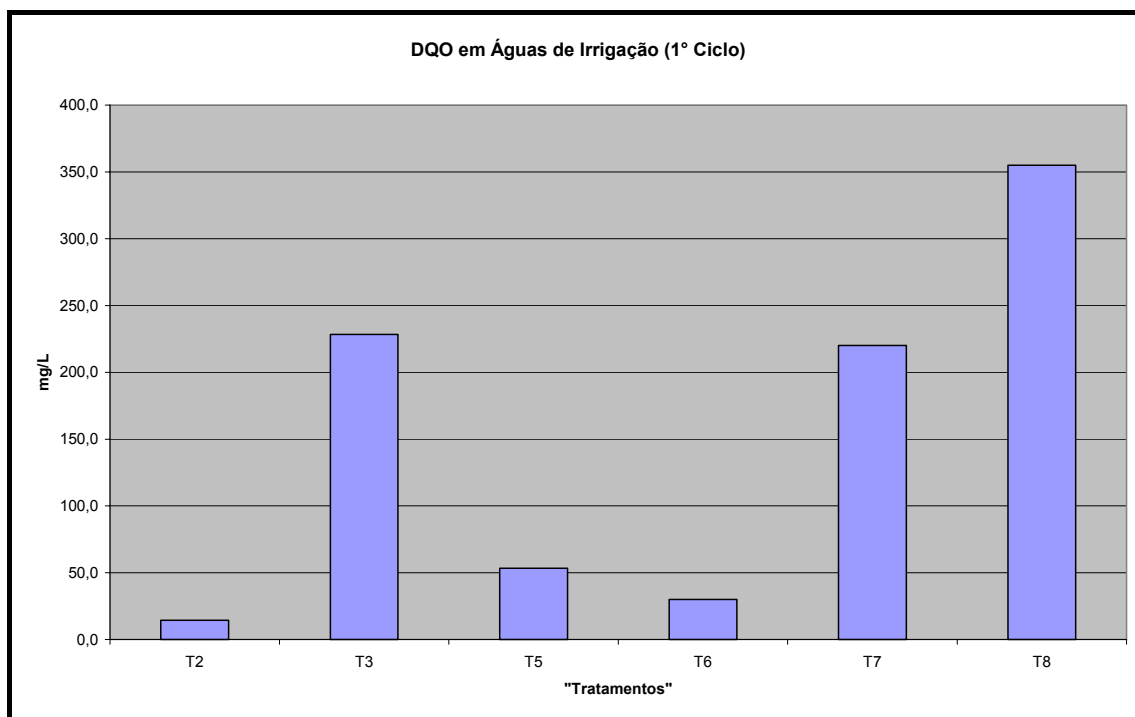


Figura 4.7 – DQO em águas de irrigação no 1º ciclo.

A Figura 4.8 mostra os valores de Fósforo Total e Ortofosfato em águas de irrigação do ciclo 1. Os tratamentos que apresentam maiores valores para fósforo total são T8, T7 e T3, sendo de 36, 34 e 28 mg/L respectivamente. Para ortofosfato, têm-se que os tratamentos T7 e T8 apresentam valores de 41 mg/L e o T3 de 34 mg/L. Segundo as recomendações de Ayers e Westcot só se encontram dentro faixa de qualidade da água usual para irrigação, os tratamentos T2, T5 e T6 para Fosfato que é entre 0 e 2 mg/L.

A Figura 4.9 exhibe os valores de amônia, nitrato e nitrito em águas de irrigação do 1º ciclo. Têm-se que, segundo recomendações de Ayers e Westcot (1985), os tratamentos T3, T7 e T8 extrapolam a faixa usual de 0-5 mg/L para amônia, entretanto nenhum tratamento extrapola a faixa usual de 0-10 mg/L com relação ao nitrato.

A Figura 4.10 expõe os valores de cloretos, sódio e potássio em águas de irrigação no 1º ciclo. Para cloretos, com relação as recomendações pela Tabela 1 do Apêndice 6, nenhum tratamento ultrapassa a faixa usual de 0-30 mE/L ($\text{mE/L de Cl}^- = \text{mg/L} * 0,02821$) e todos se enquadram como sem restrição, estando abaixo de 3 mE/L. Para o sódio, também nenhum tratamento ultrapassa a faixa usual de 0-40 mE/L ($\text{mE/L de Na}^+ = \text{mg/L} * 0,04350$). Para o potássio, apenas o tratamento T2 não ultrapassa o limite recomendado de 0-2 mg/L.

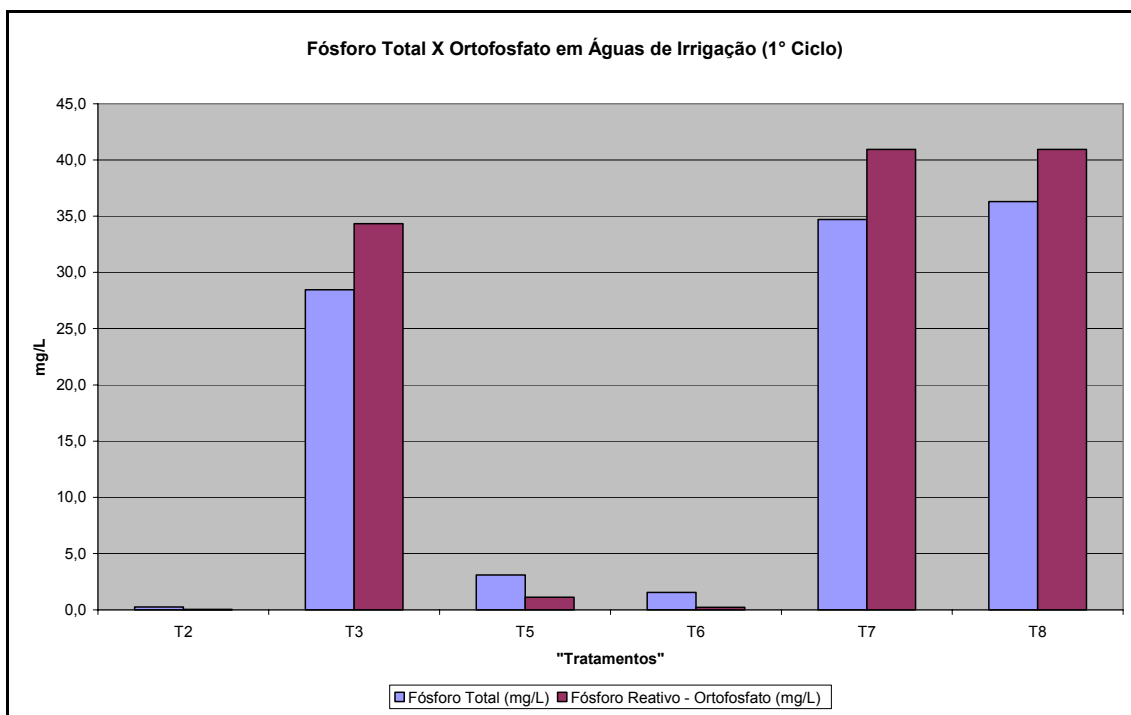


Figura 4.8 – Fósforo Total e Ortofosfato em águas de irrigação no 1º ciclo.

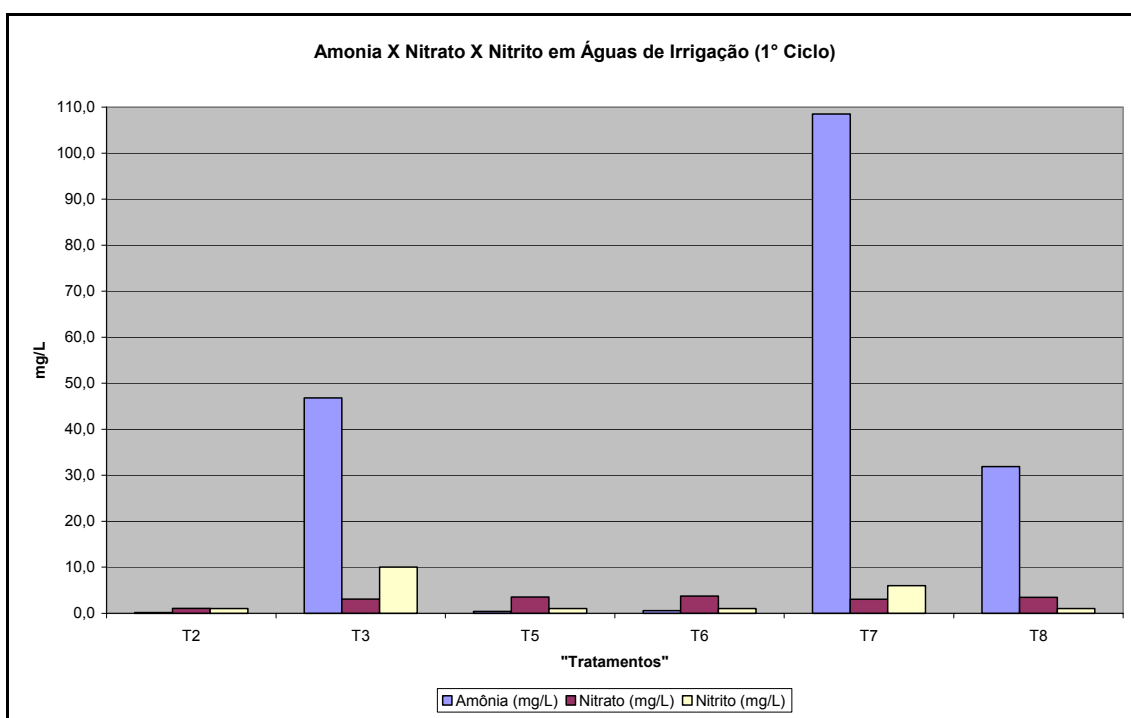


Figura 4.9 – Amônia, Nitrato e Nitrito em águas de irrigação no 1º ciclo.

A Figura 4.11 mostra os valores de Cálcio, Magnésio, sódio e RAS. Os valores de Cálcio e Magnésio se encontram dentro da faixa usual recomendada. Todavia os valores de Sódio dos tratamentos T7 e T8 os enquadram como sendo de restrição fraca à moderada. Além

disso os valores de RAS calculados indicam um grau de restrição severo para T2; e ao T3, T5, T6, T7, T8 fraca à moderada, conforme Tabela 1 do Apêndice 6.

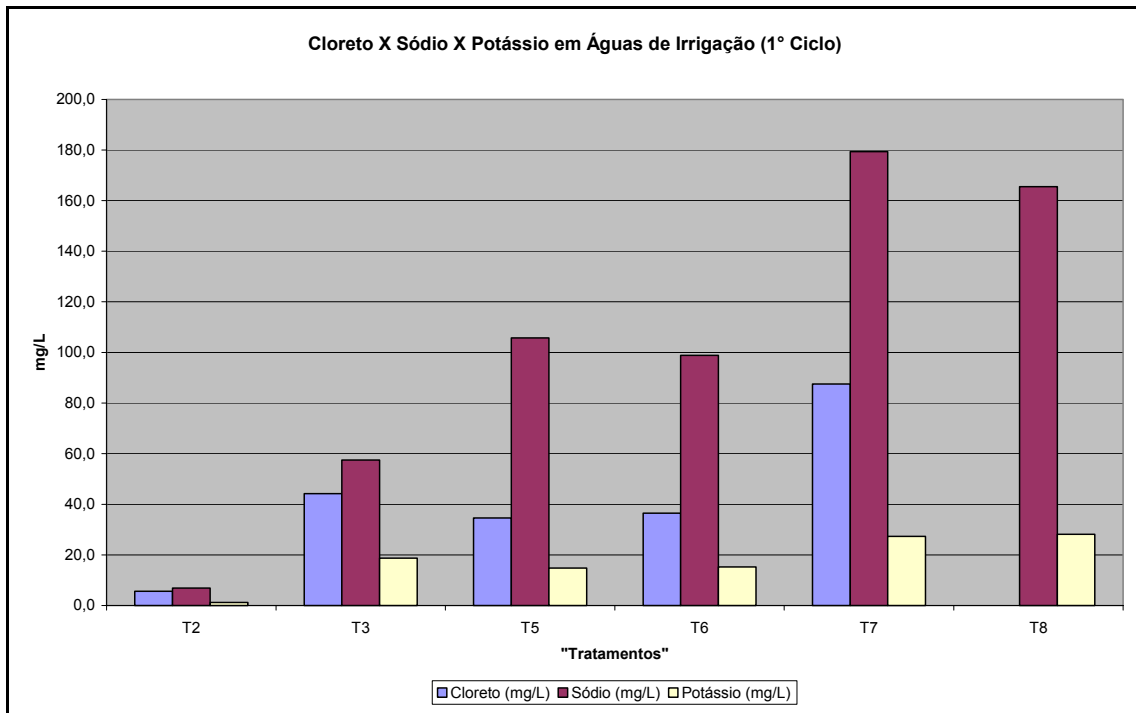


Figura 4.10 – Cloreto, sódio e potássio em águas de irrigação no 1º ciclo.

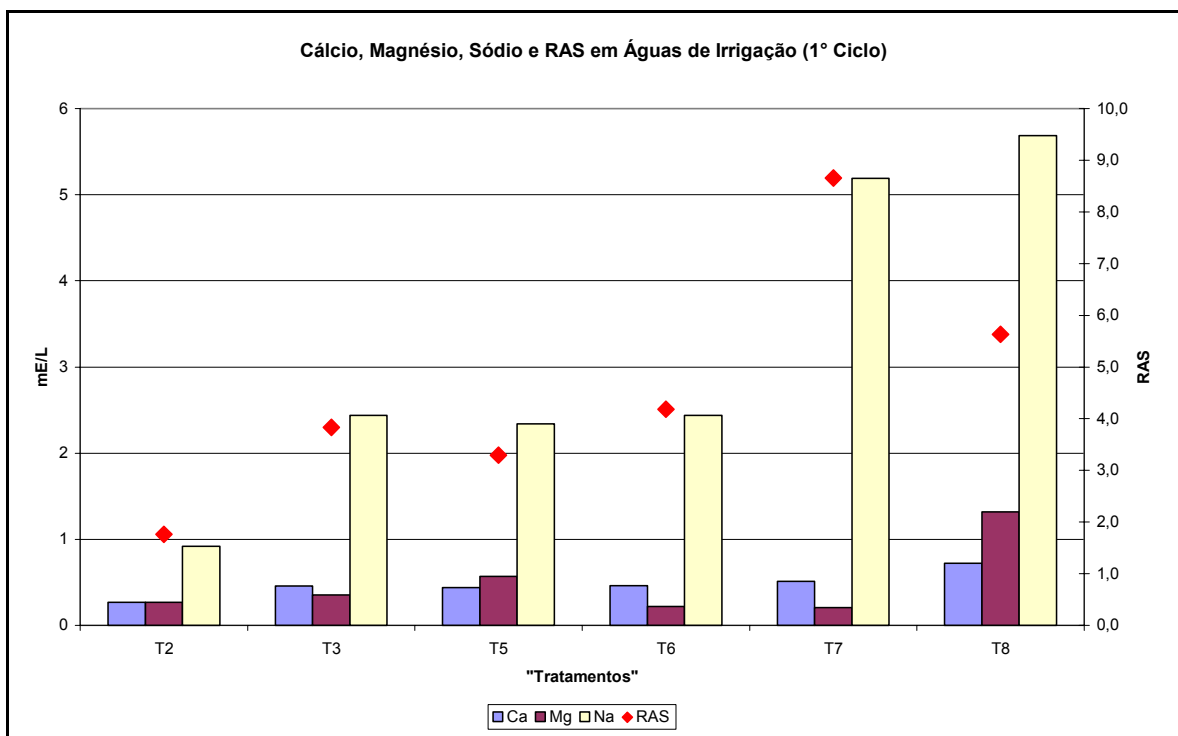


Figura 4.11 – Cálcio, Magnésio, Sódio e RAS em águas de irrigação do 1º ciclo.

A Figura 4.12 apresenta os valores de ferro, alumínio, zinco, chumbo e potássio. Já a Figura 4.13 exibe os valores de estrôncio, titânio, níquel, cobre, cromo, manganês, bário, cobalto e cádmio em águas de irrigação do 1º ciclo.

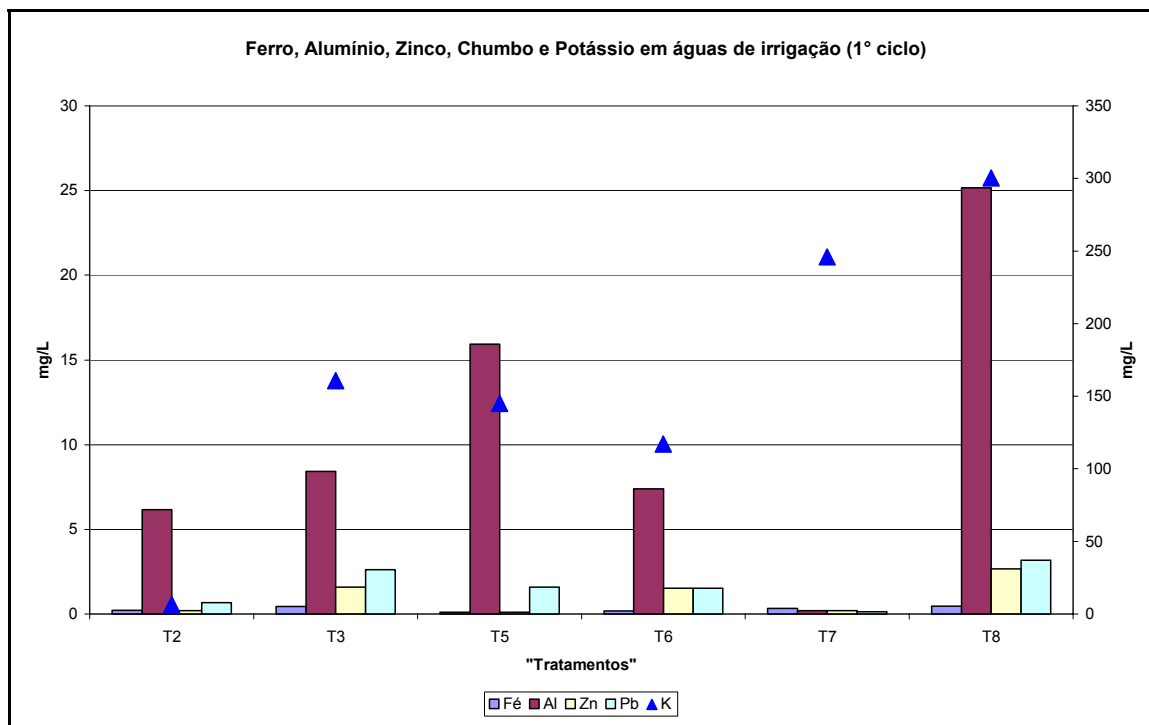


Figura 4.12 – Ferro, alumínio, zinco, chumbo e potássio em águas de irrigação.

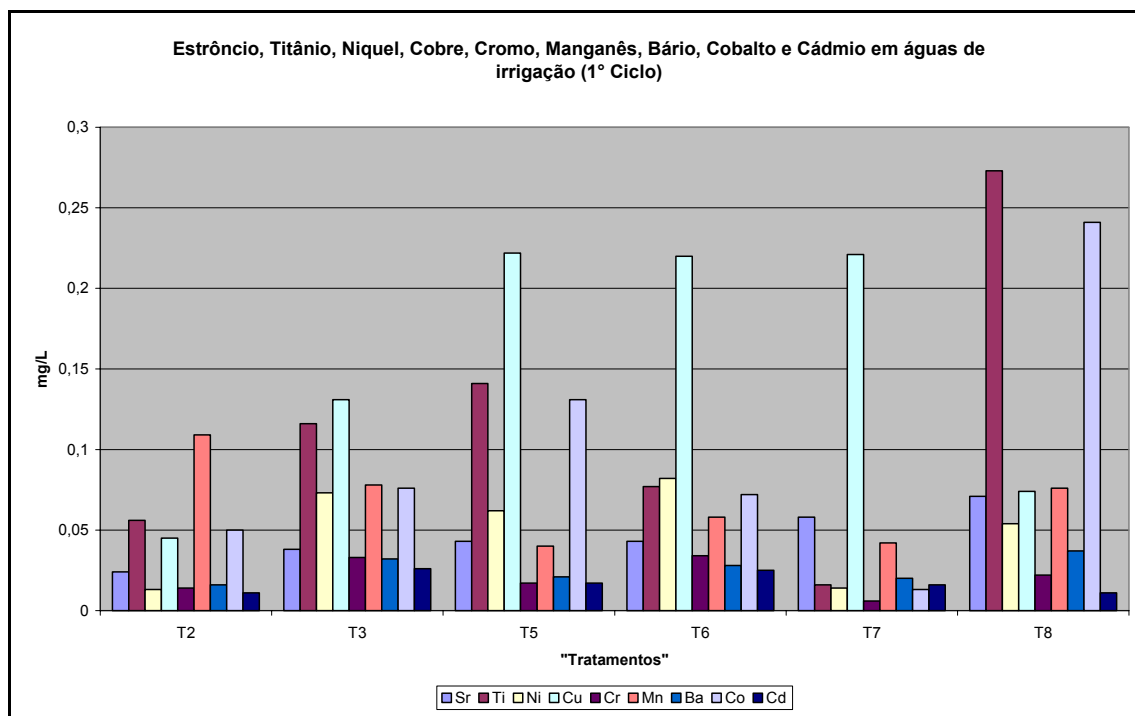


Figura 4.13 – Estrôncio, titânio, níquel cobre, cromo, manganês, bário, cobalto e cádmio em águas de irrigação do 1º ciclo.

Com relação aos valores de ferro, cromo e manganês, todos os tratamentos encontram-se abaixo dos limites recomendados (Figura 4.12). Para o alumínio e cobalto, somente o T7 se encontra abaixo do limite recomendado. Para o zinco, o T8 está acima dos limites e para o cádmio todos estão acima dos limites recomendados. O potássio extrapola a faixa usual em todos os tratamentos.

4.3.1.2 - Águas Percoladas

Nesta seção serão mostrados valores médios dos dados de águas percoladas. Os dados completos obtidos das análises das águas percoladas no ciclo 1, podem ser visualizados no Apêndice 1B.

Foi realizada apenas uma coleta de águas percoladas no primeiro ciclo, devido ao fato deste ser realizado em período de seca em Brasília. Portanto, apesar de estar sendo feita a irrigação, obtinha-se pouco ou nenhum percolado. Isso possivelmente foi devido ao alto nível de evapotranspiração aliado à ausência de precipitações e umidade relativa baixa.

As Figuras 4.14, 4.15, 4.16, 4.17 e 4.18 mostram respectivamente os valores de pH e condutividade; coliformes totais e *E. coli*; DQO; fósforo total e ortofosfato e amônia, nitrato e nitrito em águas percoladas no 1º ciclo.

Os valores de pH se mantiveram absolutamente neutros. Já com valores de condutividade elétrica, percebem-se maiores valores nos tratamentos T2 e T1, seguidos dos T5, T6, T7 e T8, com valores bem próximos.

Com relação a valores de coliformes totais, estes mostraram-se presentes apenas em T2, T5 e T6. Para *E. coli* não se observou sua presença em nenhum tratamento.

Para os valores de DQO, observaram-se valores diferentes de zero nos tratamentos T2, T3, T5 e T8. O tratamento T3 apresentou maior valor, em torno de 25 mg/L.

Os valores de fósforo total dos tratamentos T7, T2 e T6 sucessivamente são os maiores encontrados na águas de percolação do 1º ciclo. Correspondem a 0,38; 0,33 e 0,33 mg/L respectivamente. Os valores de ortofosfato se mostram abaixo de 0,1 mg/L.

Os tratamentos T7 e T8 apresentam maiores representando maior possibilidade de contaminação das águas subterrâneas. Quando se considera que a águas percoladas dos tanques são as que percolação até as águas subterrâneas, em um caso de fertirrigação em escala real, pode-se fazer uma comparação com valores orientadores da CETESB para águas subterrâneas do estado de São Paulo, mostrado na Tabela 6 do Apêndice 6. Sabe-se que, dependendo do nível do lençol freático, a concentração de determinadas substâncias pode ser atenuadas até o alcançarem, pois o solo atua freqüentemente como um “filtro” tendo a capacidade de depuração e imobilizando grande parte das impurezas nele depositadas.

No entanto, essa capacidade é limitada, e, conseqüentemente, considera-se pertinente a comparação com estes valores orientadores para águas subterrâneas. No caso do nitrato, essa recomendação estabelece valores máximos de nitrato em 10 mg/L. Destarte, maiores valores de nitrato nas águas percoladas dos tanques induzem que este chegará com maiores concentrações nas águas subterrâneas. O tratamento T7 apresenta valores de 14,6 mg/L e o tratamento T8 de 12,5 mg/L. Assim sendo, são maiores que o recomendado pelos valores orientadores de águas subterrâneas da CETESB para o estado de São Paulo.

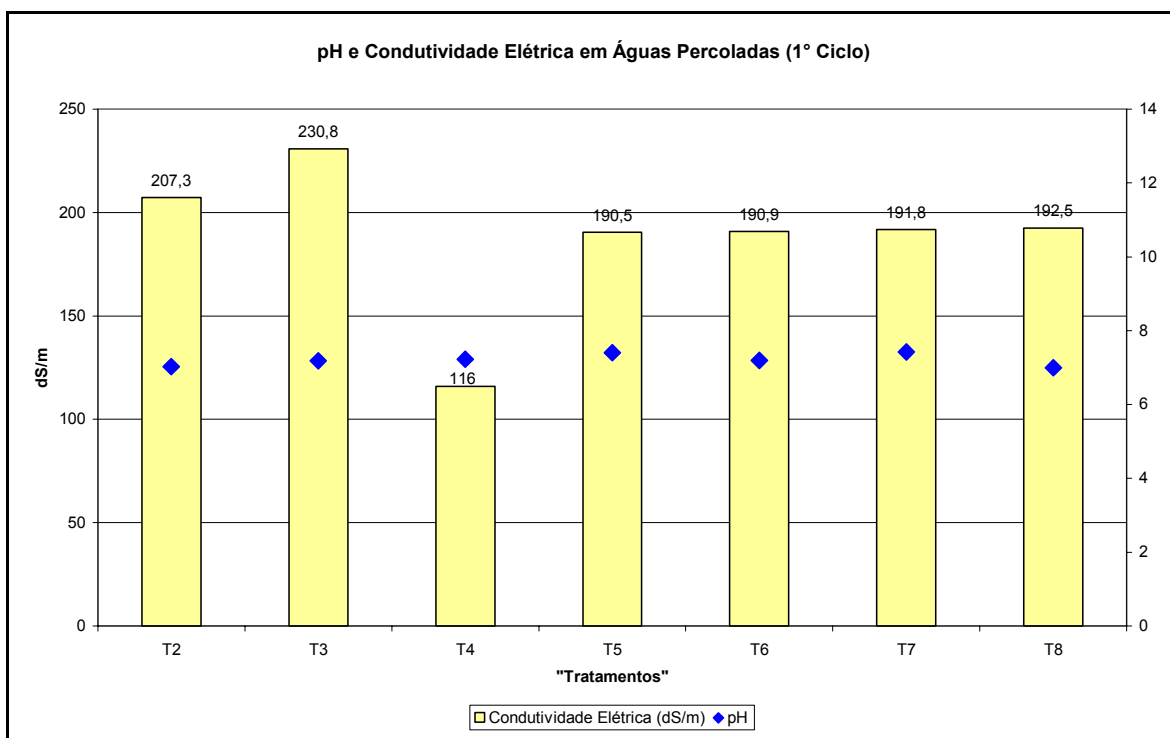


Figura 4.14 – pH e Condutividade Elétrica em águas percoladas no 1º ciclo.

Quando se faz uma comparação com os valores de água de irrigação do 1º ciclo, considerando os tanques como sistema de tratamento de águas residuárias por disposição no solo, notam-se eficiências de 100% para todos os tratamentos para o parâmetro *E. coli*.

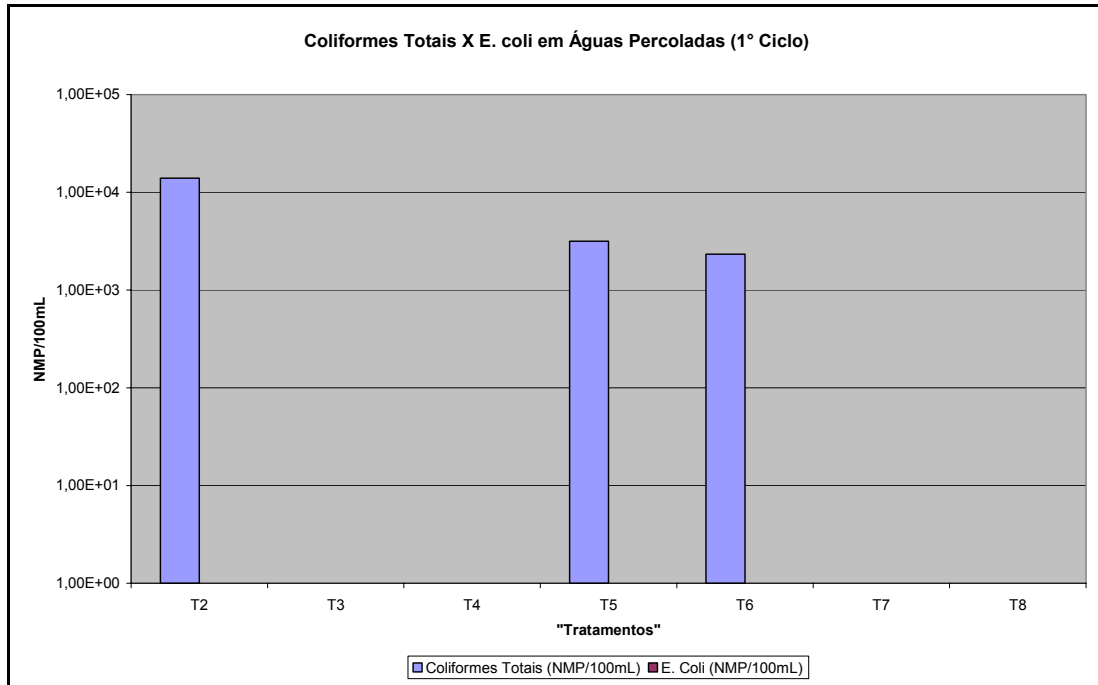


Figura 4.15 – Coliformes Totais e *E. Coli* em águas percoladas no 1º ciclo.

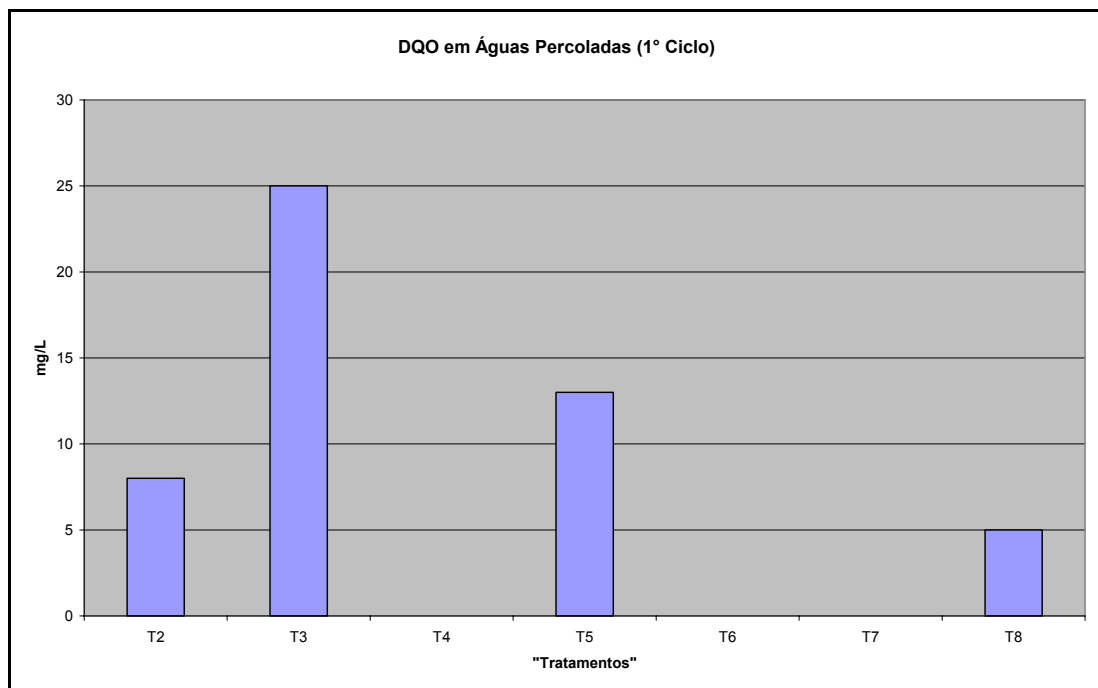


Figura 4.16 – DQO em águas percoladas no 1º ciclo.

Altas eficiências também se mostram com relação a Coliformes totais, DQO, fósforo total e amônia. Com relação ao nitrato, seus valores foram majorados na águas percoladas devido possivelmente a nitrificação, pois os valores de amônia foram bastante abrandados.

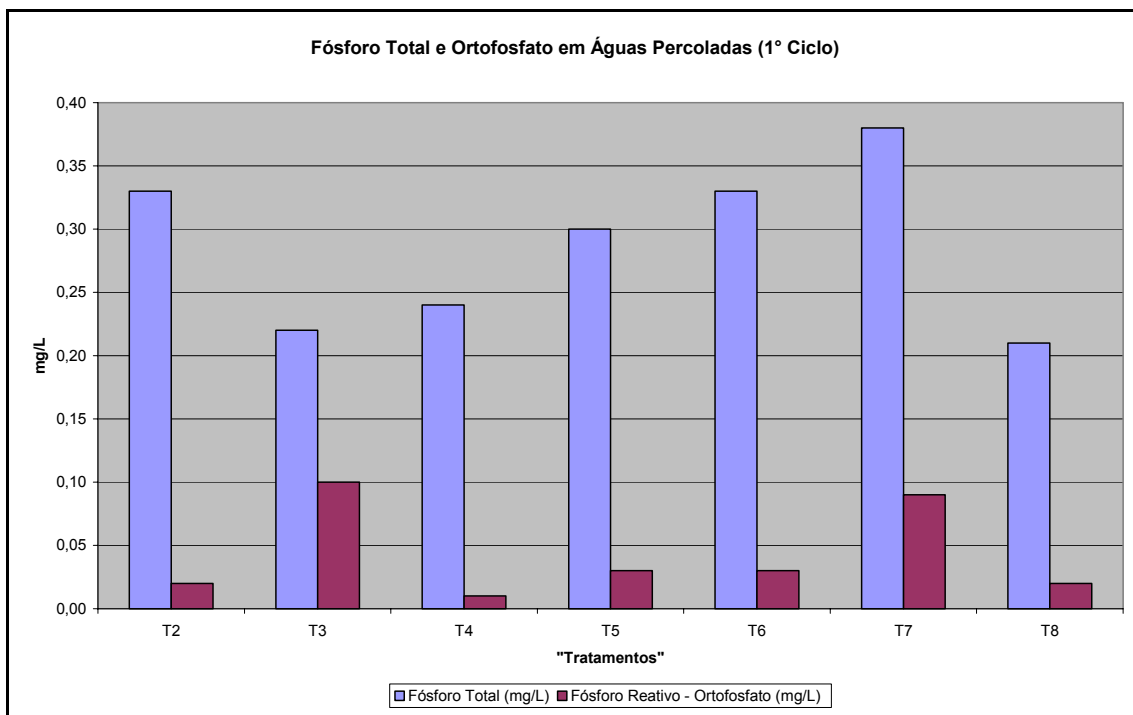


Figura 4.17 – Fósforo total e ortofosfato em águas percoladas no 1º ciclo.

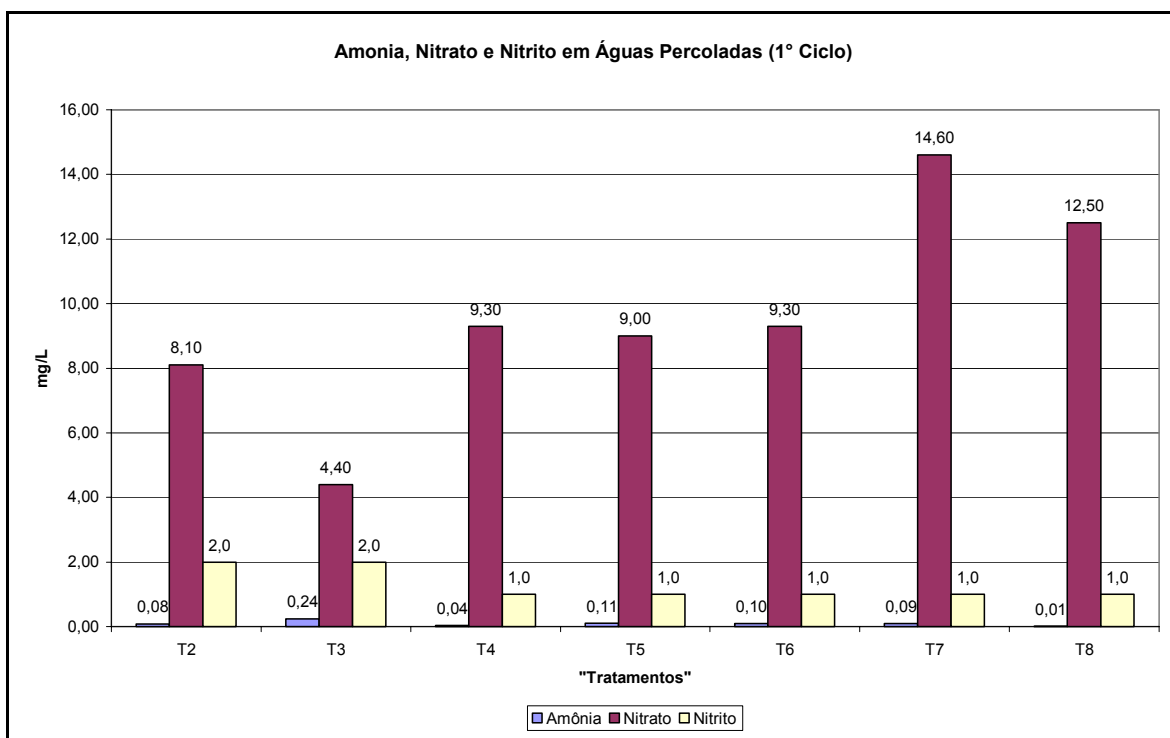


Figura 4.18 – Amônia, nitrato e nitrito em águas percoladas no 1º ciclo.

4.3.1.3 - Solos

Nesta seção serão mostrados valores médios dos dados de análises de solos. Os dados completos das análises de solos no ciclo 1, podem ser visualizados no Apêndice 1C. Tratam na realidade das características originais dos solos, ou seja, o solo inicial que foi igualmente usado em todos os tratamentos e após as características encontradas no final do ciclo.

A Figura 4.19 mostra a relação para o solo inicial entre a umidade e a tensão superficial. As Figuras 4.20, 4.21, 4.22, 4,23 e 4,24 mostram os conjuntos de resultados de granulometria, gradiente textural e complexo sortivo obtido para o solo utilizado no enchimento das unidades experimentais. Trata-se de um latossolo vermelho escuro, com pH baixo, acidez de alta para média e baixa saturação de bases.

A granulometria inicial do solo mostra um solo composto por cerca de 70% de argila, 11% de areia fina, 21% de silte e 1% de areia grossa. A densidade aparente do solo se mostra em torno de 0,89%, que é menor que sua densidade real que é 1,5% . A porosidade total do solo fica em torno de 41%.

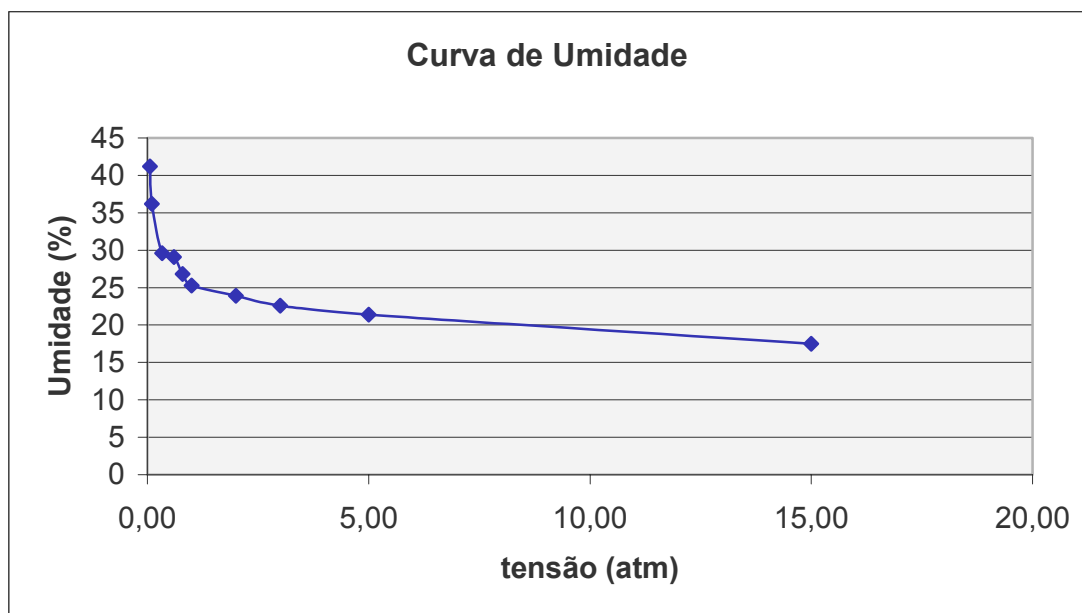


Figura 4.19 – Gráfico da Tensão x Umidade – amostra de solo utilizado na construção das unidades de cultivo (Laboratório LS)

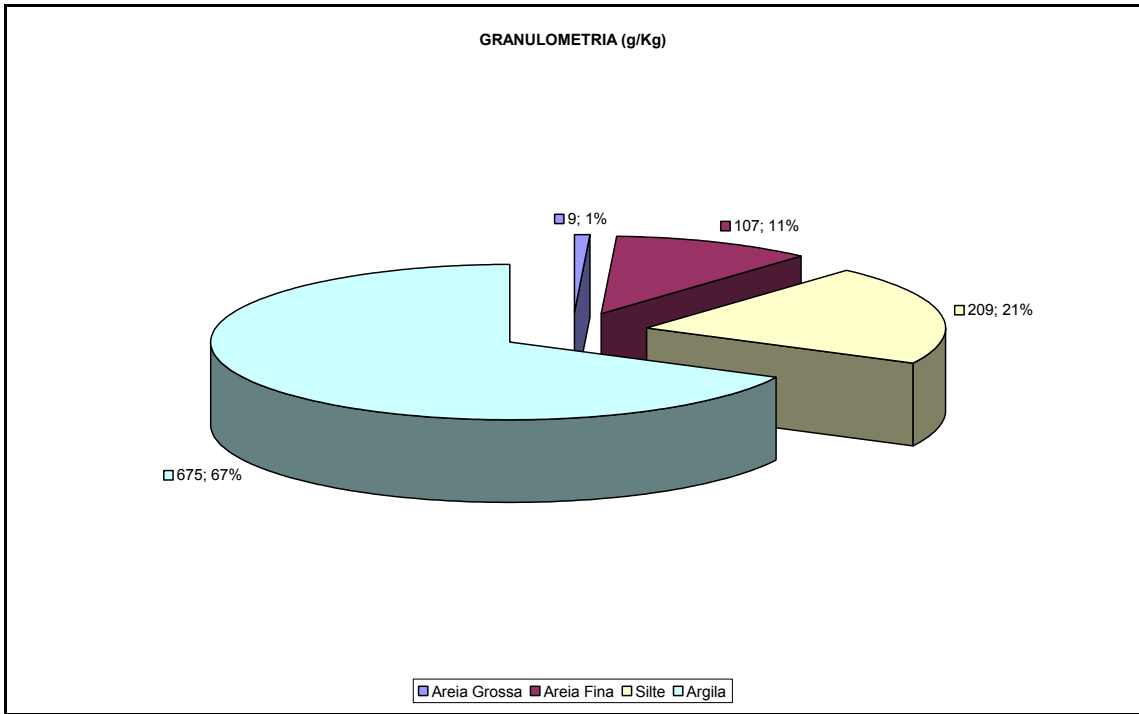


Figura 4.20 – Granulometria Inicial dos solos usados nas unidades de cultivo

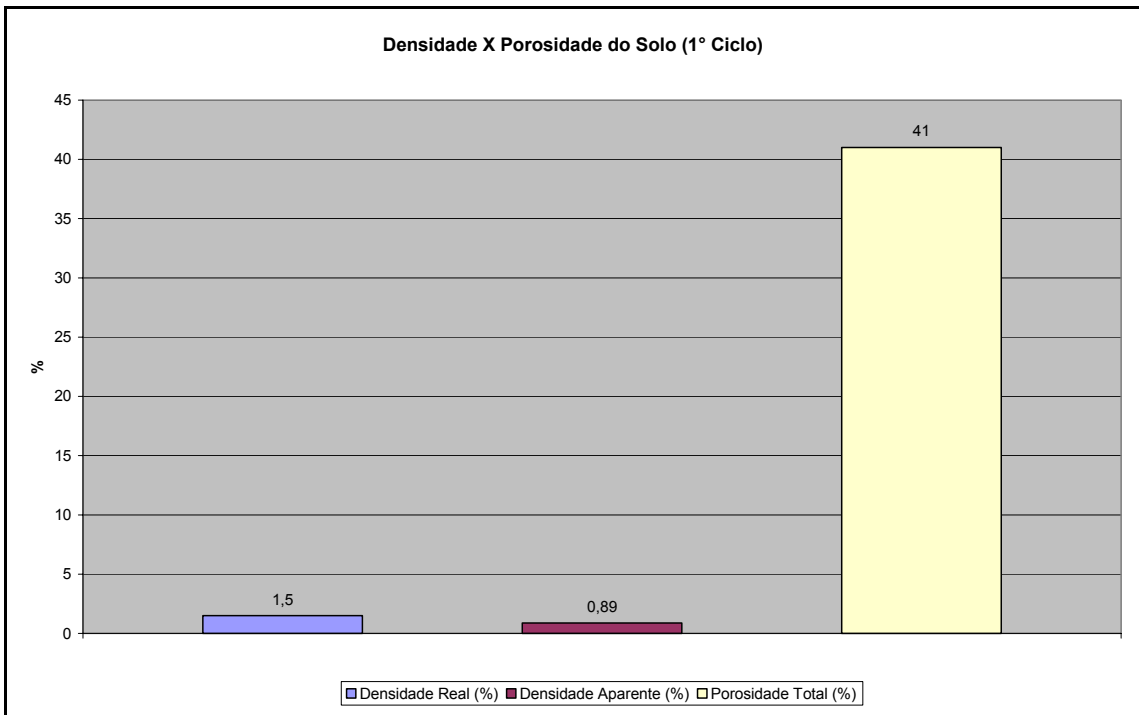


Figura 4.21 – Densidade e porosidade Inicial dos solos usados nas unidades de cultivo

Quando se considera os valores de sódio, cálcio e magnésio, pode-se encontrar o valor da RAS (que é de fundamental importância para a permeabilidade do solo) em 0,04. A soma dos valores dos elementos cálcio, magnésio, potássio e sódio indicam o Valor S (soma de bases) em 0,66. A acidez total se mostra em 3,4 mE/100mL e a capacidade do solo em

reter elementos vitais aos seres vivos, conhecida como CTC (capacidade de troca catiônica) se mostra em 4,06 mE/100mL.

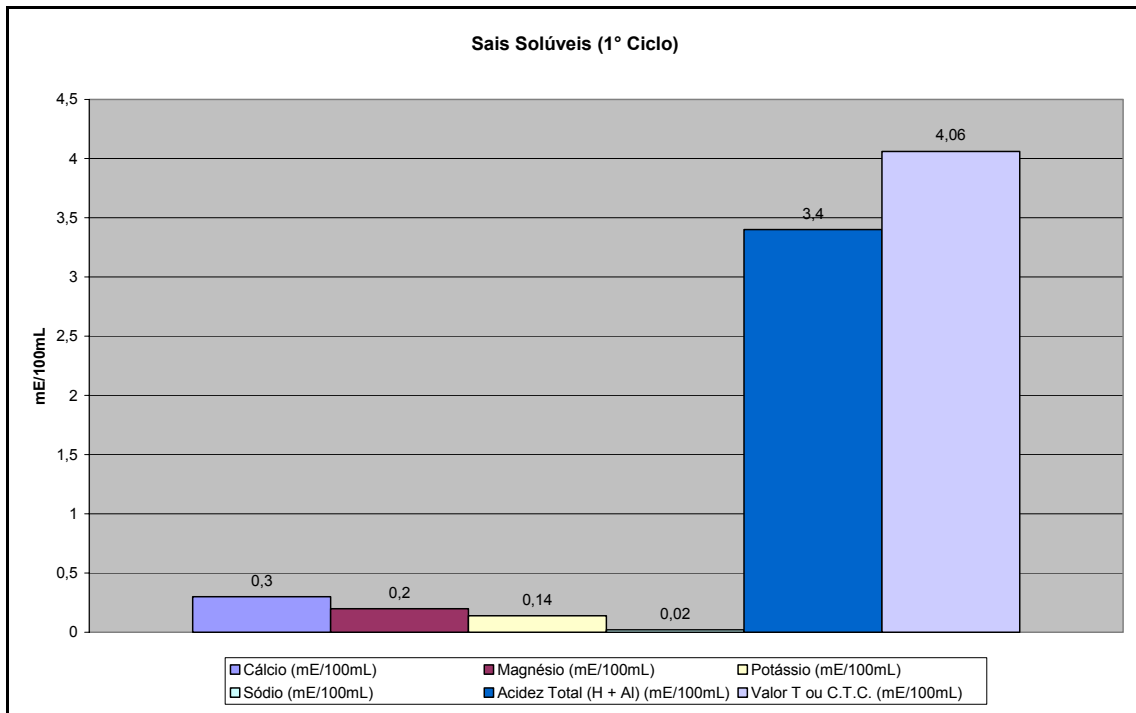


Figura 4.22 – Sais solúveis dos solos usados nas unidades de cultivo

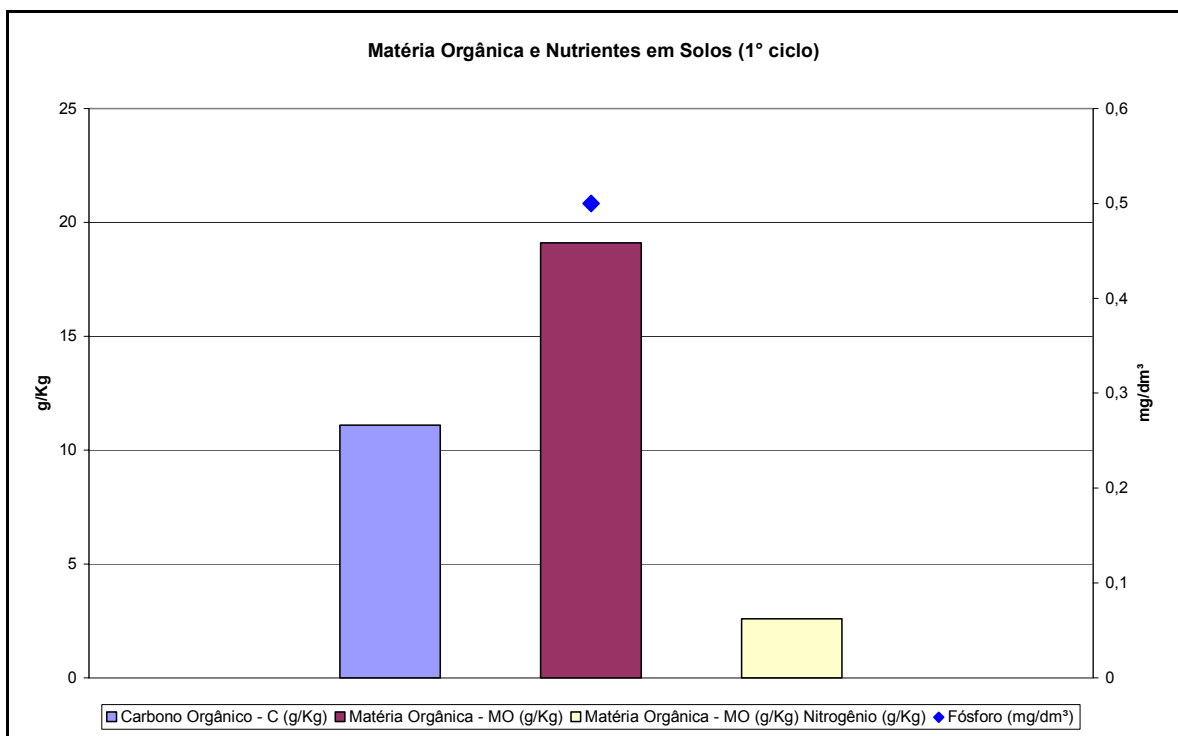


Figura 4.23 – Matéria Orgânica e Nutrientes em solos usados nas unidades de cultivo

Os valores de carbono orgânico e matéria orgânica se mostram em torno de 10 e 18 g/Kg (Figura 4.23). O nitrogênio ficou em 2,6 g/Kg e fósforo em 0,6 mg/dm³. Com relação às saturações, a saturação de alumínio ficou em 0% e a saturação de bases em 16%. A relação C/N ficou em 4.

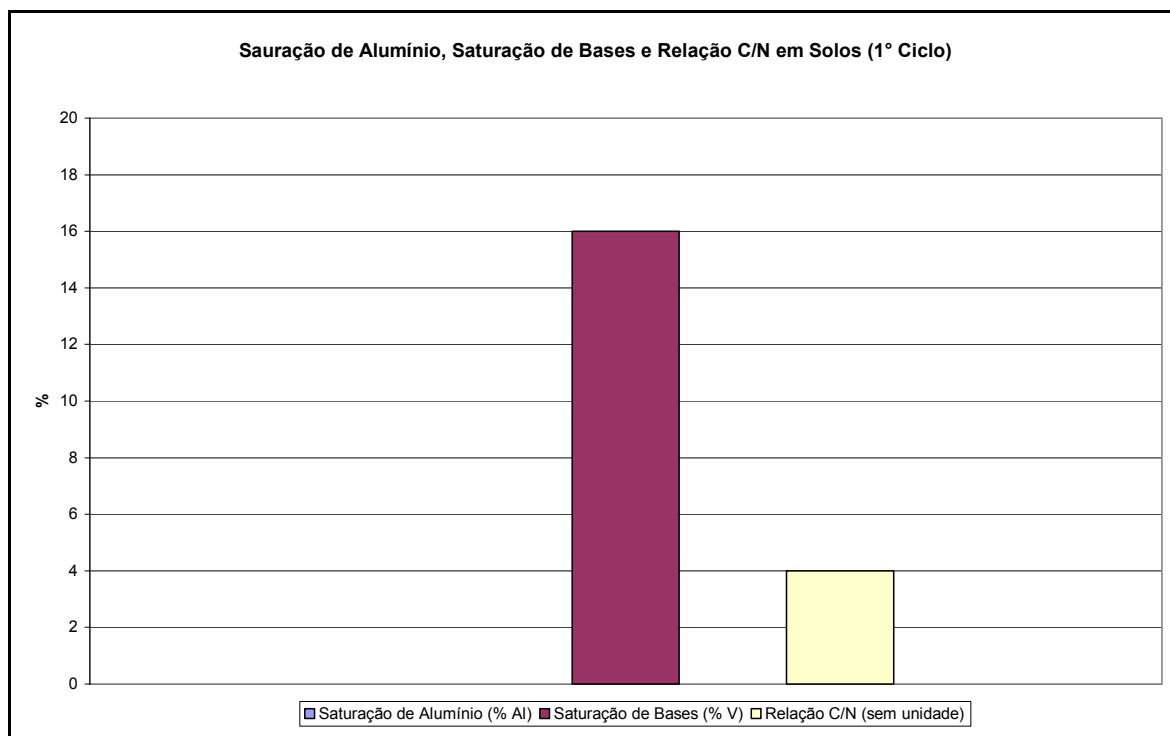


Figura 4.24 – Saturação de alumínio, saturação de bases e relação C/N em solos usados nas unidades de cultivo

É importante ressaltar que os métodos empregados no estudo das propriedades químicas do solo se confundem com os métodos empregados para estudos da fertilidade do solo. Assim sendo, concomitantemente a estas análises, alíquotas de mesmas amostras de solo foram enviadas a dois laboratórios. Sendo assim, as Figuras 4.25, 4.26 e 4.27 trazem os resultados obtidos no Laboratório LQAA com as mesmas amostras de solo das Figuras 4.28, 4.29 e 4.30 que foram feitas no Laboratório LS, enfocando outros parâmetros. Foram feitas análises no início e no final do ciclo.

Para dados do laboratório LQAA, percebe-se que os valores de cálcio, magnésio e fósforo, em g/Kg, mostrados na Figura 4.25, decaem muito com relação ao início da irrigação do 1º ciclo e o final do mesmo. O pH (Figura 4.26), aumentou 4,5 para 6 do início para o final do ciclo para todos tratamentos. O teor de matéria orgânica, entretanto, decaiu nos tratamentos T2 e T7, aumentou em T1 e T3 e nos outros tratamentos, os valores

se mostraram praticamente iguais. Os valores de ferro, cobre, alumínio, manganês e zinco praticamente desaparecem comparando-se o início e fim do ciclo (Figura 4.27).

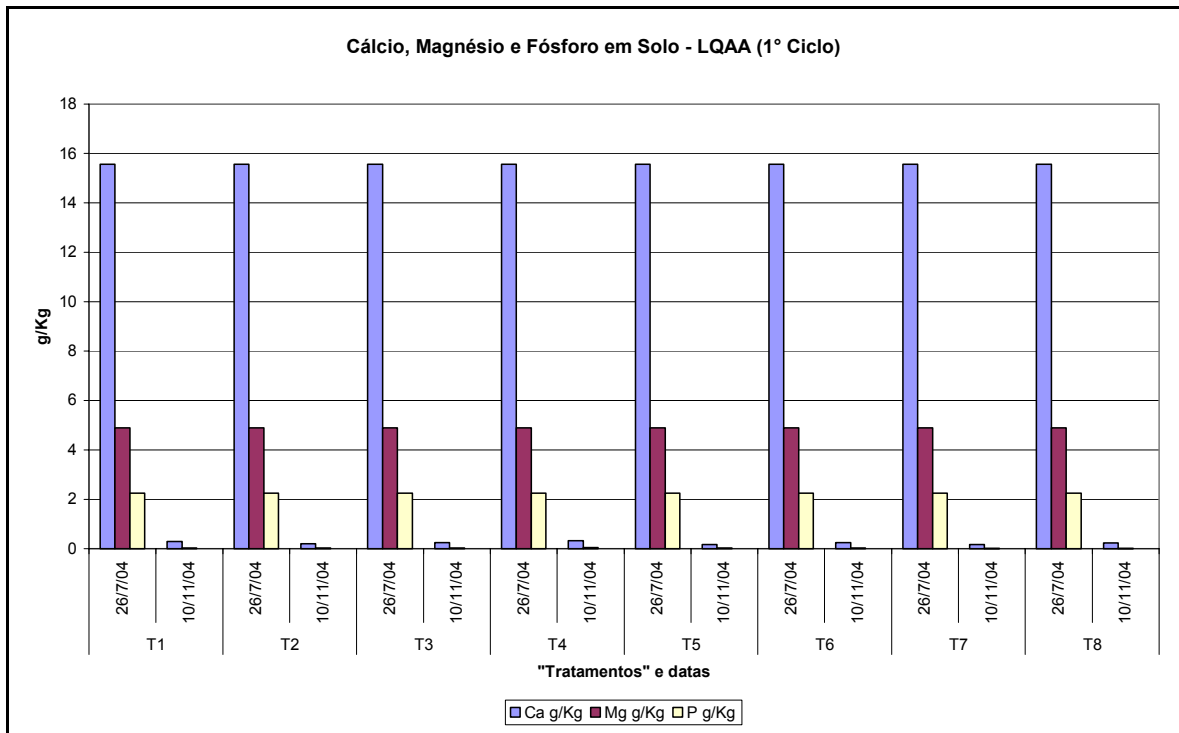


Figura 4.25 – Cálculo, Magnésio e Fósforo em solos usados nas unidades de cultivo

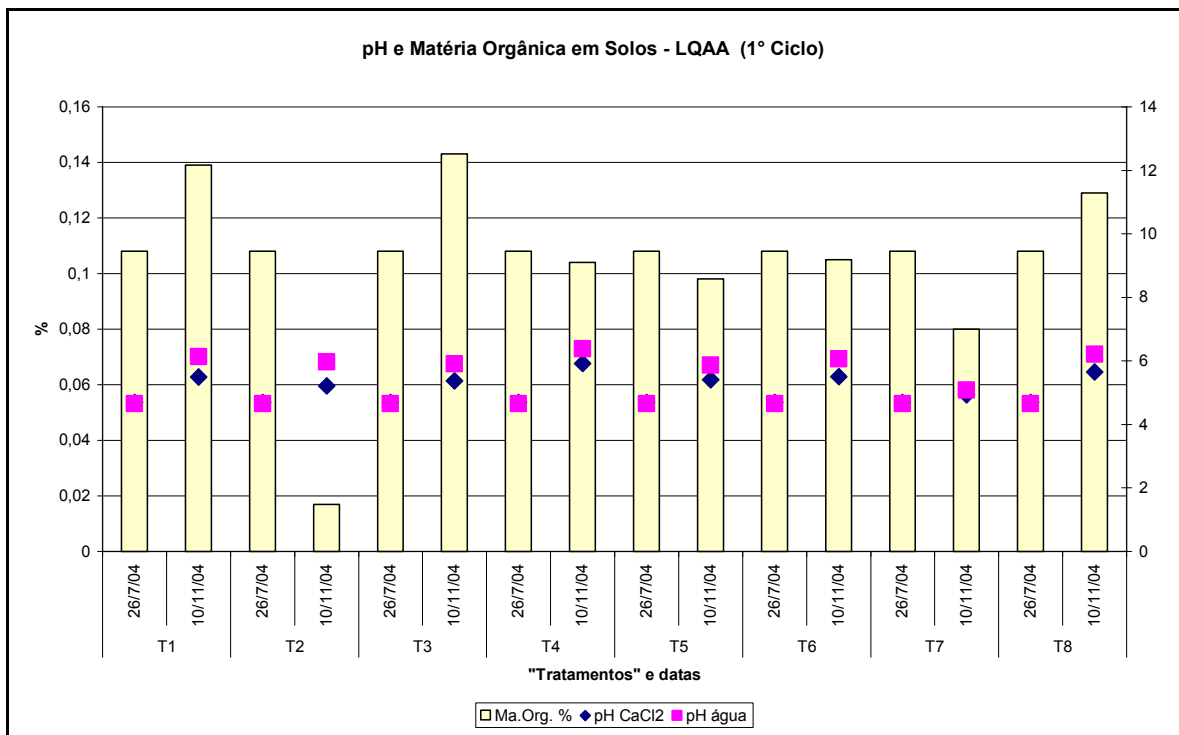


Figura 4.26 – pH e matéria orgânica em solos usados nas unidades de cultivo nos diversos tratamentos

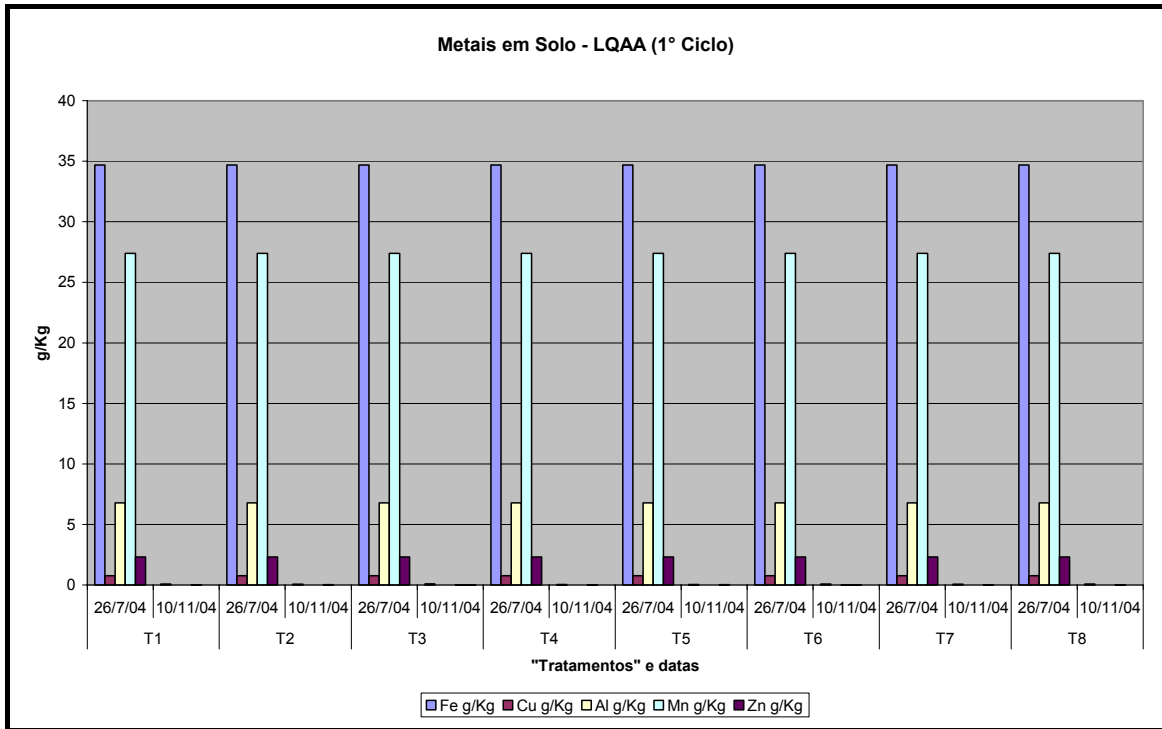


Figura 4.27 – Ferro, cobre, alumínio, manganês e zinco em solos usados nas unidades de cultivo nos diversos tratamentos

Pelas análises do laboratório LS (Figura 4.28), os valores de sódio e de magnésio apenas no tratamento T5 foram menores no final do que no início do ciclo.

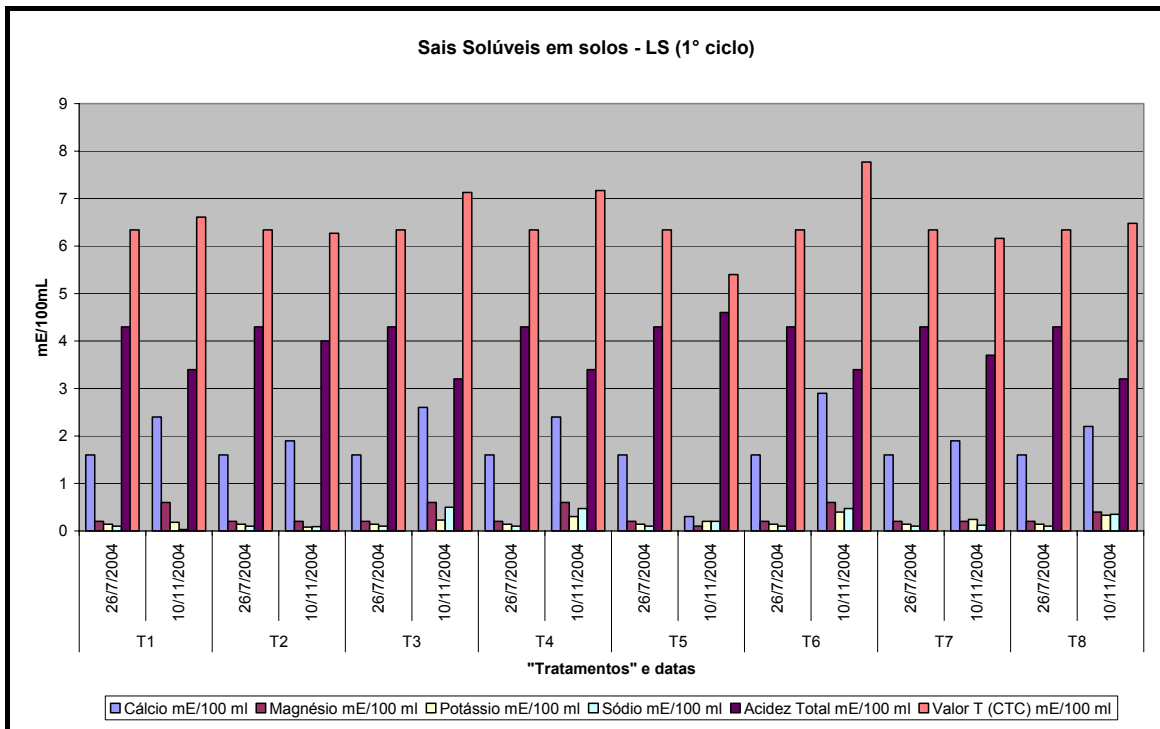


Figura 4.28 – Sais Solúveis em solos usados nas unidades de cultivo nos diversos tratamentos

Para este mesmo aspecto, apenas em T2 o valor de potássio foi menor no final que no início do ciclo. Ao contrário, o valor de acidez total apenas no tratamento T5 foi maior no fim que no início do ciclo e os valores de CTC apenas diminuíram no final de T5 e T7.

Na Figura 4.29, são mostrados os valores de matéria orgânica, carbono orgânico e fósforo em solos no 1º ciclo. Percebe-se um decaimento dos teores de matéria e carbono orgânico em todos os tratamentos. Já o elemento fósforo, se mostrou maior no final do ciclo em todos os tratamentos. Os maiores acréscimos foram em T6, T7, T1 e T5.

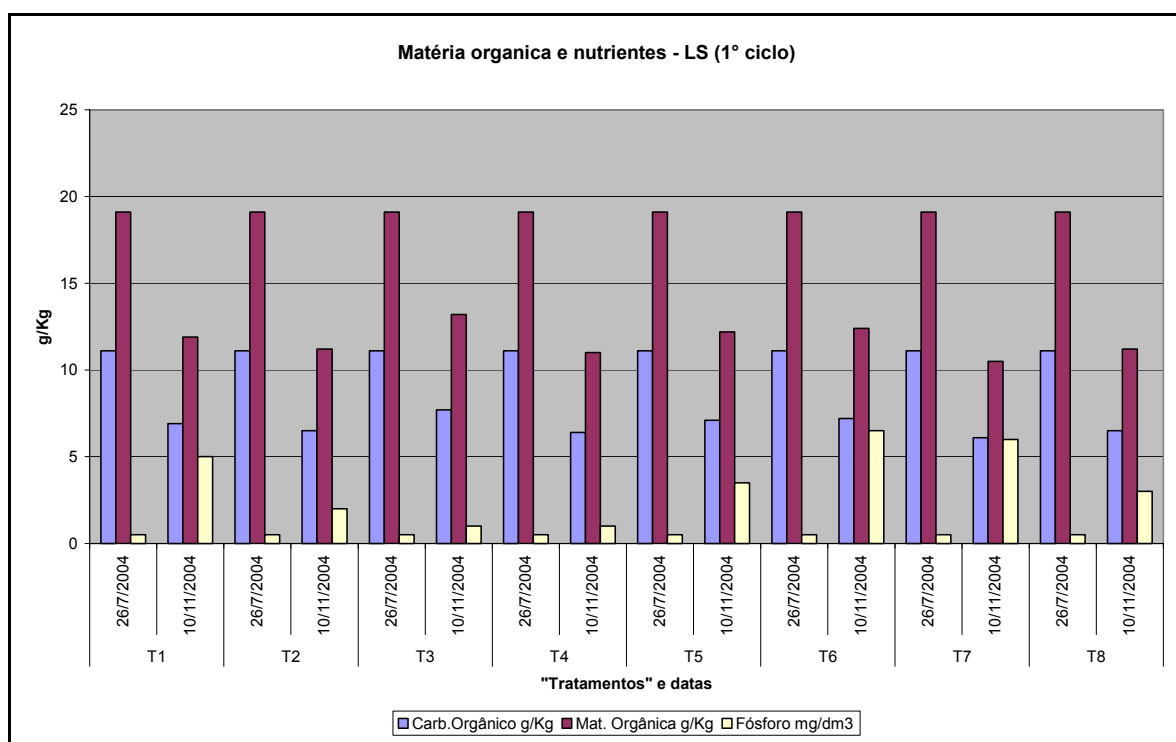


Figura 4.29 – Matéria Orgânica e fósforo em solos usados nas unidades de cultivo nos diversos tratamentos

Já a Figura 4.30 mostra os valores de saturação de alumínio, saturação de bases e pH em solos em todos os tratamentos do 1º ciclo. O pH só não foi elevado em T5 no qual se manteve praticamente igual.

Obtiveram-se percentuais de saturação de alumínio no final do ciclo apenas em T2, T5 e T7. A saturação de bases apenas em T5 não aumentou no final do ciclo diminuindo de 30% para 15%.

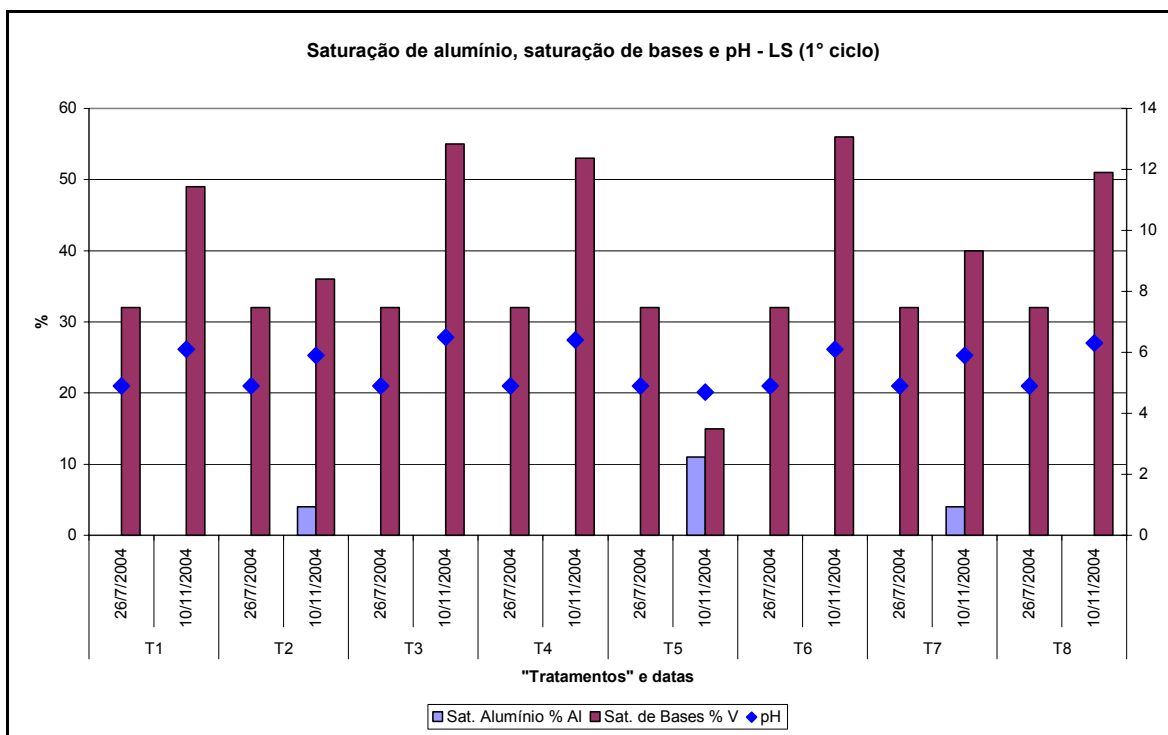


Figura 4.30 – Saturação de alumínio, saturação de bases e pH em solos usados nas unidades de cultivo nos diversos tratamentos.

4.3.1.4 - Plantas

No ciclo 1 foram feitas análises de folhas no laboratório LS para os parâmetros N, P, K, Ca, Mg, S (Figura 4.31) e B, Cu, Mn, Zn e Na (Figura 4.32). Na Figura 4.31 observa-se maiores valores de nitrogênio e potássio em T6. Em T5 obteve-se maiores valores de magnésio, fósforo e enxofre, e em T2 maiores valores cálcio.

Em T1 tiveram-se maiores valores de boro e zinco. Em T5 obtiveram-se maiores valores de sódio e cobre e em T6 maiores valores de manganês.

Com relação à biometria, no critério diâmetro, mostrado na Figura 4.33, T7 seguido de T8 tiveram maiores valores. Os tratamentos que tiveram plantas com maiores altura do caule (Figura 4.34) foram, respectivamente, T1 e T7, que, ao contrário destes, no critério número de folhas (Figura 4.35), inverteu-se ficando T7 seguido T1.

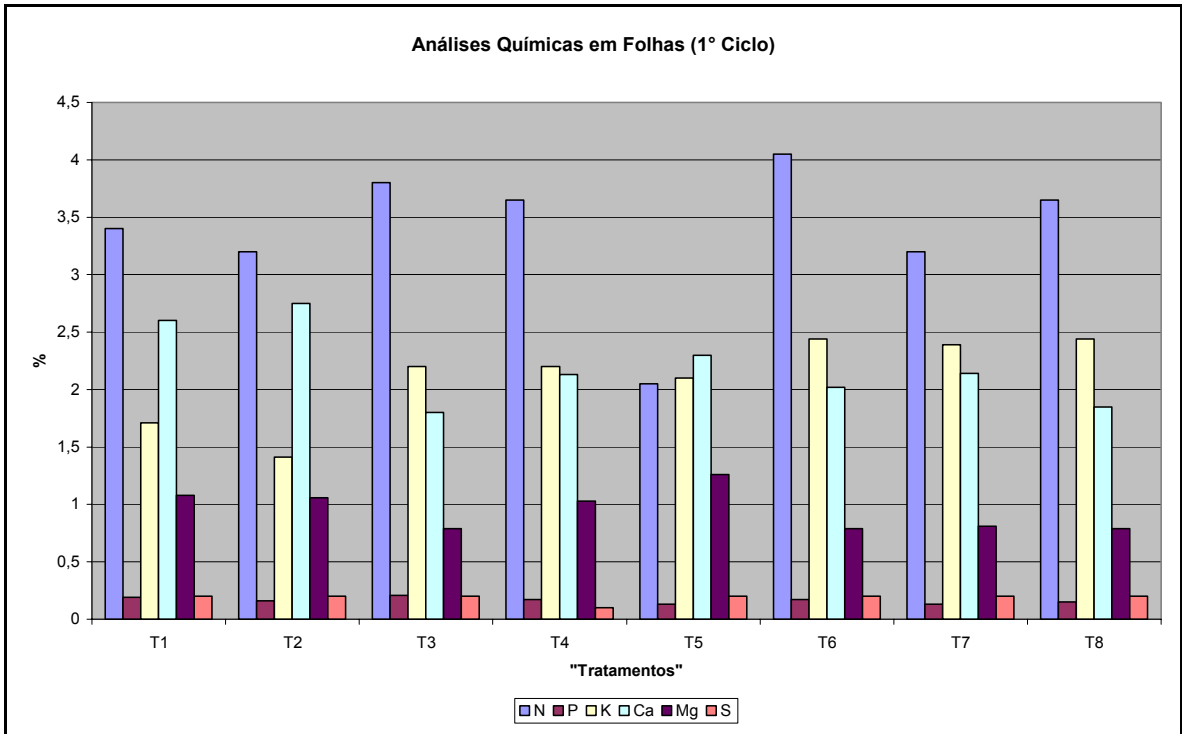


Figura 4.31 – Nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre em folhas no ciclo de cultivo 1.

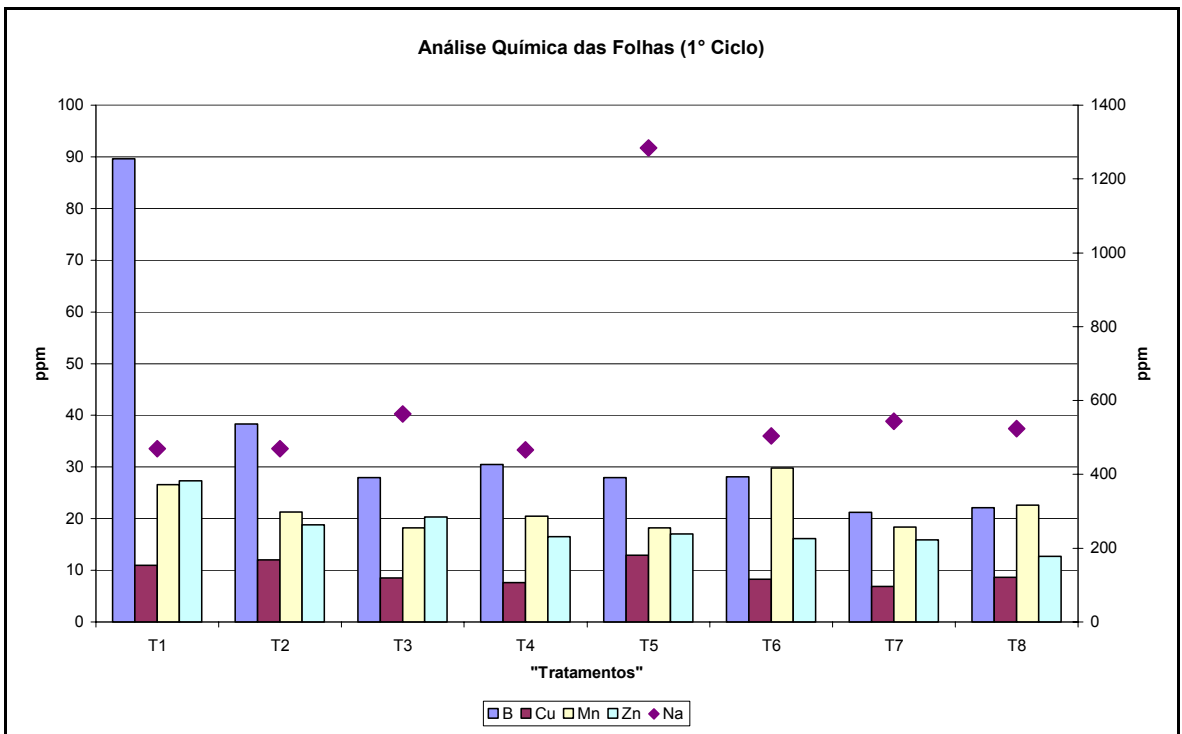


Figura 4.32 – Boro, cobre, manganês, zinco e sódio em plantas 1º ciclo.

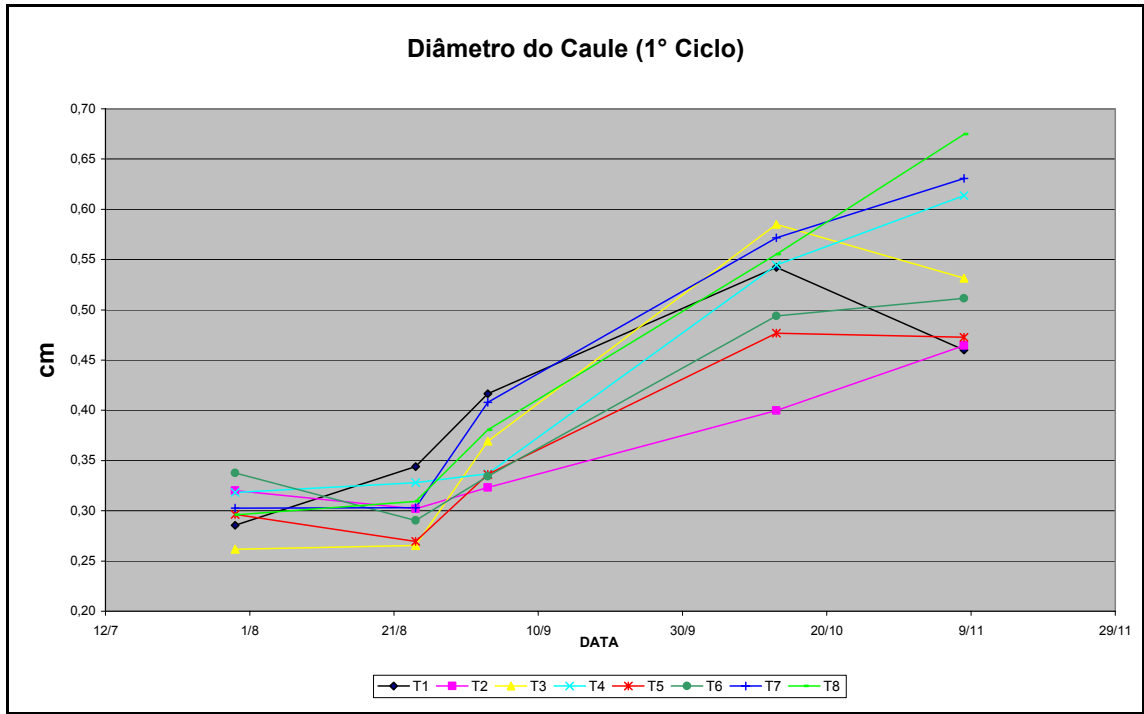


Figura 4.33 – Diâmetro do caule da dália no 1 ciclo.

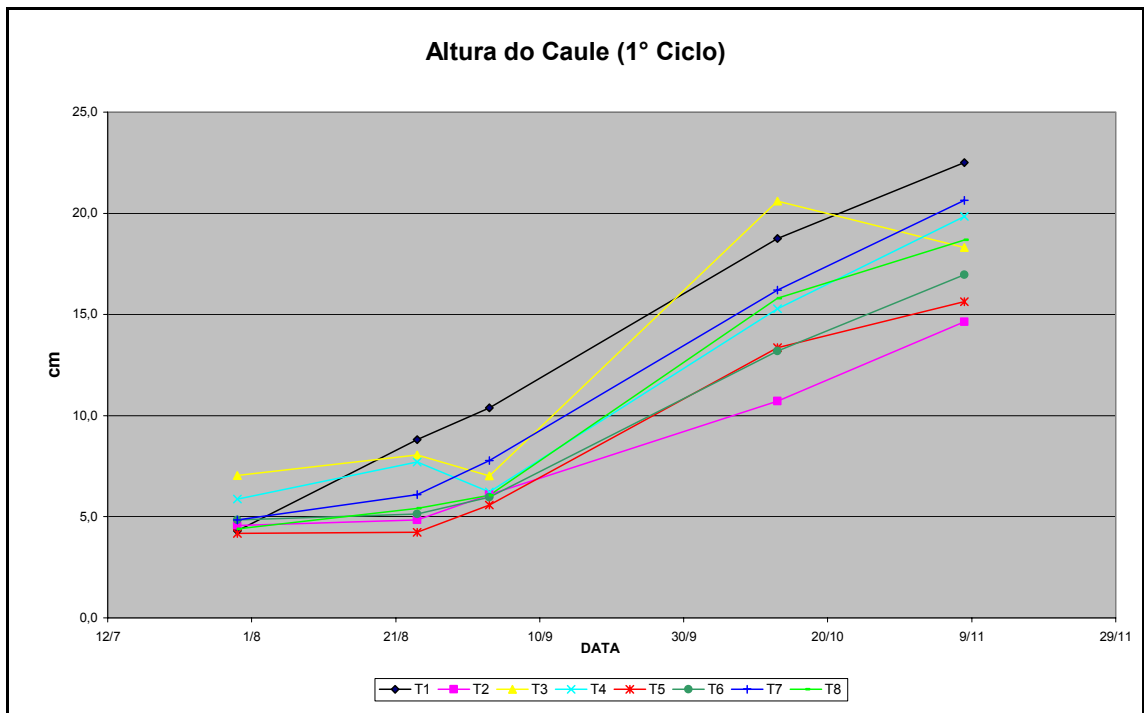


Figura 4.34 – Altura do caule da dália no 1 ciclo.

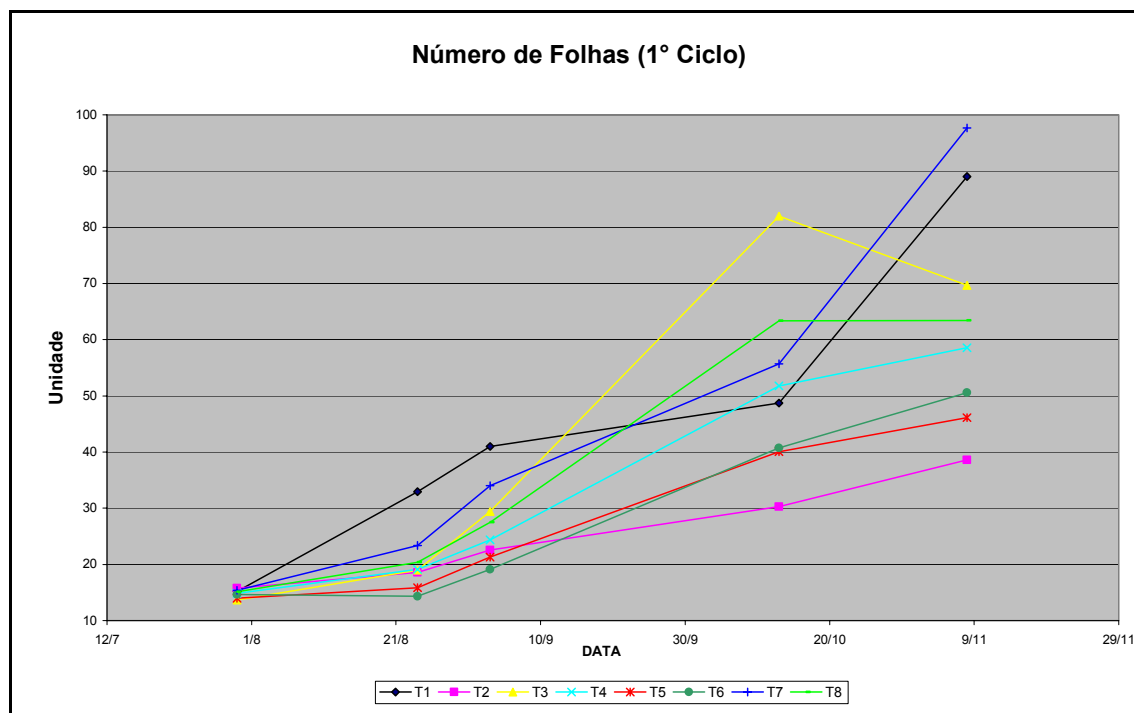


Figura 4.35 – Número de folhas da dália no 1 ciclo.

4.3.2 - Ciclo 2 (06/12/2004 – 12/03/2005)

4.3.2.1 - Águas de Irrigação

Como o segundo ciclo foi executado no período mais chuvoso do Distrito Federal, a caracterização da água de irrigação para esse ciclo não foi realizada como no primeiro ciclo, devido ao pequeno número de vezes em que foi necessária a irrigação e à indisponibilidade dos laboratórios e ao aumento de amostras de águas percoladas com a necessidade da análise.

4.3.2.2 - Águas Percoladas

Nesta seção serão mostrados valores médios dos dados de águas percoladas. Os dados completos obtidos das análises das águas percoladas no ciclo 2, podem ser visualizados no Apêndice 2A. A coleta dos percolados no segundo ciclo (período chuvoso) ocorreu de maneira “natural”, não sendo necessário forçar a percolação.

Os valores de pH, mostrados na Figura 4.36, apontam para valores mais próximos de 7, um pouco maior que no ciclo 1. A Condutividade elétrica do T7 se mostra a maior, em torno

de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, seguida de T8 e T3 com aproximadamente 450 e 310 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os coliformes totais, Figura 4.37, mostraram-se presentes apenas em T2, T5 e T6. *E. coli* se mostram ausentes em todos os tratamentos.

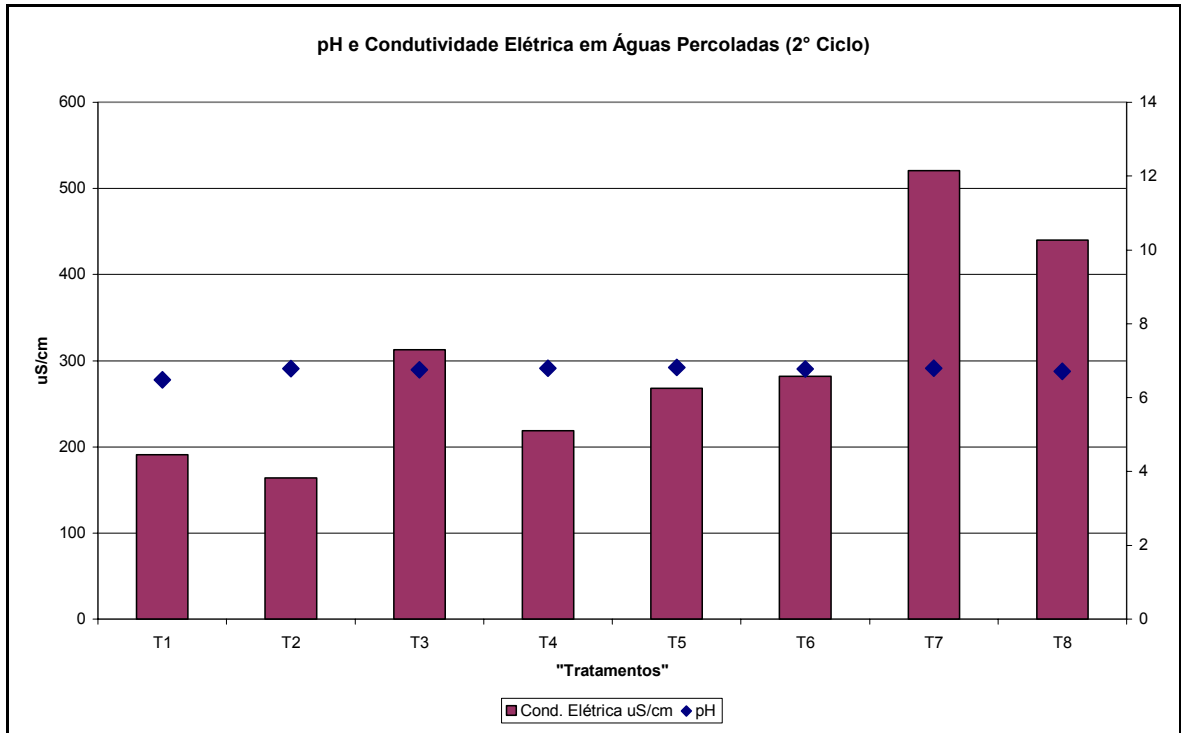


Figura 4.36 – pH e Condutividade Elétrica (CE) em águas percoladas do 2º ciclo.

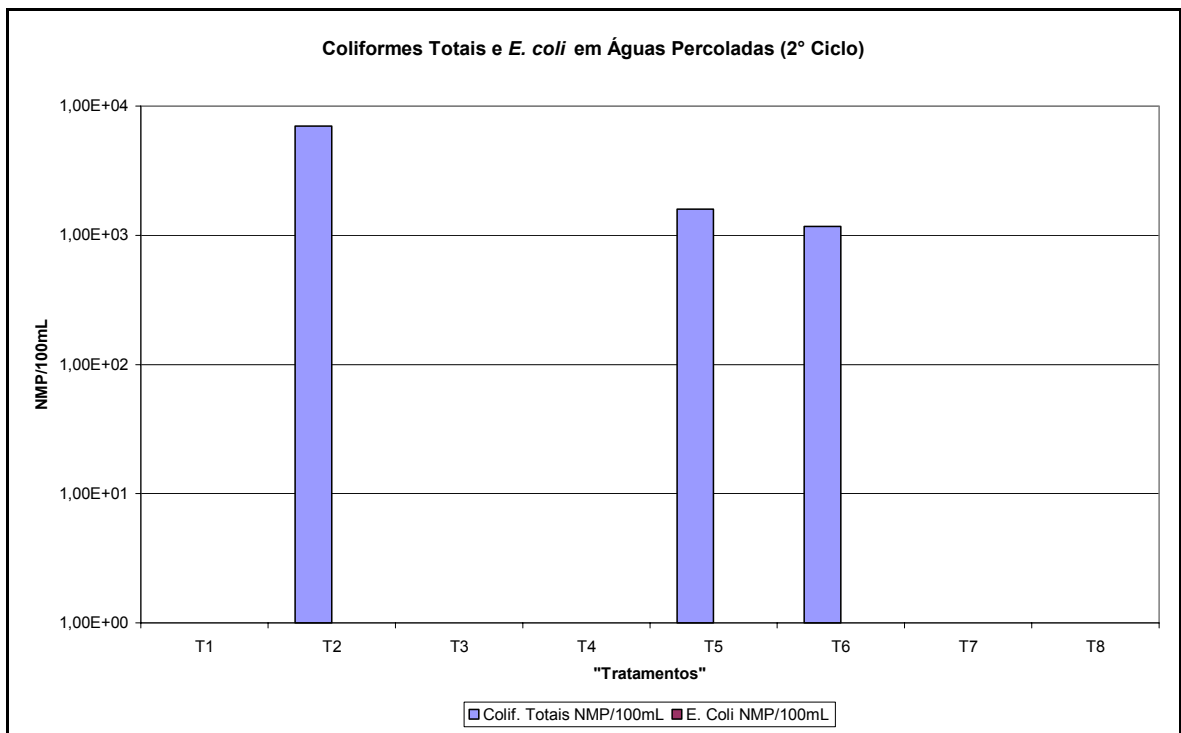


Figura 4.37 – Coliformes Totais e *E. coli* em águas percoladas no 2º ciclo.

A DQO mostrou-se menor do que no ciclo 1. Tem-se T3 com o maior valor de DQO deste ciclo em torno de 11 mg/L. Cloretos mostram-se presentes em concentrações expressivas, sendo de maior valor no T6, T8 e T5. Podem ser vistos na Figura 4.38.

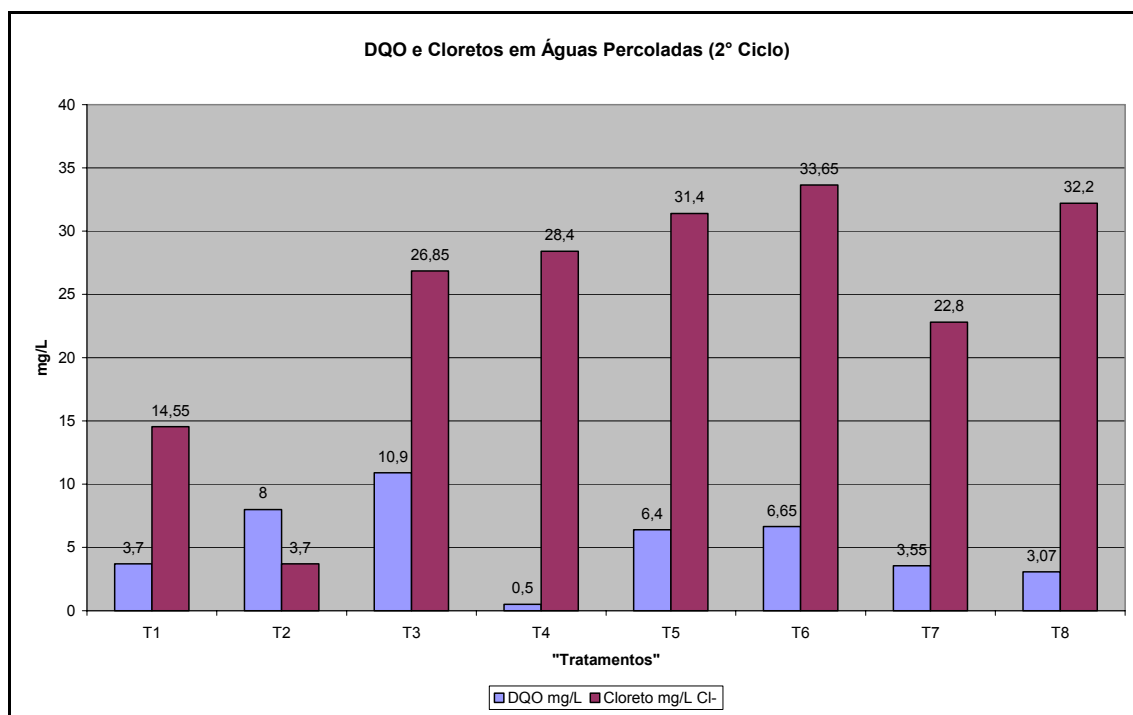


Figura 4.38 – DQO e cloretos em águas percoladas no 2º ciclo.

As concentrações de fósforo total se mostram superiores quando comparada ao 1º ciclo. O T1 demonstra maiores valores indicando possivelmente um excesso de nutrientes quando se usa adubação tradicional, onde estes acabam sendo lixiviados e incorporados às águas subterrâneas. Podem ser vistos juntamente com valores de ortofosfato na Figura 4.39.

Com relação aos valores de nitrato (Figura 4.40), os tratamentos T8 e T7 se mostram como maiores e representando alguma preocupação. Quando se compara com valores orientadores da CETESB para águas subterrâneas do estado de São Paulo, mostrado na Tabela 6 do Apêndice 6. O tratamento T8 apresenta valores de 17,33 mg/L e o tratamento T7 de 12,3 mg/L. Assim sendo, maiores que o recomendado pelos valores orientadores de águas subterrâneas da CETESB para o estado de São Paulo.

Essa mesma norma da CETESB estabelece também valores orientadores para metais em águas subterrâneas. Na Figura 4.41 podem ser vistos valores de estrôncio, titânio, níquel, cobre, manganês, bário, cobalto e cádmio. Para valores de níquel, somente o T6 não

ultrapassa o limite estabelecido. Para bário e cádmio, o T5 e o T6 somente não excedem o limite recomendado. O restante dos elementos não supera os limites em nenhum tratamento.

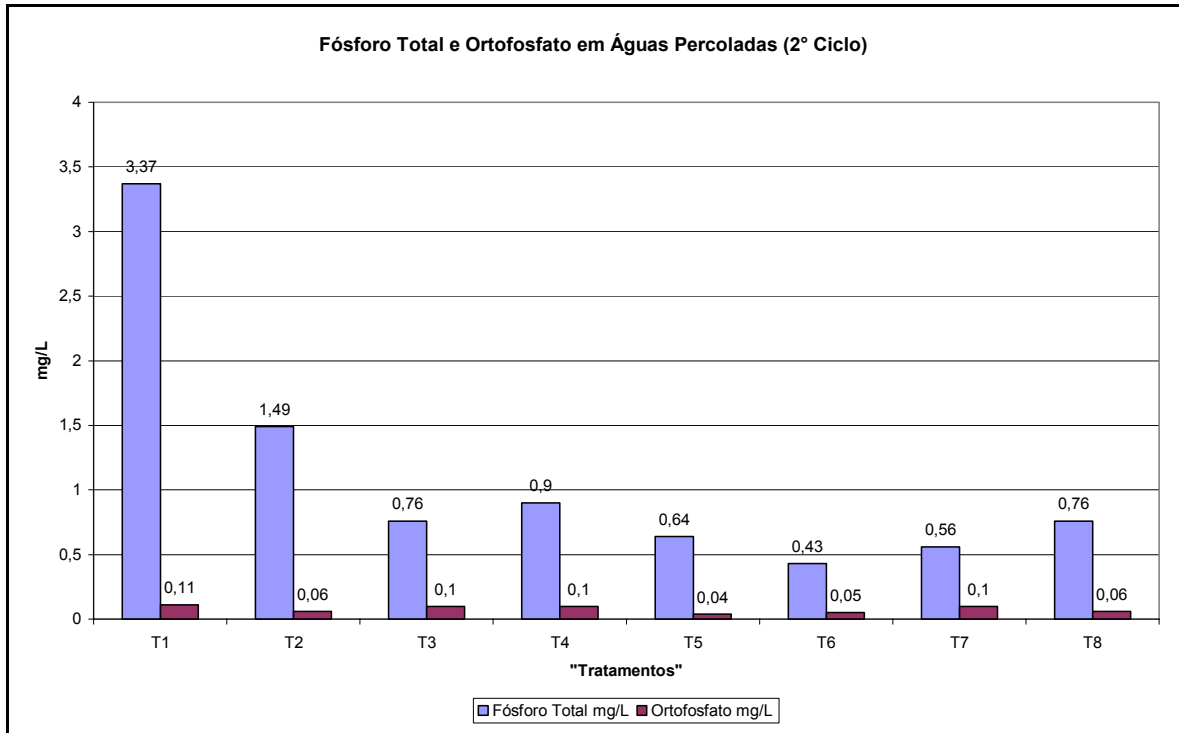


Figura 4.39 – Fósforo total e ortofosfato em águas percoladas no 2º ciclo.

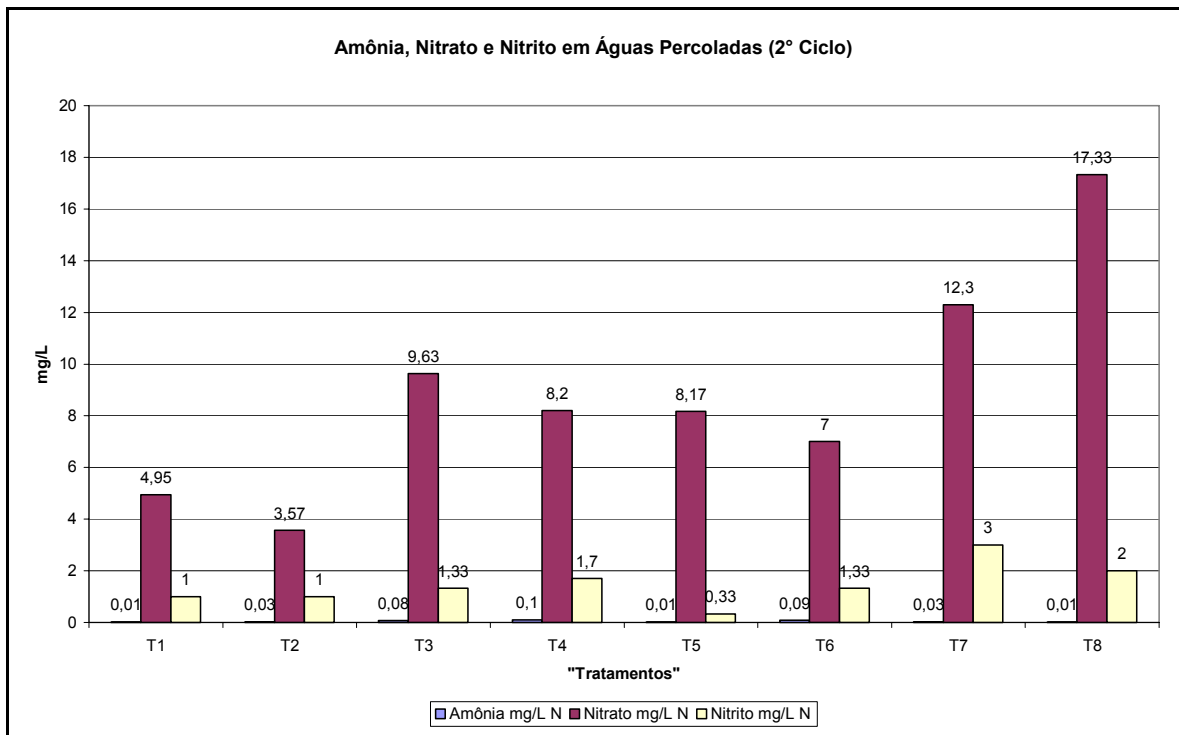


Figura 4.40 – Amônia, nitrato e nitrito em águas percoladas no 2º ciclo.

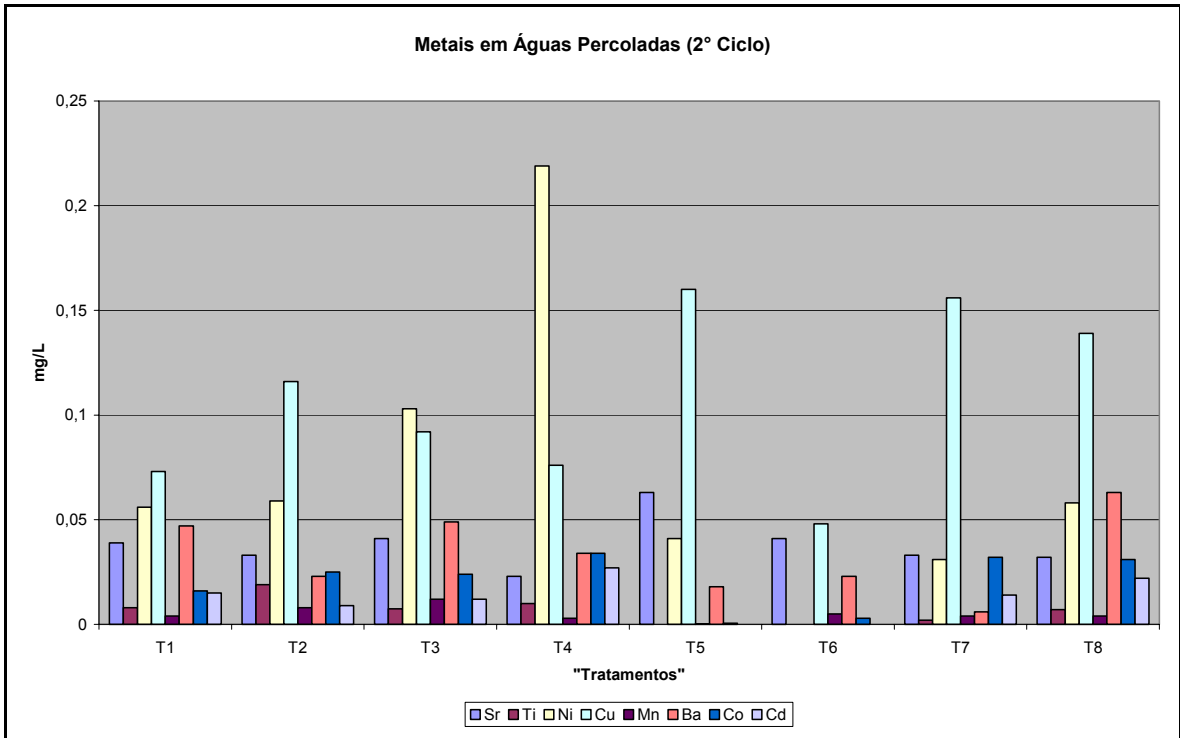


Figura 4.41 – Metais em águas percoladas do 2º ciclo.

Na Figura 4.42, pode-se observar as concentrações de alumínio, cromo, zinco, chumbo e fósforo.

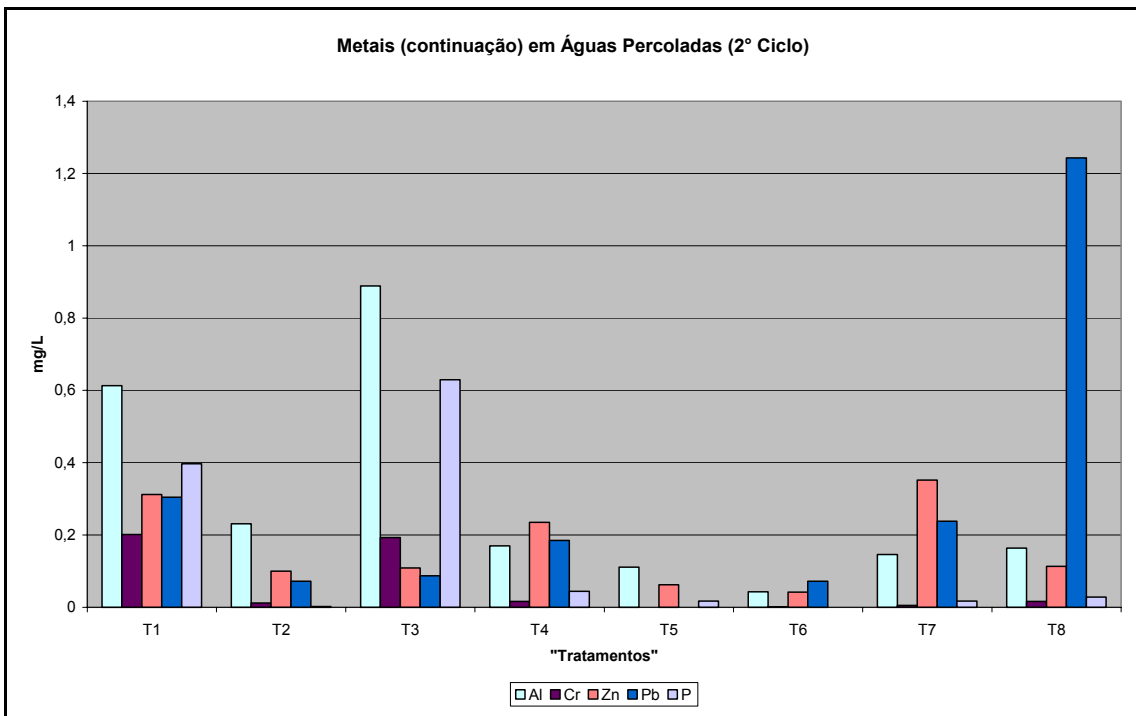


Figura 4.42 – Metais em águas percoladas do 2º ciclo.

Os tratamentos T1, T2 e T3 ultrapassam os limites recomendados para alumínio. O T1 e o T3 superaram o limite para cromo, e para o chumbo somente o T5 não ultrapassa o limite. Cálcio, magnésio e ferro são os parâmetros vistos na Figura 4.43. Nos tratamentos T1, T3 e T7 o limite para ferro de 0,3 mg/L foi ultrapassado.

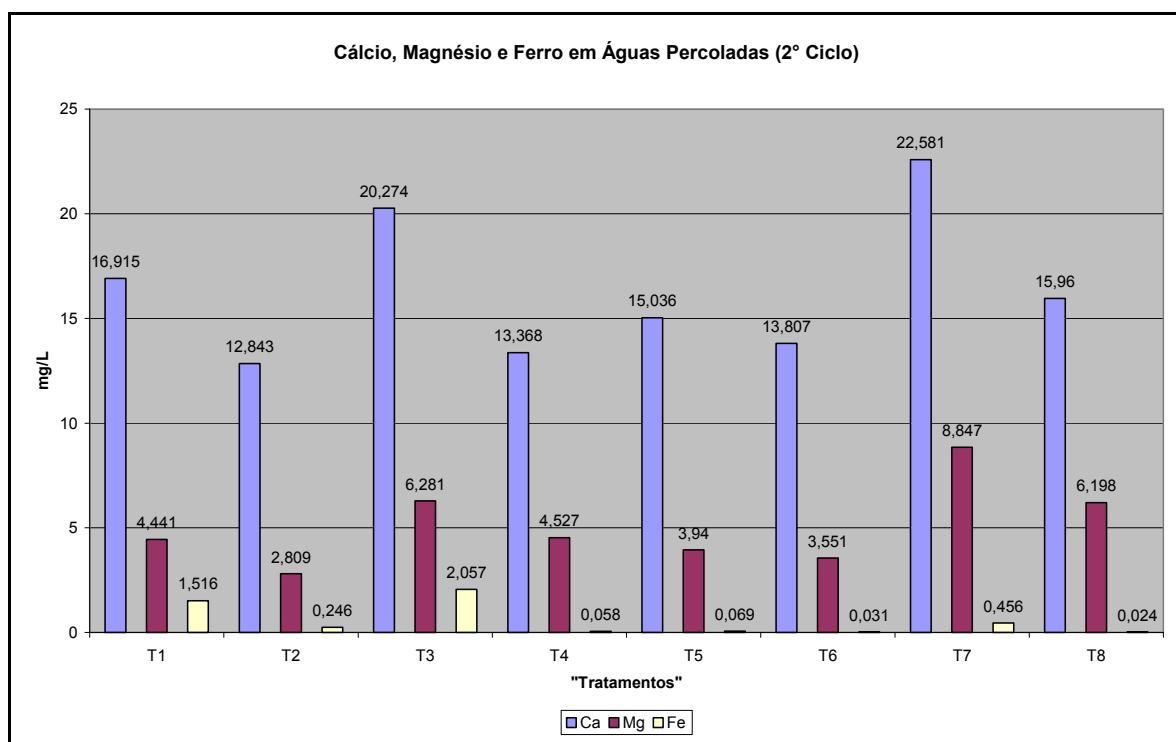


Figura 4.43 – Cálcio, Magnésio e Ferro em águas percoladas do 2º ciclo.

4.3.2.3 - Solos

Nesta seção serão mostrados valores médios dos dados de análises de solos. Os dados completos das análises de solos no ciclo 2, podem ser visualizados no Apêndice 2B. As Figuras 4.44, 4.45 e 4.46 trazem os resultados obtidos no Laboratório LQAA com as mesmas amostras de solo das Figuras 4.47, 4.48 e 4.49 que foram feitas no Laboratório LS, enfocando outros parâmetros. Foram feitas análises no início e no final do ciclo.

Para análises do laboratório LQAA, diferentemente do 1º ciclo, percebe-se que os valores de cálcio, magnésio, em g/Kg, mostrados na Figura 4.44, aumentam no final do ciclo, enquanto que os valores de fósforo mantêm-se basicamente constantes. Com relação ao pH (Figura 4.45), manteve-se igual apenas em T2 e T4 e nos outros tratamentos aumentou ao final do ciclo. O teor de matéria orgânica, entretanto, decaiu nos tratamentos T5 e T6,

aumentou em todos os outros tratamentos. Os valores de ferro decaíram no final do ciclo para todos tratamentos. Os valores de cobre estão em concentrações bastante baixa em todos os tratamentos do início ao final do ciclo. O alumínio aumentou em todos os tratamentos com exceção do T6, de 0,009 a 0,002 g/Kg. Os valores de manganês diminuíram em T1, T2, T5 e T8. Nos outros tratamentos as concentrações de manganês aumentaram do início para o final do ciclo. Já os valores de zinco aumentaram apenas em T1. Esses dados podem ser vistos na Figura 4.46.

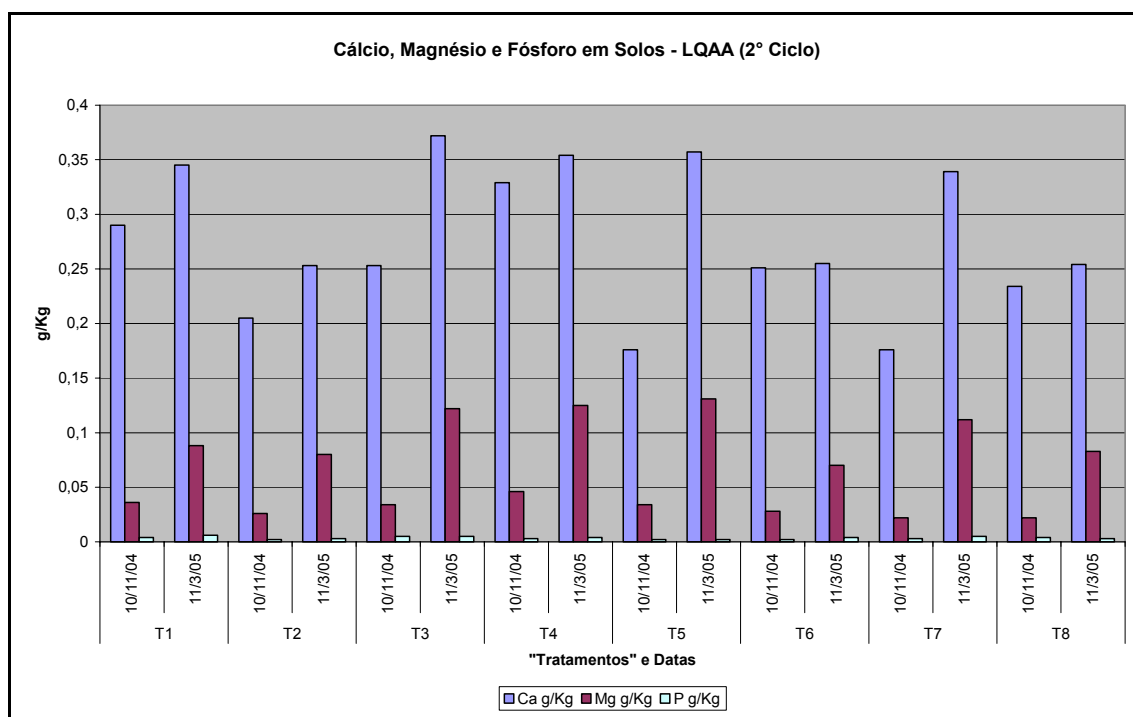


Figura 4.44 – Cálcio, magnésio e fósforo em solos usados nas unidades de cultivo nos diversos tratamento do ciclo 2

Pelas análises do laboratório LS, conforme Figura 4.47, os valores de cálcio decaíram em T5, T6 e T8; os de magnésio apenas diminuíram no tratamento T6; os valores de sódio decaíram em todos os tratamentos; o valor de potássio diminuíram em todos os tratamentos. Ao contrário, o valor de acidez total manteve-se entre 3,5 e 4,5 mE/100mL considerando-se todos os tratamentos e os valores de CTC apenas diminuíram no final nos tratamentos T6 e T8.

Na Figura 4.48, é mostrado os valores de matéria orgânica, carbono orgânico e fósforo em solos no 2º ciclo. Percebe-se, contrariamente ao 1º ciclo, um aumento dos teores de matéria e carbono orgânico em todos os tratamentos. Já o elemento fósforo, se mostrou

maior no final do ciclo em todos os tratamentos. Os maiores acréscimos foram em T1, T7, T6.

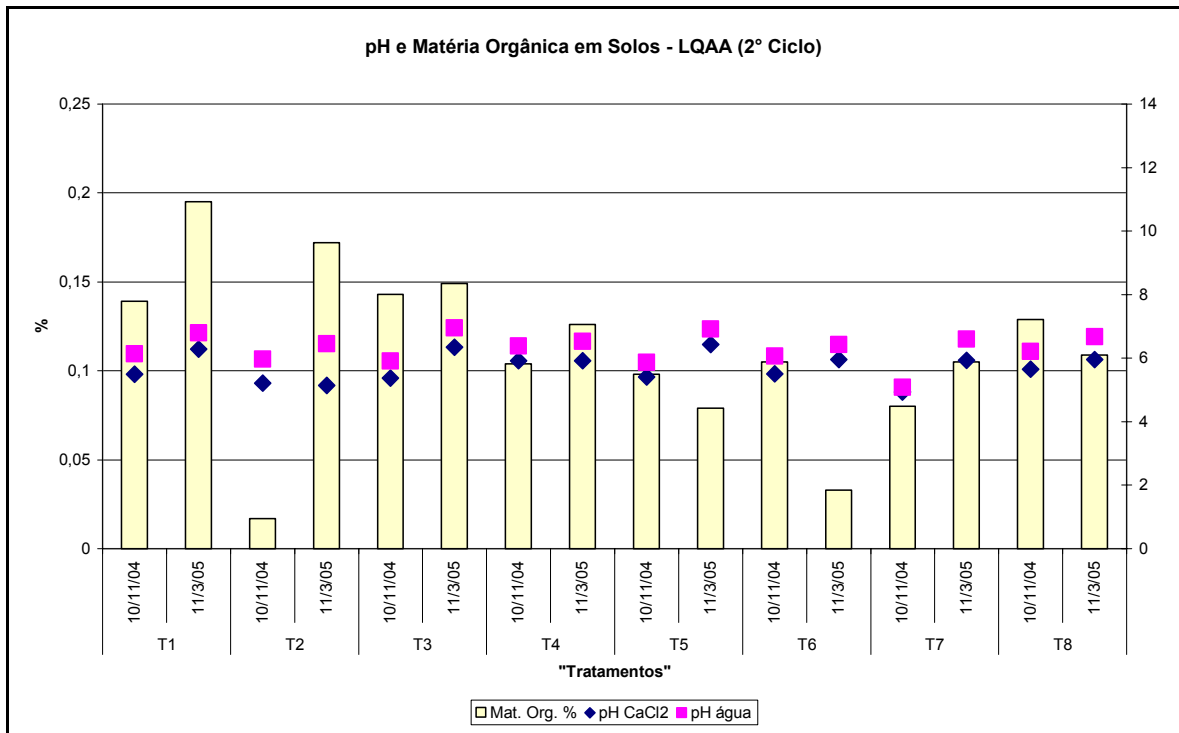


Figura 4.45 – Matéria orgânica e pH em solos usados nas unidades de cultivo nos diversos tratamento do ciclo 2

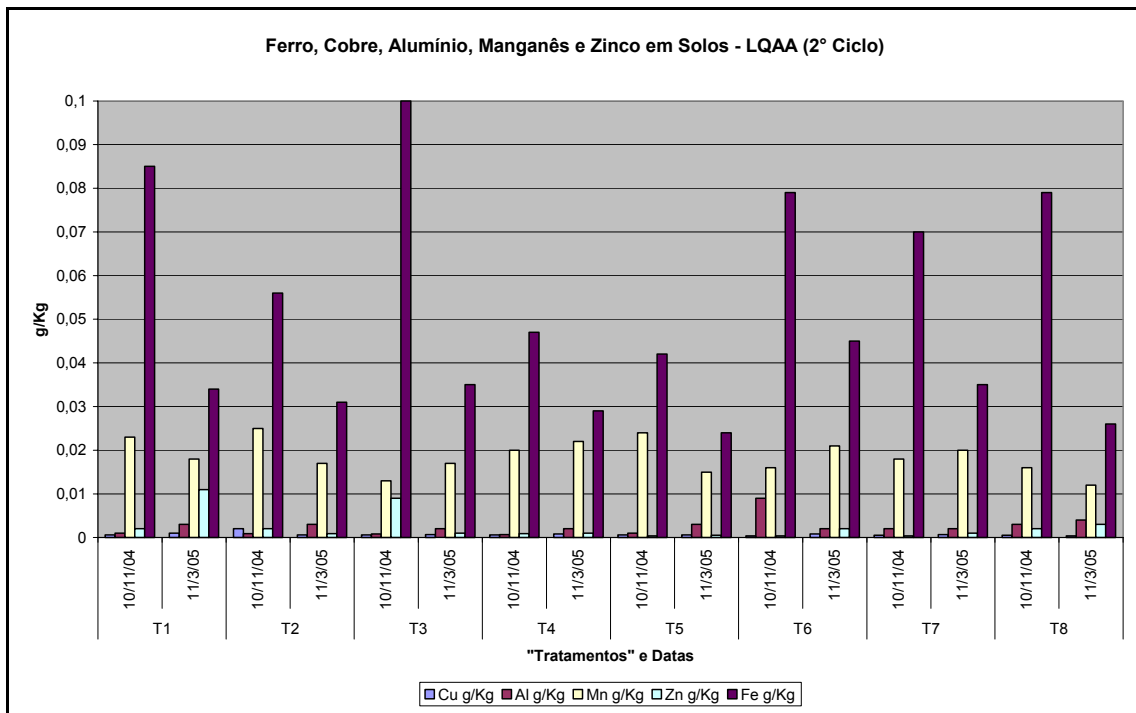


Figura 4.46 – Ferro, cobre, alumínio, manganês e zinco em solos usados nas unidades de cultivo nos diversos tratamento do ciclo 2

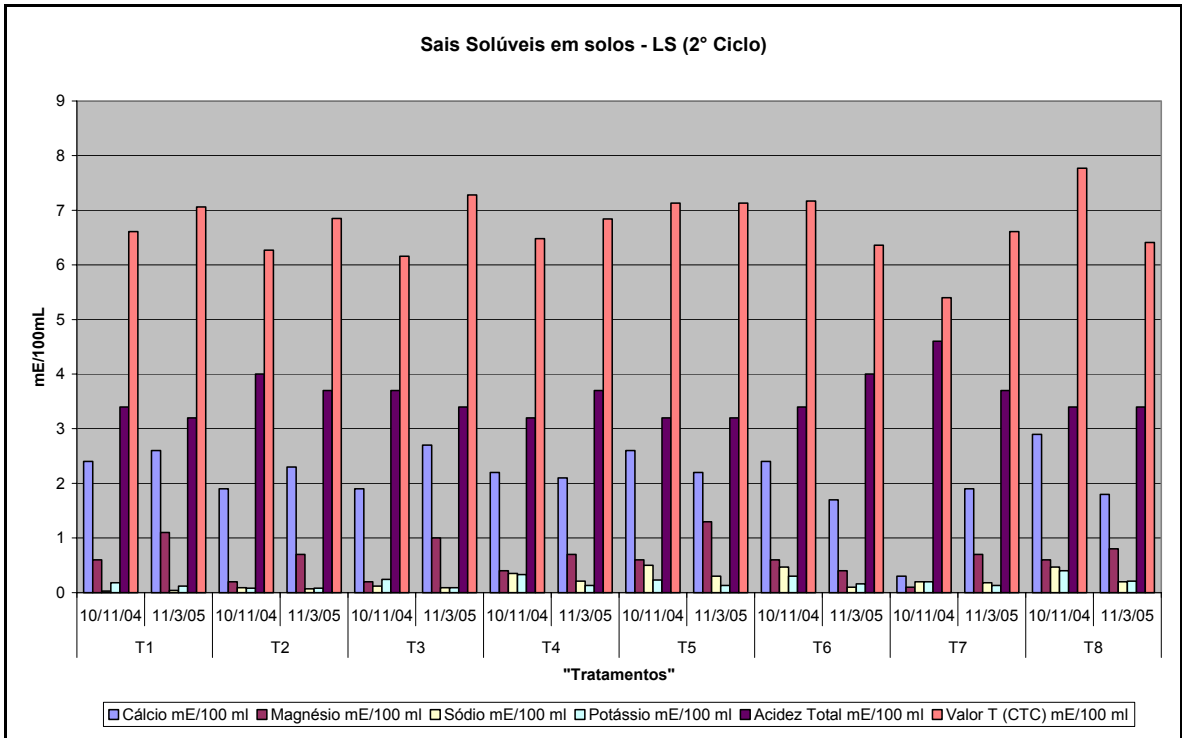


Figura 4.47 – Sais solúveis dos solos usados nas unidades de cultivo nos diversos tratamento do ciclo 2

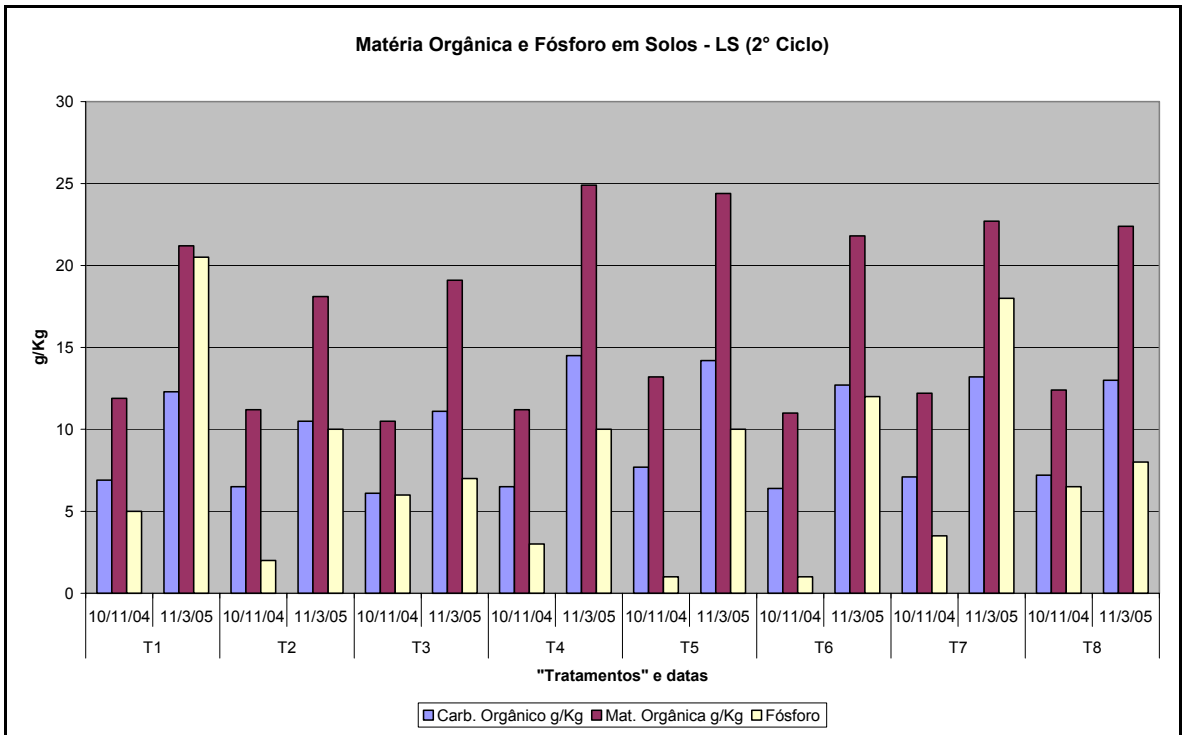


Figura 4.48 – Matéria orgânica e fósforo em solos usados nas unidades de cultivo nos diversos tratamento do ciclo 2

Já a Figura 4.49 mostra os valores de saturação de alumínio, saturação de bases e pH em solos em todos os tratamentos do 2º ciclo. O pH inicial mais baixo foi em T7 em 4,7 mas

no final todos se mantiveram em torno de pH 6. Valores de pH mais altos aconteceram em T5 com 6,7 no final do ciclo.

Obtiveram-se percentuais de saturação de alumínio no final do ciclo apenas em T2, T3 e T7. A saturação de bases apenas em T4, T5, T6 e T8 não aumentou no final do ciclo.

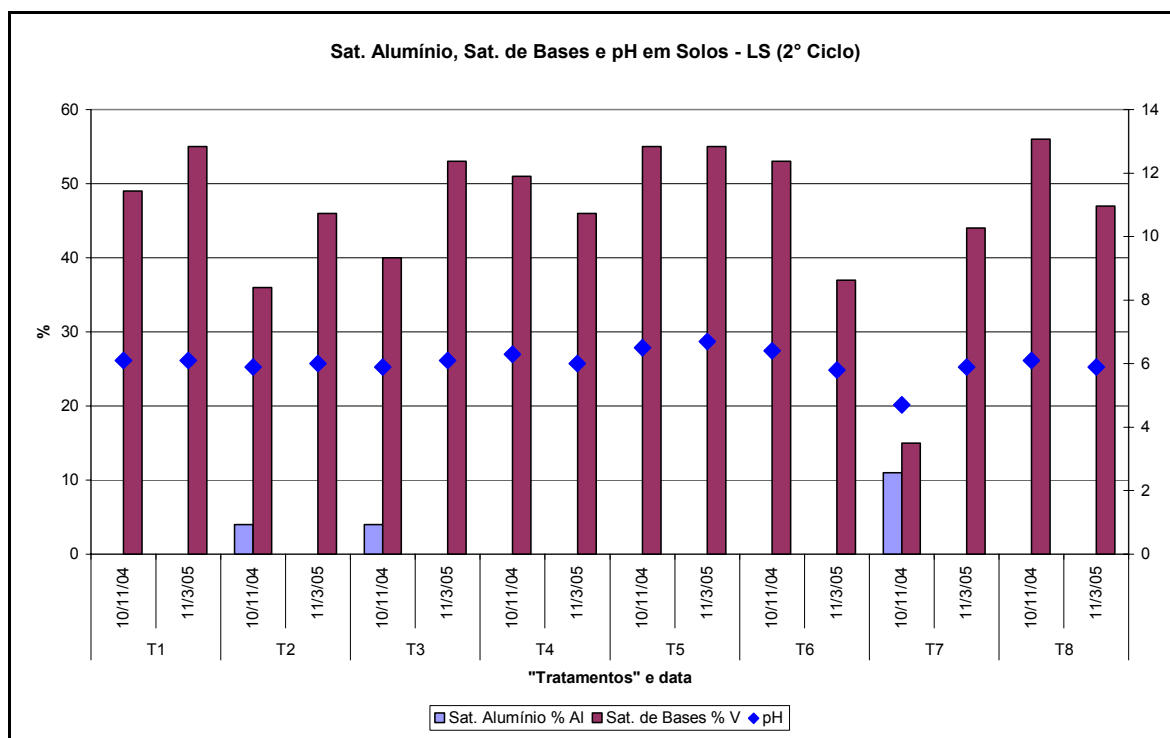


Figura 4.49 – Saturação de alumínio, saturação de bases e pH em solos usados nas unidades de cultivo nos diversos tratamentos do ciclo 2

4.3.2.4 - Plantas

Nas Figura 4.50 mostra-se valores de nutrientes essenciais à vida das plantas. Nota-se maiores valores de cálcio em T2, diferentemente de T7 que os valores maiores são potássio, fósforo e enxofre.

Na Figura 4.51 mostra-se os nutrientes encontrados nas raízes. Pode-se observar que os valores de enxofre e cálcio decaem nas raízes quando comparado com as folhas. Ao contrário, os valores de potássio aumentam.

Com relação ao desempenho de altura das plantas, mostraram-se com maiores índices T1 e T7; com relação ao parâmetro número de folhas evidenciam-se T1 e T3; e com relação ao

maior diâmetro do caule mostram-se como maiores T1 e T8. Os valores da altura da plantas, do número de folhas e do diâmetro dos caules são mostrados na Figuras 4.52, 4.53 e 4.54 respectivamente.

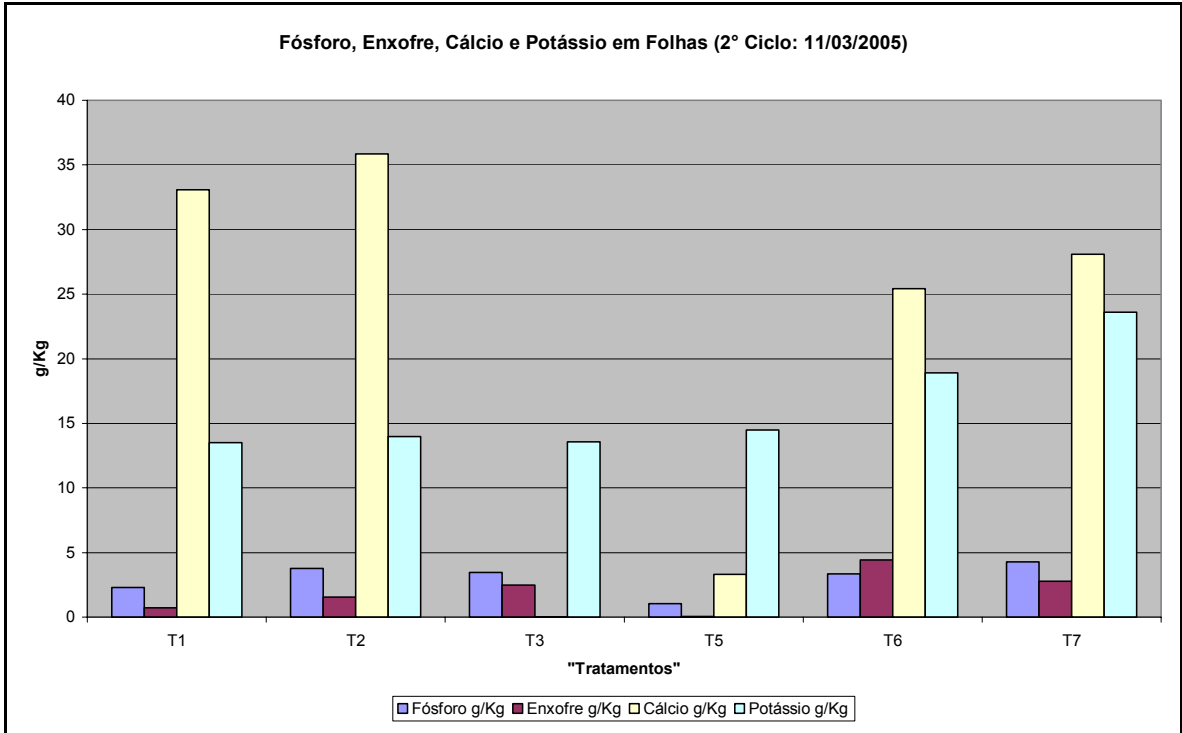


Figura 4.50 – Nutrientes em folhas no ciclo 2.

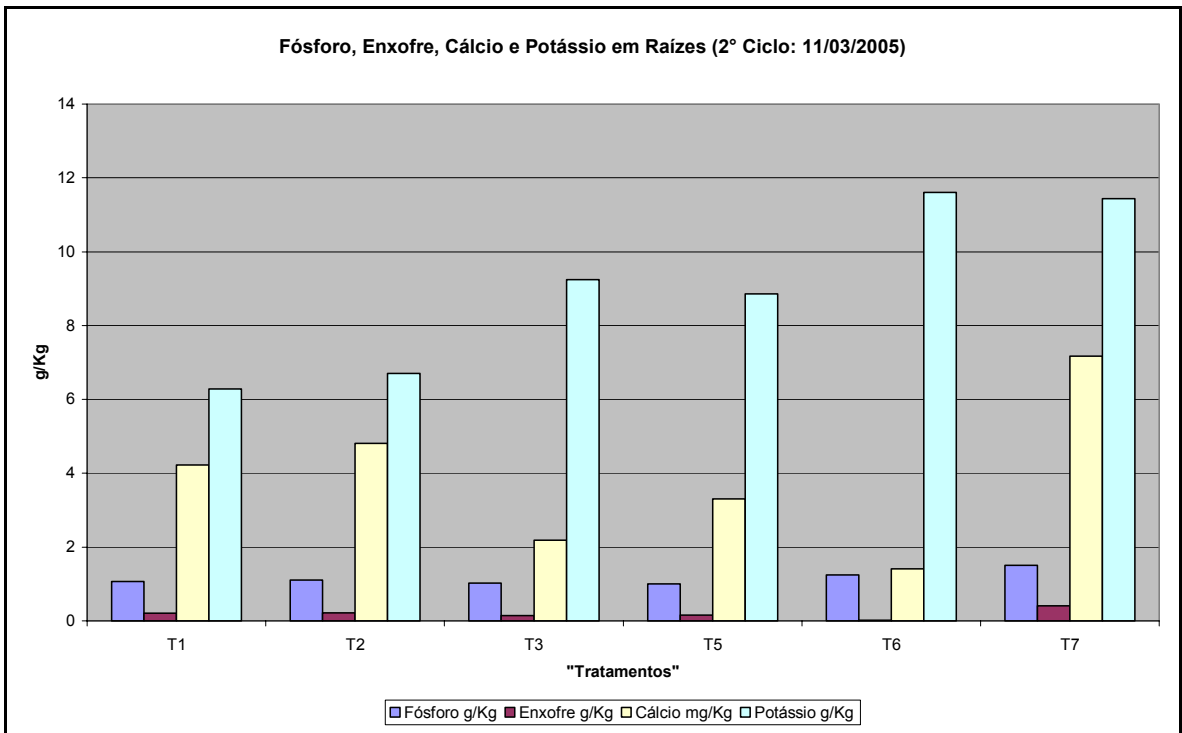


Figura 4.51 – Nutrientes em raízes no ciclo 2.

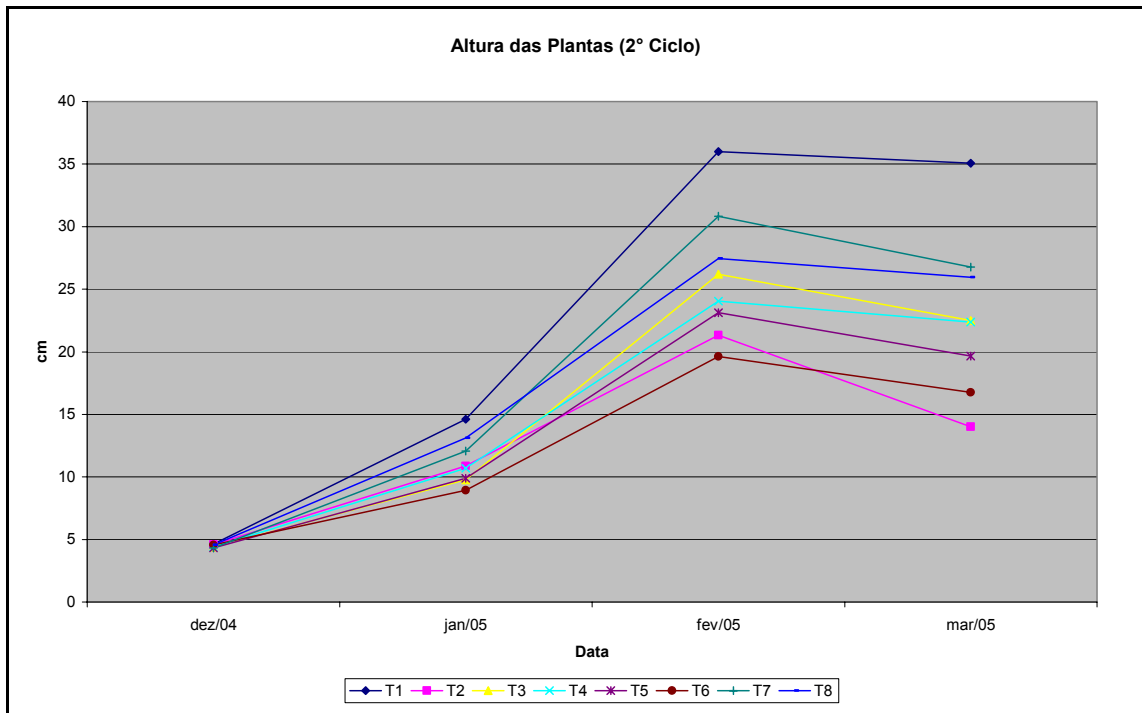


Figura 4.52 – Altura da plantas no ciclo 2

Com relação a altura das plantas, a unidade de cultivo irrigada com água + NPK (T1) apresentou maior crescimento seguido do T7, T8 e T3.

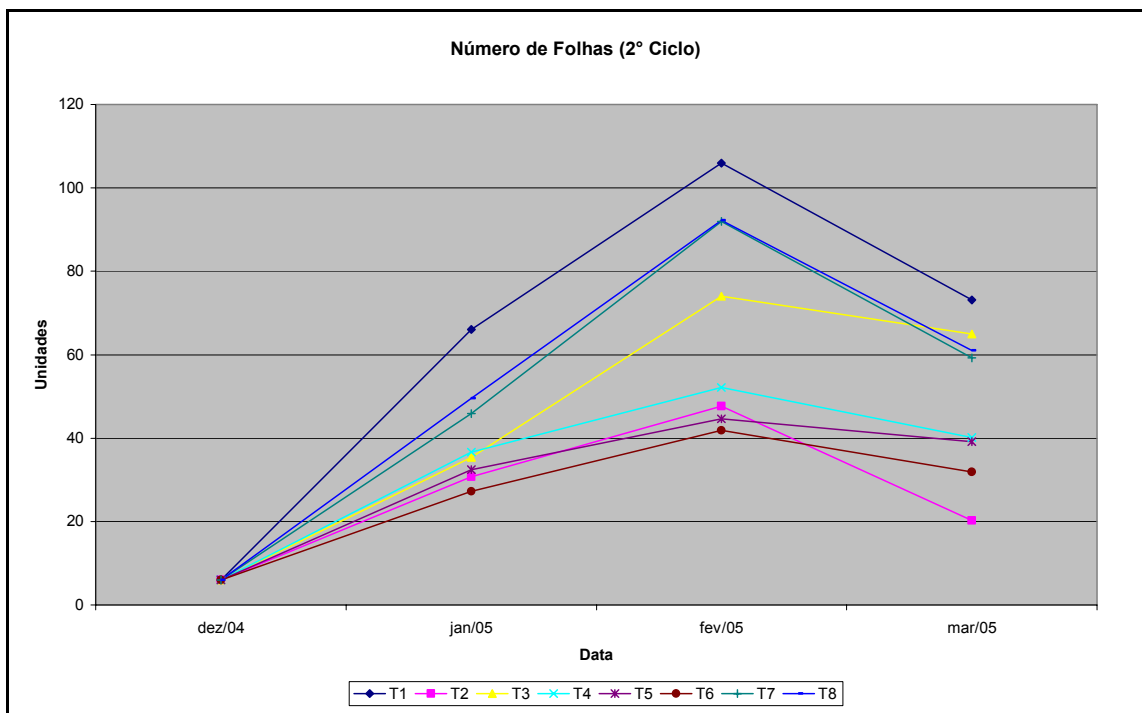


Figura 4.53 – Número de folhas das plantas no ciclo 2

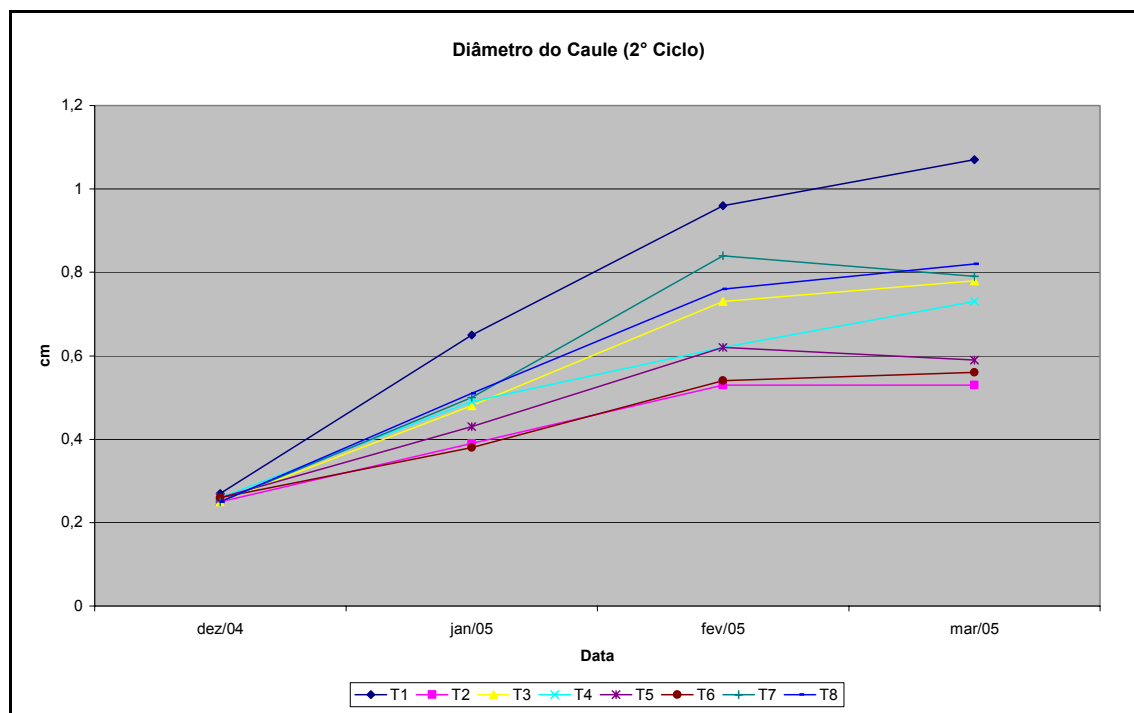


Figura 4.54 – Diâmetro do caule das plantas no ciclo 2

4.3.3 - Ciclo 3 (15/05/2005 – 29/08/2005)

4.3.3.1 - Águas de Irrigação

Nesta seção serão mostrados valores médios dos dados de água de irrigação. Os dados completos obtidos das análises das águas de irrigação no ciclo 3, podem ser visualizados no Apêndice 3A. Nos dados de águas de irrigação não se apresenta os valores do tratamento T4, que se trata da diluição do tratamento T3 com o tratamento T6.

Para o 3º ciclo observa-se uma redução dos metais e nutrientes com relação aos primeiro ciclo, com exceção do Ferro, que excedeu nos tratamentos T2, T3, T5 e T8, e do Níquel, que foi maior do que o primeiro ciclo para os tratamentos T2, T3, T5 e T7. Vale ressaltar que do primeiro para o terceiro ciclo diminuiu-se a concentração de Sódio em cerca de 40% para o T3, 37% no T5, 28% para o T6, 45% no T7 e 40% no T8.

A Figura 4.55 mostra valores de estrôncio, cálcio, magnésio, ferro, silício, níquel, alumínio, manganês, fósforo, sódio e potássio em águas de irrigação no 3º ciclo. Com relação aos valores de cálcio todos os tratamentos se enquadram dentro da faixa usual de 0-20 mE/L recomendado Tabela 1 do Apêndice 6. Também o magnésio, cuja faixa usual é de

0-5 mE/L, se encontra regular. Com relação ao fósforo, T3, T7 e T8 ultrapassam os limites da faixa usual. O potássio está dentro da faixa usual (0-2 mg/L) somente nos tratamentos T1 e T2. Para limites máximos recomendados, Ferro e Manganês se encontram abaixo do limite. Contudo, os valores de níquel só não ultrapassam o limite de 0,2 mg/L no T1 e T8, e os valores de alumínio ultrapassam o limite de 5 mg/L nos tratamentos T3 e T8. Com relação ao sódio o tratamento T8 configura-se como de restrição ao uso de fraca a moderada, estando acima de 3 mE/L ($\text{mg/L de Na}^+ = \text{mE/L} * 22,99$).

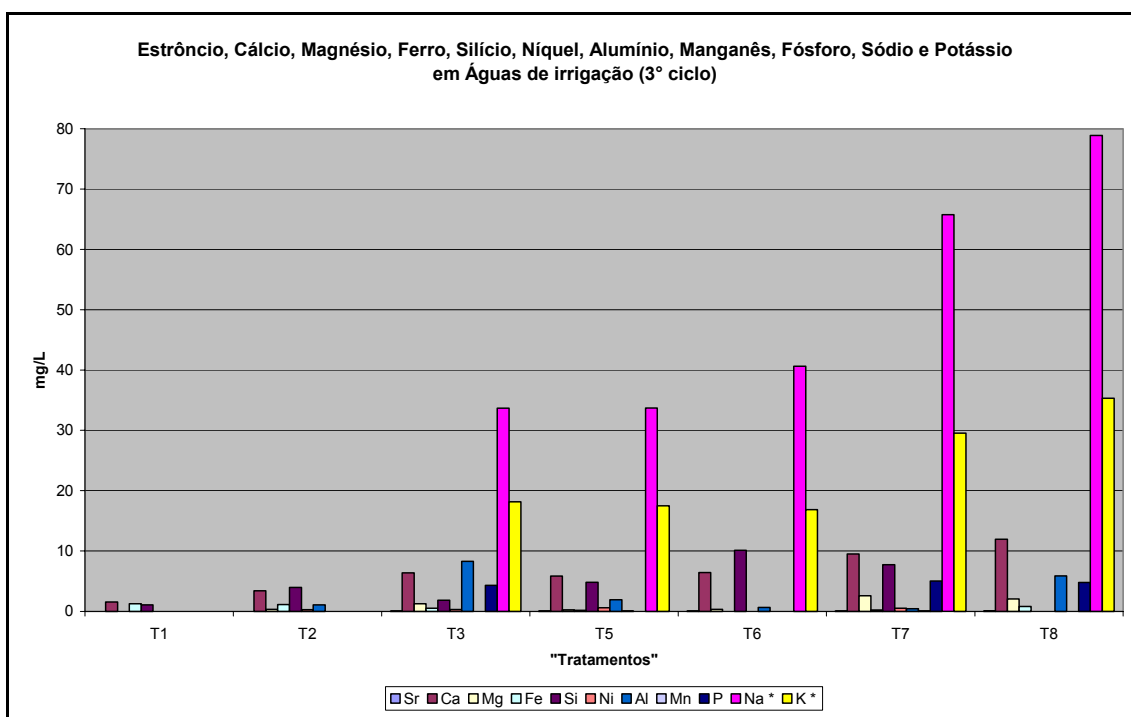


Figura 4.55 – Estrôncio, cálcio, magnésio, ferro, silício, níquel, alumínio, manganês, fósforo, sódio e potássio em águas de irrigação no 3º ciclo.

Os valores de Condutividade Elétrica, Alcalinidade e Nitrogênio Total em águas de irrigação no 3º ciclo são mostrados na Figura 4.56. O valores de Condutividade elétrica do tratamento T7 o configura como sendo o único de restrição fraca à moderada ao uso. Os outros tratamentos não apresentam restrição. Para alcalinidade o tratamento T3 se mostrou com o maior valor neste parâmetro, e os valores de nitrogênio total foram mais expressivos em T7, T3 e T8 sucessivamente.

A Figura 4.57 mostra os valores de RAS e Condutividade Elétrica nas águas de irrigação do 3º ciclo. Os valores de RAS imprimem uma restrição severa aos tratamentos T1 e T2, fraca à moderada aos T3, T5, T6, e nenhuma restrição aos T7 e T8.

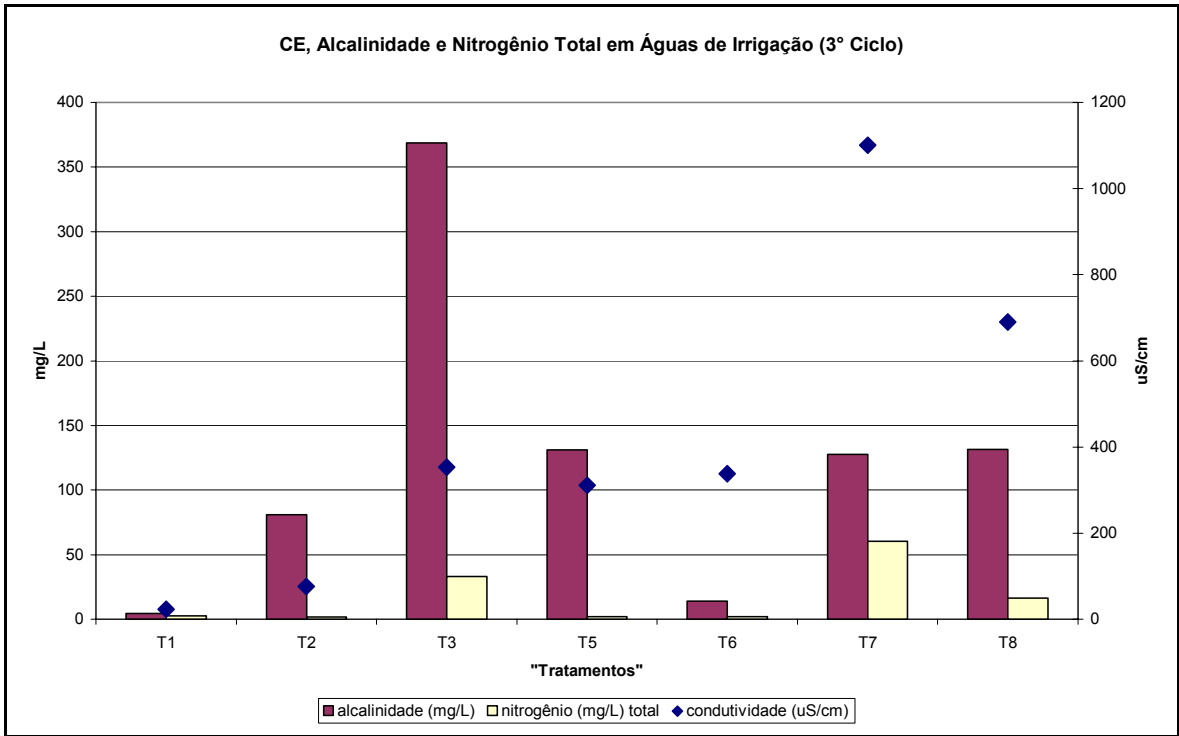


Figura 4.56 – Alcalinidade, Nitrogênio Total e Condutividade elétrica em águas de irrigação no 3º ciclo.

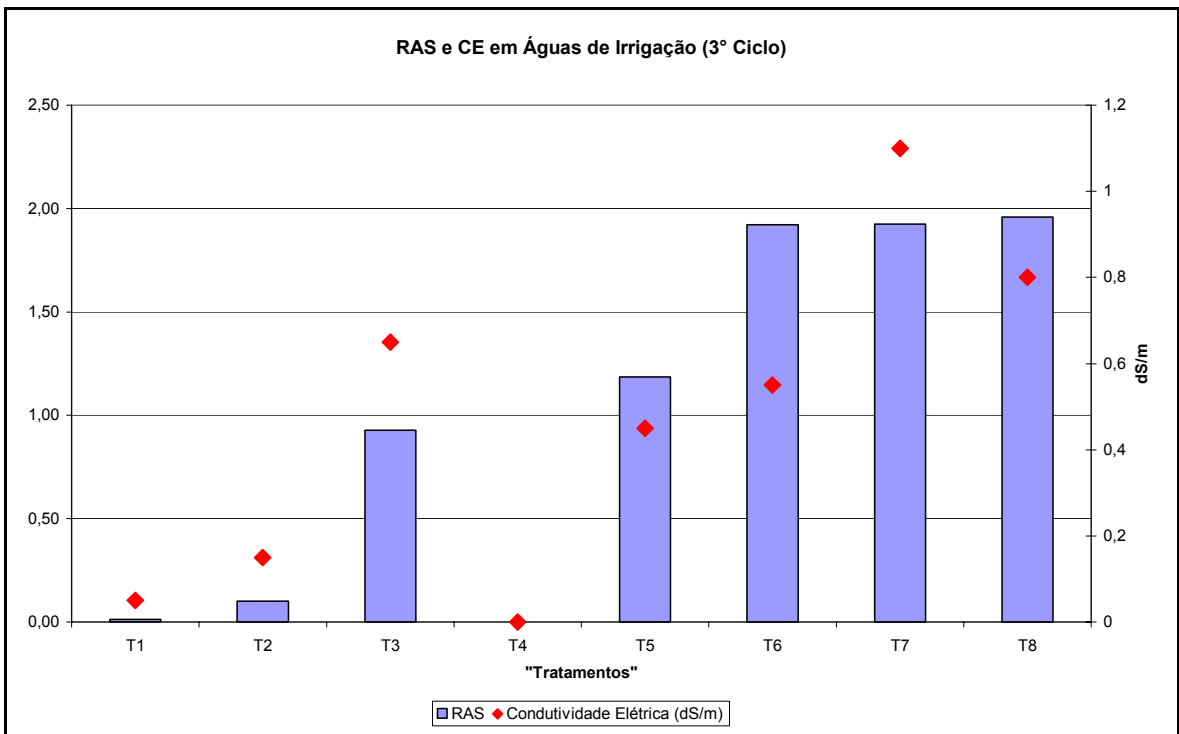


Figura 4.57 – RAS e Condutividade Elétrica em Águas de Irrigação do 3º ciclo.

Na Figura 4.58 pode-se observar os valores de cloretos dos tratamentos e a linha do valor indica restrição fraca a moderada. Observa-se que todos os tratamentos não tem restrição nenhuma ao uso com relação a este parâmetro.

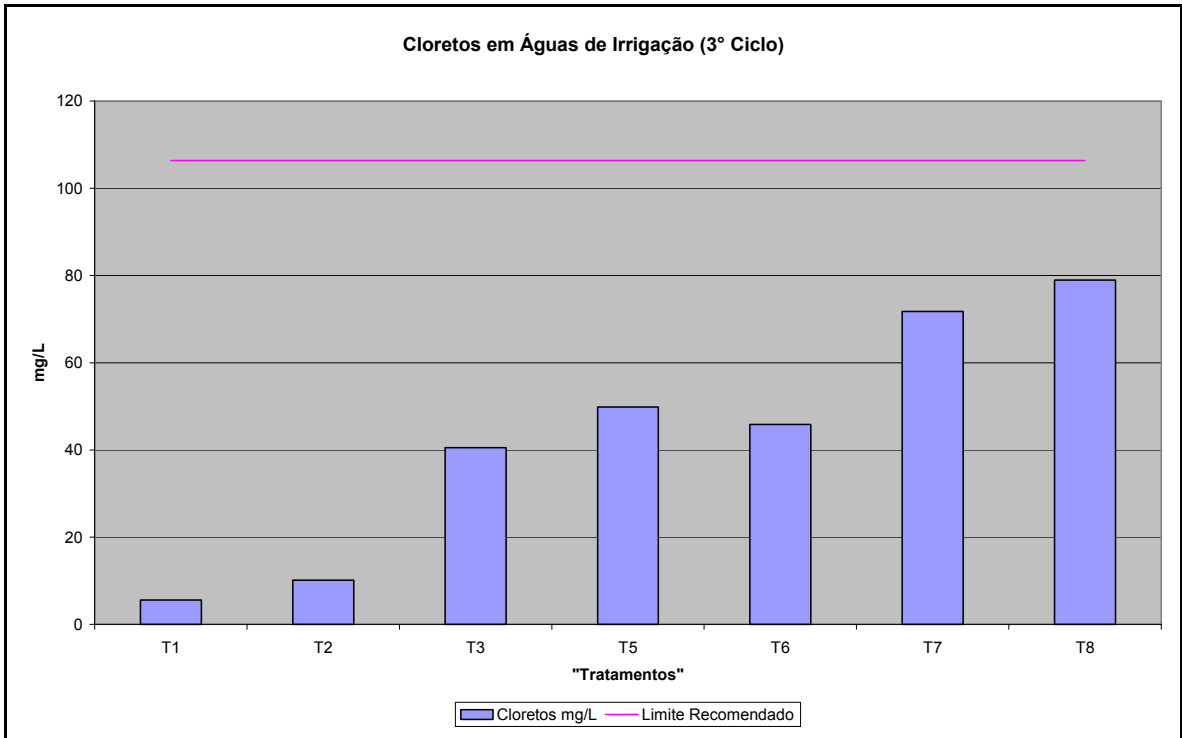


Figura 4.58 – Cloretos e o seu limite recomendado em águas de irrigação do 3º ciclo.

Os valores de DBO e DQO em águas de irrigação podem ser vistos na Figura 4.59. Todos os tratamentos ultrapassam os limites sugeridos pela USEPA (10 mg/L) e pela Califórnia (5mg/L) com relação à DBO. Maiores valores estão nos tratamentos T8, T3 e T7.

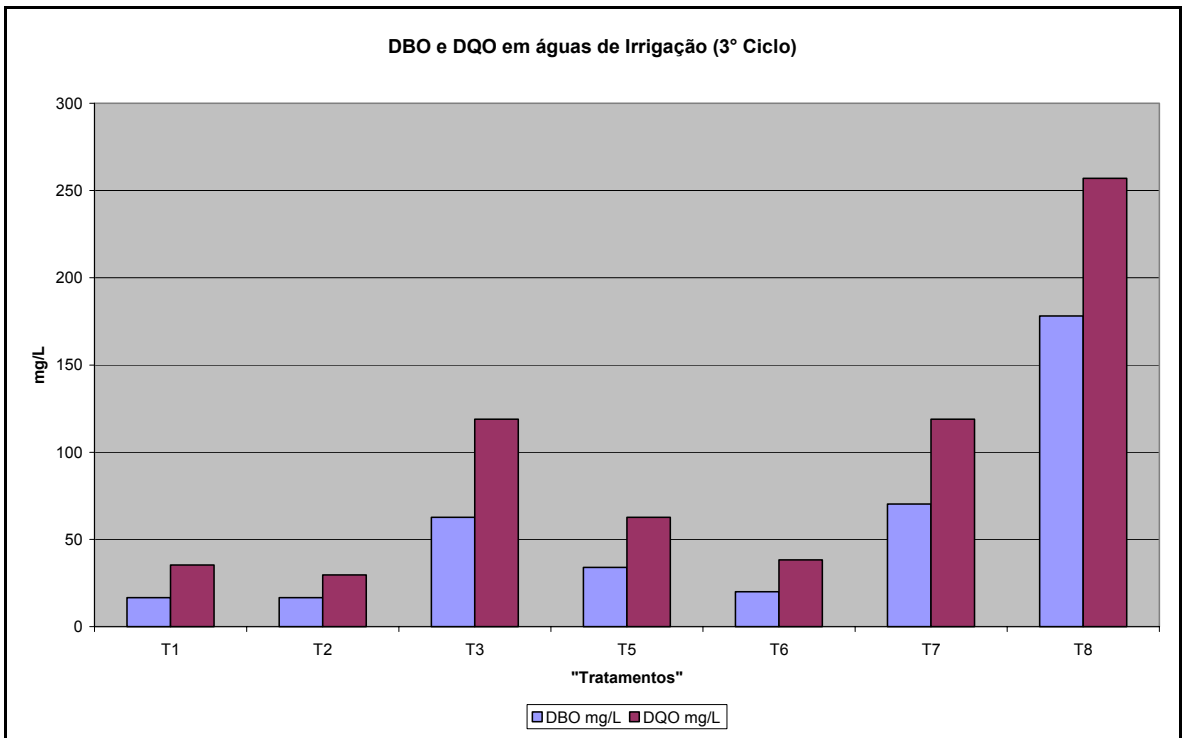


Figura 4.59 – DBO e DQO em águas de irrigação do 3º ciclo.

Com relação aos valores de Coliformes totais e termotolerantes, mostrados na Figura 4.60, nenhum tratamento atende ao recomendado com relação aos coliformes totais pela Califórnia (2 NMP/100mL) e com relação aos coliformes termotolerantes também nenhum tratamento atende às recomendações tanto da USEPA(ND) como da OMS (1000 NMP/100mL). Os maiores valores são atribuídos aos tratamentos T3, T7 e T8 sucessivamente.

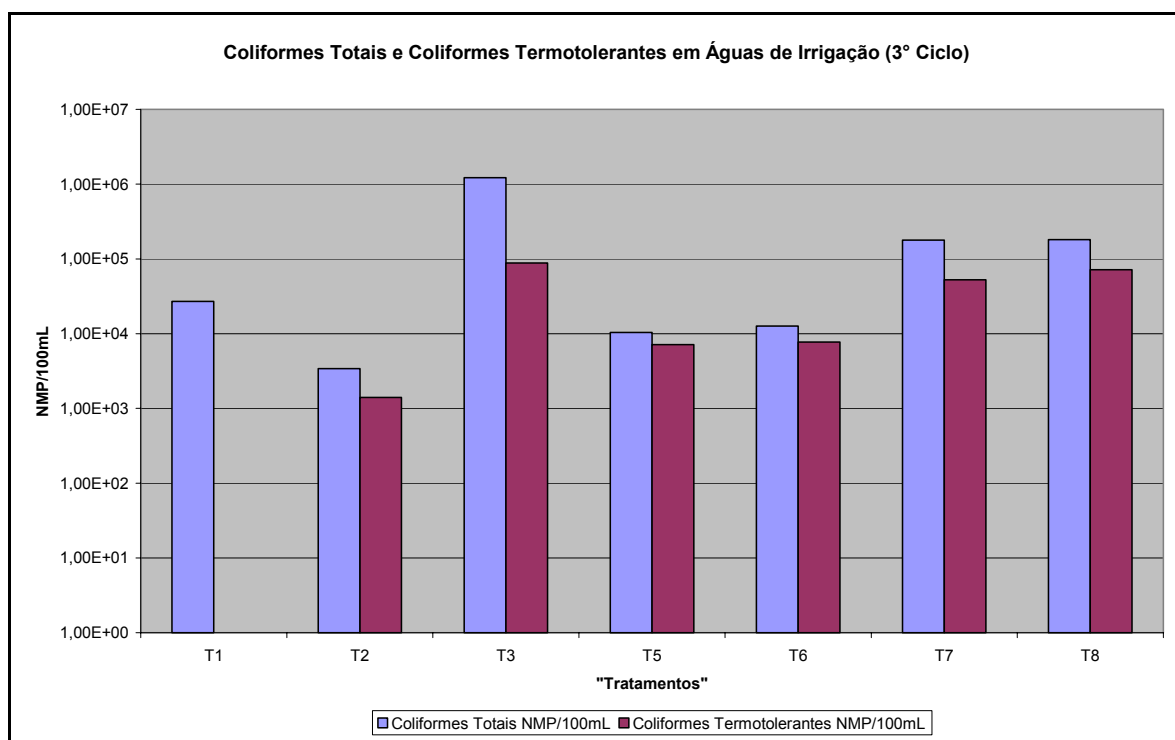


Figura 4.60 – Coliformes Totais e Termotolerantes em águas de irrigação do 3º ciclo.

A Figura 4.61 mostra os valores de nitrato e nitrito. Com relação ao nitrato, o tratamento T7 mostra-se com restrição de fraca a moderada (5-30 mg/L) segundo as recomendações de Ayers e Westcot (1985). Os valores de nitrito mostram-se maiores nos tratamentos T6, T5 e T8.

Os valores de Sólidos Totais, Sólidos Dissolvidos e Sólidos em Suspensão são mostrados na Figura 4.62.

Os valores de sólidos em suspensão se mostram muito superiores ao recomendado pela Califórnia (5mg/L). Os valores mais significativos são dos tratamentos T7 e T8.

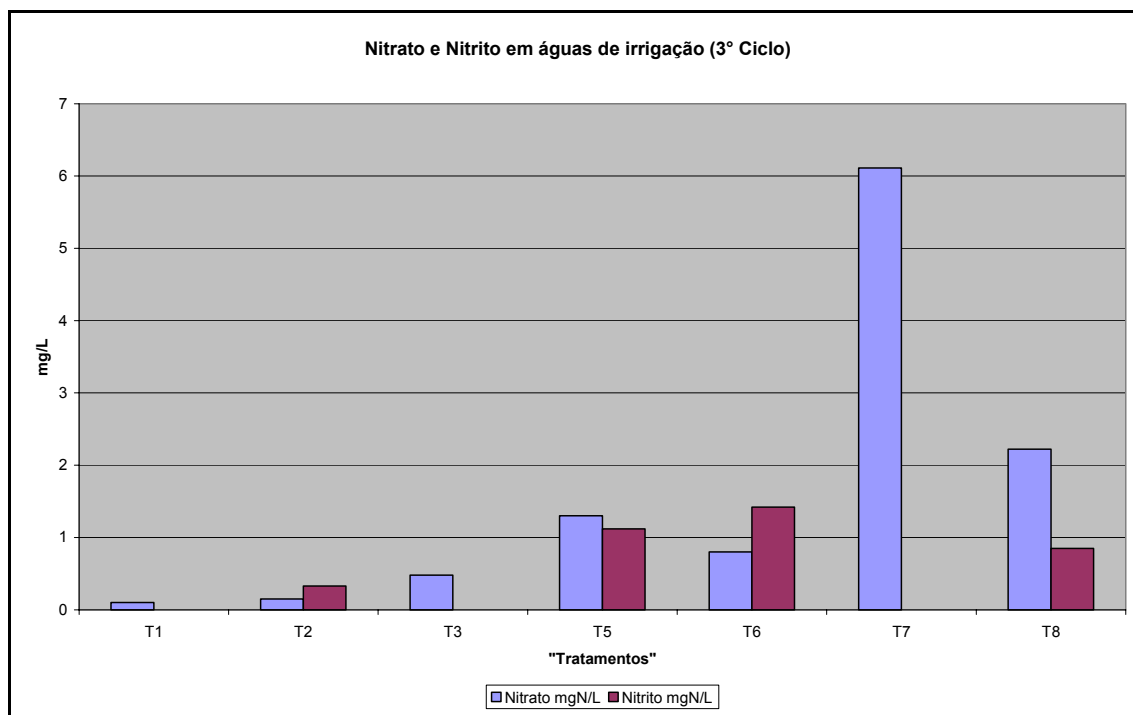


Figura 4.61 – Nitrato e Nitrito em águas de irrigação do 3º ciclo.

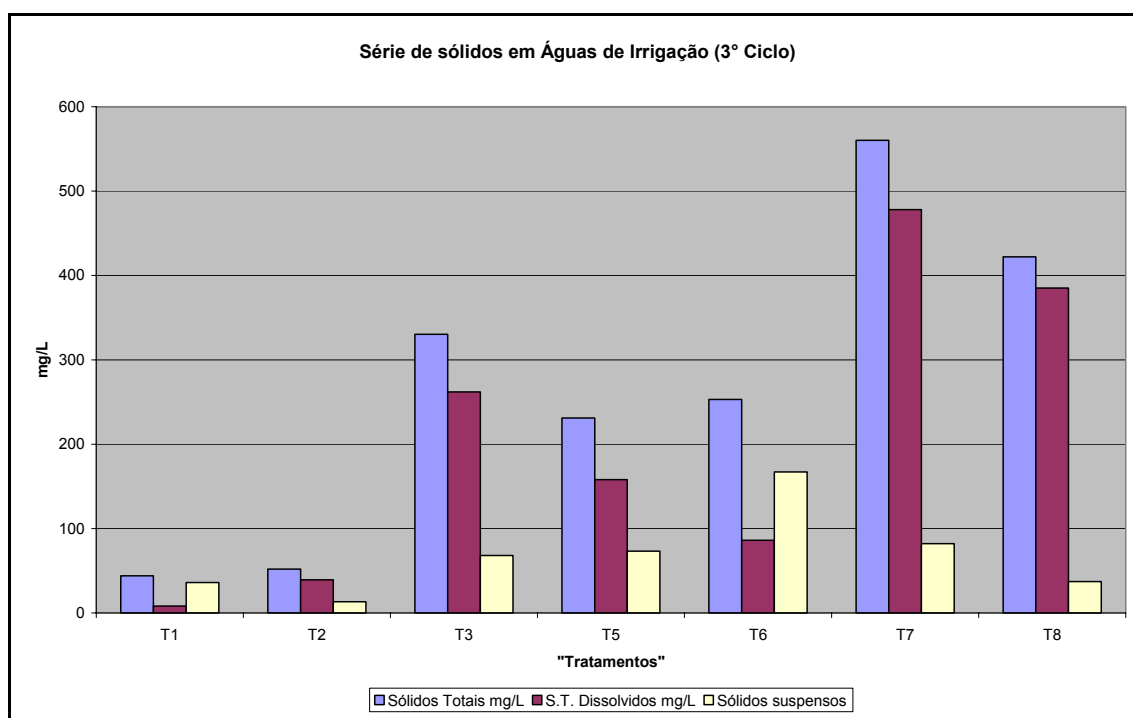


Figura 4.62 – Sólidos em águas de irrigação do 3ºCiclo.

4.3.3.2 - Águas Percoladas

Nesta seção serão mostrados valores médios dos dados de águas percoladas. Os dados completos obtidos das análises das águas percoladas no ciclo 3, podem ser visualizados no Apêndice 3B. No terceiro ciclo de cultura, decidiu-se realizar a “sobre-irrigação” para se

forçar a lixiviação em tempo de estiagem. Os resultados obtidos podem ser vistos nas Figuras 4.63, 4.64 e 4.65 que correspondem respectivamente a potássio, sódio cálcio e magnésio; elementos traços; e condutividade elétrica, alcalinidade e nitrogênio total.

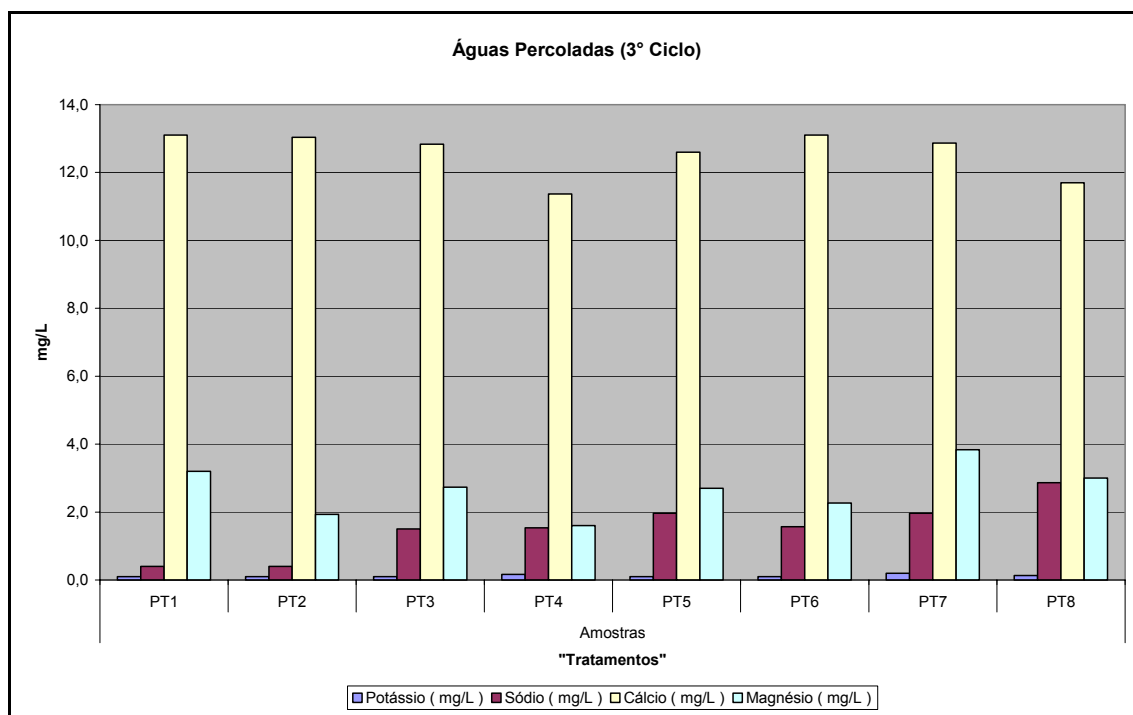


Figura 4.63 – Potássio, sódio, cálcio e magnésio em águas percoladas do 3º ciclo.

Para os dados de potássio, estes se mostraram em todos os tratamentos abaixo de 0,1 mg/L. Para o sódio os maiores valores apresentaram-se em T8, T5 e T7 sucessivamente e em torno de 2 mg/L. Com relação aos valores de cálcio, estes se mostraram em todos os tratamentos em torno de 12 mg/L, e com relação aos valores de águas de irrigação deste mesmo ciclo as concentrações de todos os tratamentos estão mais elevadas nas águas percoladas. O mesmo ocorre para o magnésio, mas a sua concentração nos tratamentos aparece em torno de 2 mg/L. Percebe-se, portanto, que as concentrações destes elementos aumentariam mesmo após percolarem por cerca de 70 cm, que é a camada de solo em cada recipiente.

Quanto aos metais na águas percoladas, alguns têm valores que ultrapassam os limites recomendados pela CESTESB em suas recomendações. É o caso do níquel, cobalto chumbo e cádmio para todos os tratamentos. Para o alumínio os valores que ultrapassam o limite são de T2, T4, T7 e T8. Para o ferro, apenas o T2 ultrapassa esse limite. Acerca dos valores de condutividade elétrica (CE), estes são menores que nas águas de irrigação com

exceção do tratamento T1 cuja CE é cerca de 300% maior nas águas percoladas (200 $\mu\text{S}/\text{cm}$) que nas águas de irrigação (50 $\mu\text{S}/\text{cm}$) deste ciclo. Também são maiores os valores dos percolados quando comparado com as águas de irrigação em relação aos valores de alcalinidade de T1 e T2.

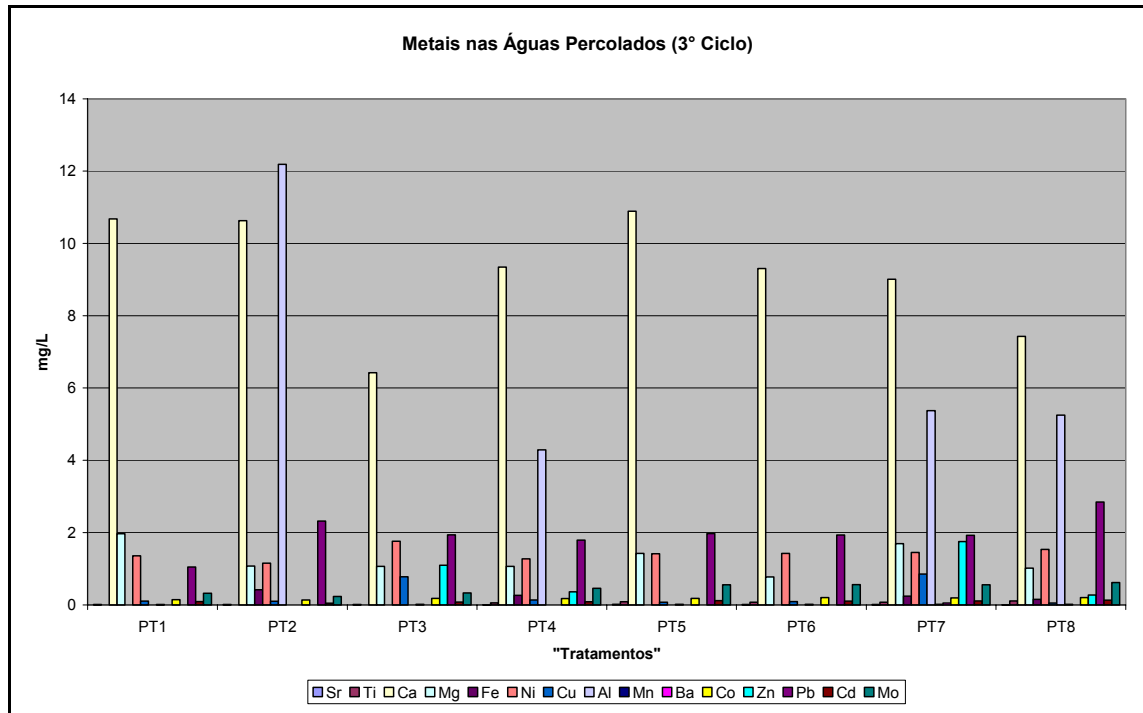


Figura 4.64 – Metais em águas percoladas do 3º ciclo.

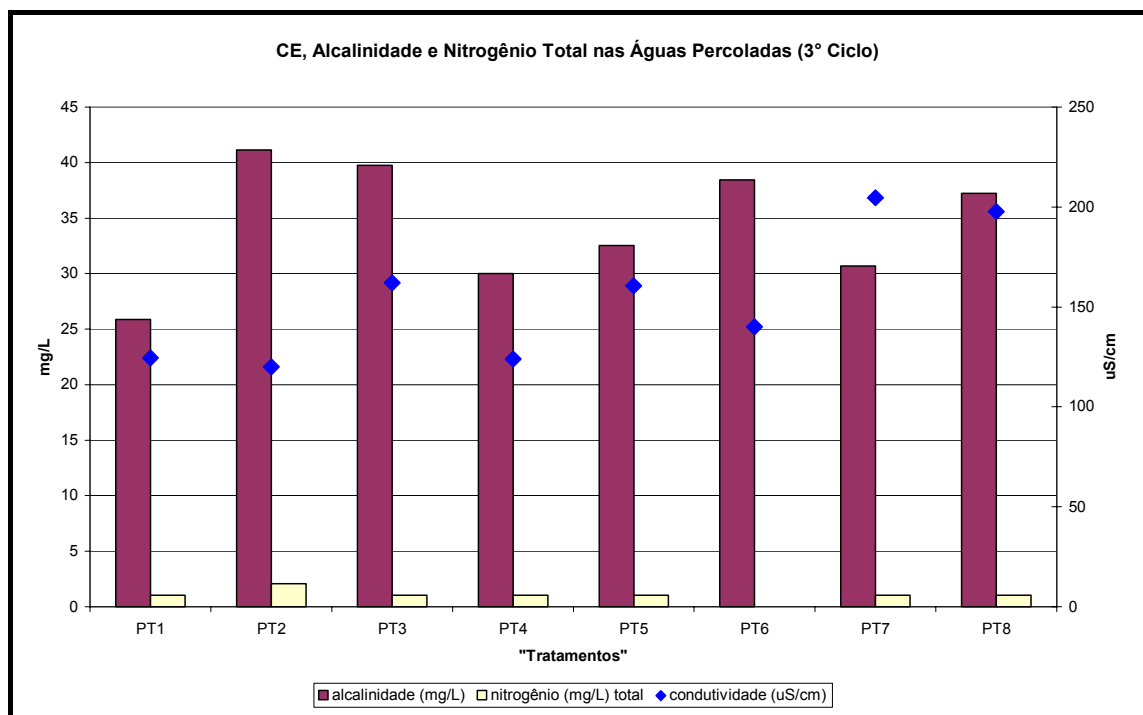


Figura 4.65 – Alcalinidade, nitrogênio total e CE em águas percoladas do 3º ciclo.

4.3.3.3 - Solos

Nesta seção serão mostrados valores médios dos dados de análises de solos. Os dados completos das análises de solos no ciclo 3, podem ser visualizados no Apêndice 3C. As Figuras 4.66, 4.67, 4.68 e 4.69 trazem os resultados obtidos no Laboratório LQAA com as mesmas amostras de solo das Figuras 4.70, 4.71 e 4.72 que foram feitas no Laboratório Soloquímica, enfocando outros parâmetros. Foram feitas análises no início e no final do ciclo apenas no laboratório Soloquímica.

Para análises do laboratório LQAA, diferentemente do 1º ciclo, percebe-se que os valores de cálcio, magnésio, em g/Kg, mostrados na Figura 4.66, são maiores em T4, T3 e T8 e os menores valores foram em T5. Com relação ao pH (Figura 4.67), manteve-se em torno de 6 em todos os tratamentos. O teor de matéria orgânica, entretanto, mostra-se maior em T7, T1, T2 e T5. Os valores de ferro foram maiores em T8, T2 e T5. Os valores de cobre não foram detectados em nenhum tratamento. Os valores de alumínio são maiores em T8, T1 e T6. Os valores de manganês mantiveram-se semelhantes em todos os tratamentos variando de 0,016 a 0,013 g/Kg. Já o zinco mostra-se presente apenas em T1. Esses dados podem ser vistos na Figura 4.68. Para este ciclo foram feitas análises de nitrato, amônia e juntamente com o fósforo podem ser vistos na Figura 4.69. É pertinente destacar que o nitrato em T1 foi encontrado em valores muito maiores que em todos os outros tratamentos, chegando a ser cerca de 10 vezes maior que em T2, por exemplo.

Pelas análises do laboratório Soloquímica, conforme Figura 4.70, os valores de cálcio aumentaram em T3, T5 e T7; os de magnésio apenas aumentaram no tratamento T1; os valores de sódio decaíram em T5 e T8; o valor de potássio aumentou em T7, de 0,17 a 0,2. Diferentemente, o valor de acidez total manteve-se entre 3 e 4,3 mE/100mL considerando-se todos os tratamentos e os valores de CTC apenas aumentaram em T1 e T6.

Na Figura 4.71, é mostrado os valores de matéria orgânica, carbono orgânico e fósforo em solos no 3º ciclo. Percebe-se, semelhante ao 1º ciclo, um decréscimo dos teores de matéria e carbono orgânico em todos os tratamentos, com exceção do T6 que manteve-se constante. Já o elemento fósforo, se mostrou menor no final do ciclo em todos os tratamentos.

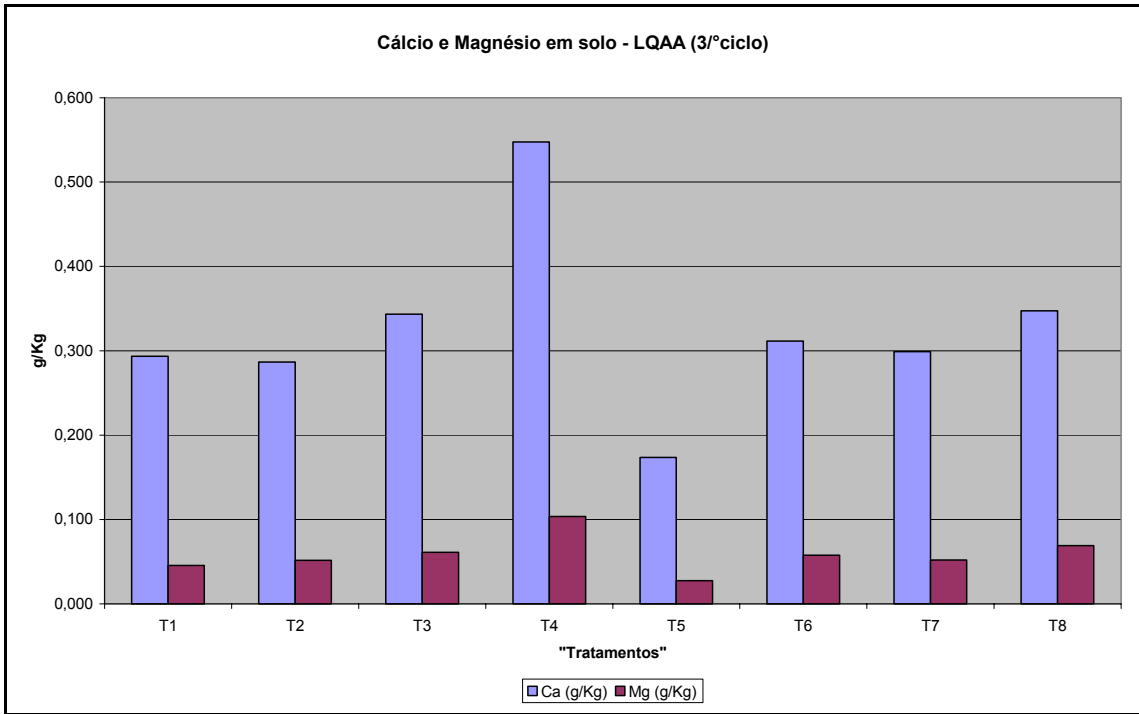


Figura 4.66 – Cálcio e Magnésio em Solos no 3º ciclo (LQAA)

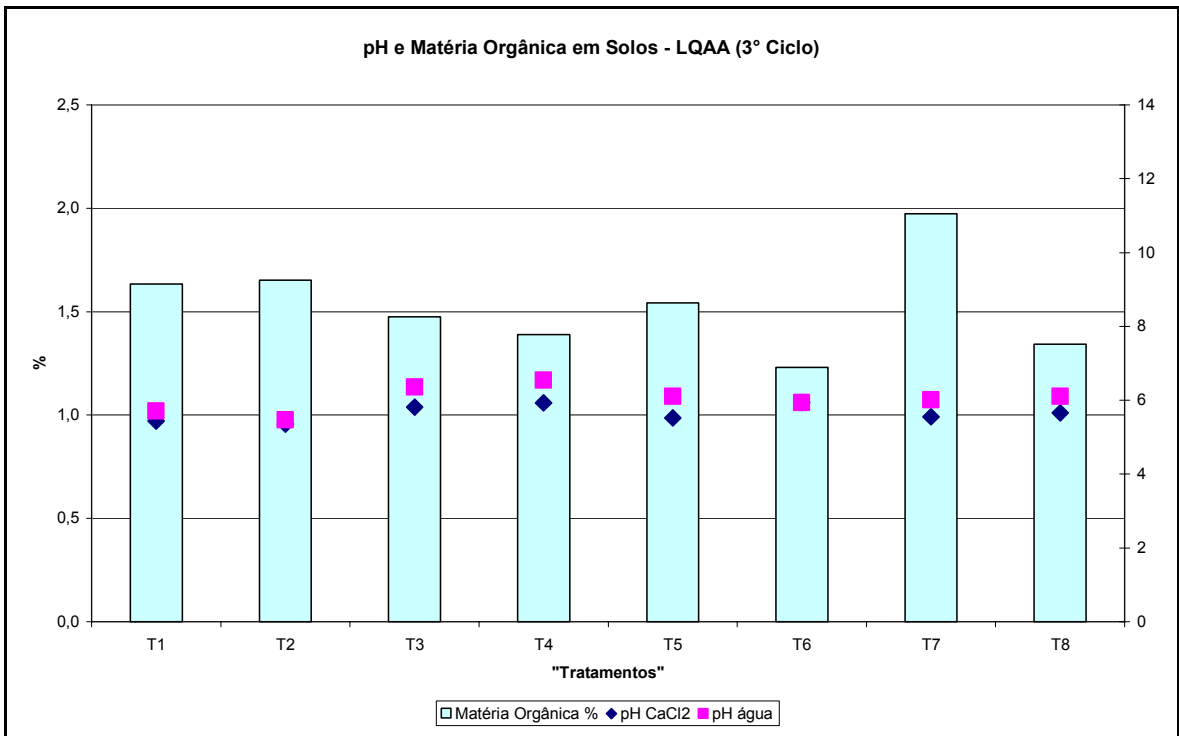


Figura 4.67 – pH e Matéria Orgânica em Solos no 3º ciclo (LQAA)

Já a Figura 4.72 mostra os valores de saturação de alumínio, saturação de bases e pH em solos em todos os tratamentos do 3º ciclo. O pH manteve-se na faixa entre 5,4 e 6. Não

obteve-se percentuais de saturação de alumínio em nenhum tratamento. A saturação de bases apenas em T2, T4, T5 e T8 não aumentou no final do ciclo.

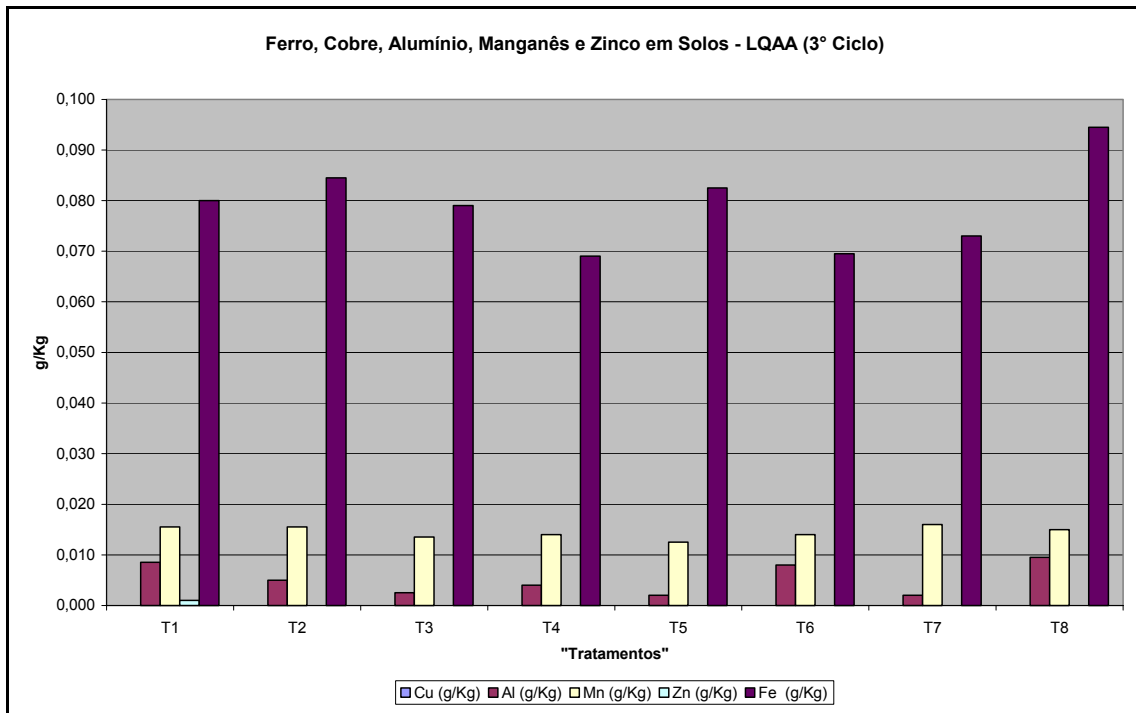


Figura 4.68 – Ferro, cobre, alumínio, manganês e zinco em Solos no 3º ciclo (LQAA)

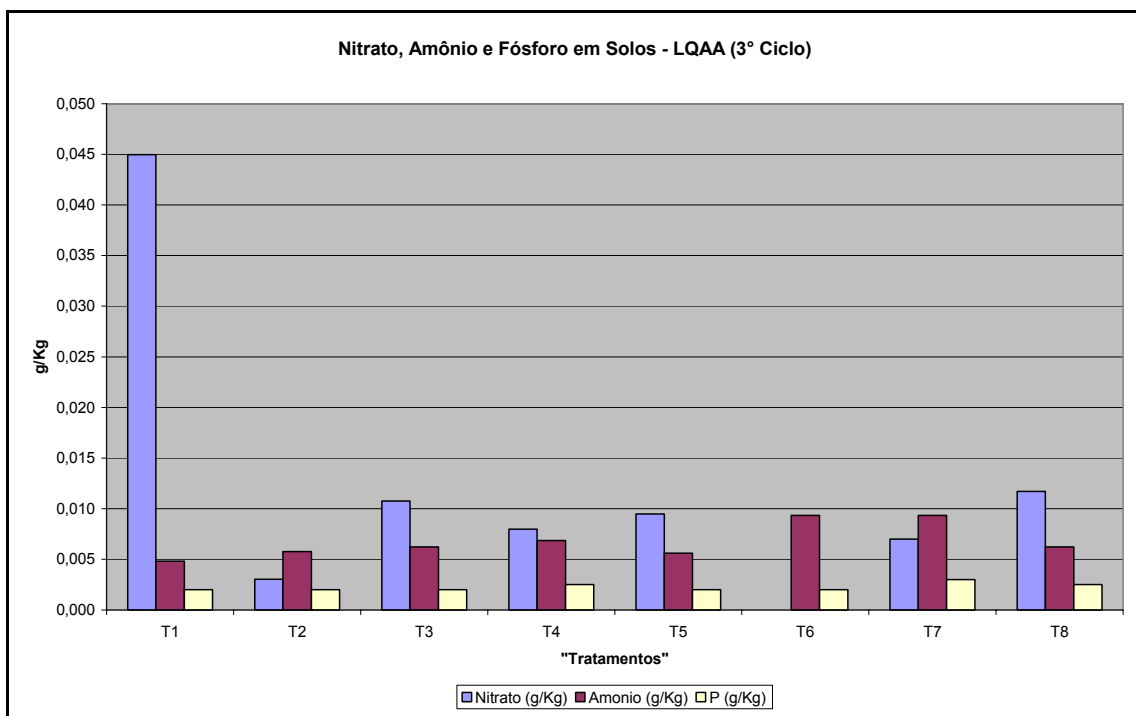


Figura 4.69 – Nitrato, Amônia e Fósforo em Solos no 3º ciclo (LQAA)

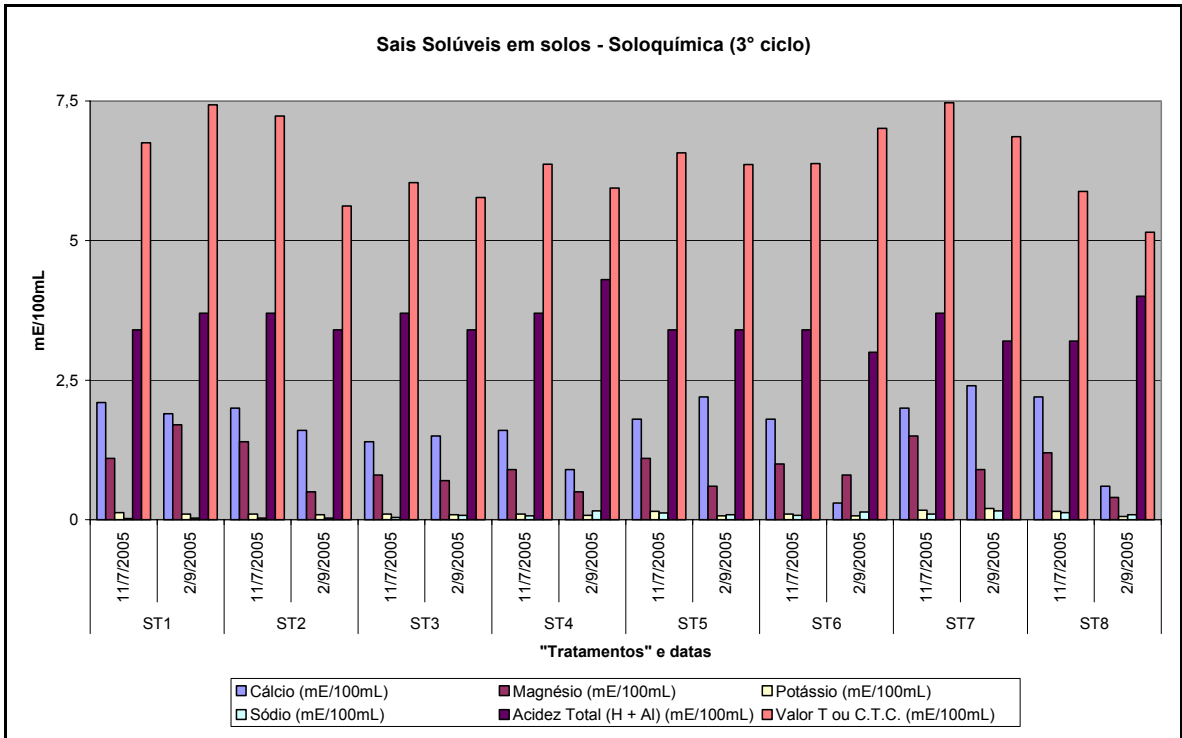


Figura 4.70 – Sais Solúveis em solos no 3º ciclo (Soloquímica)

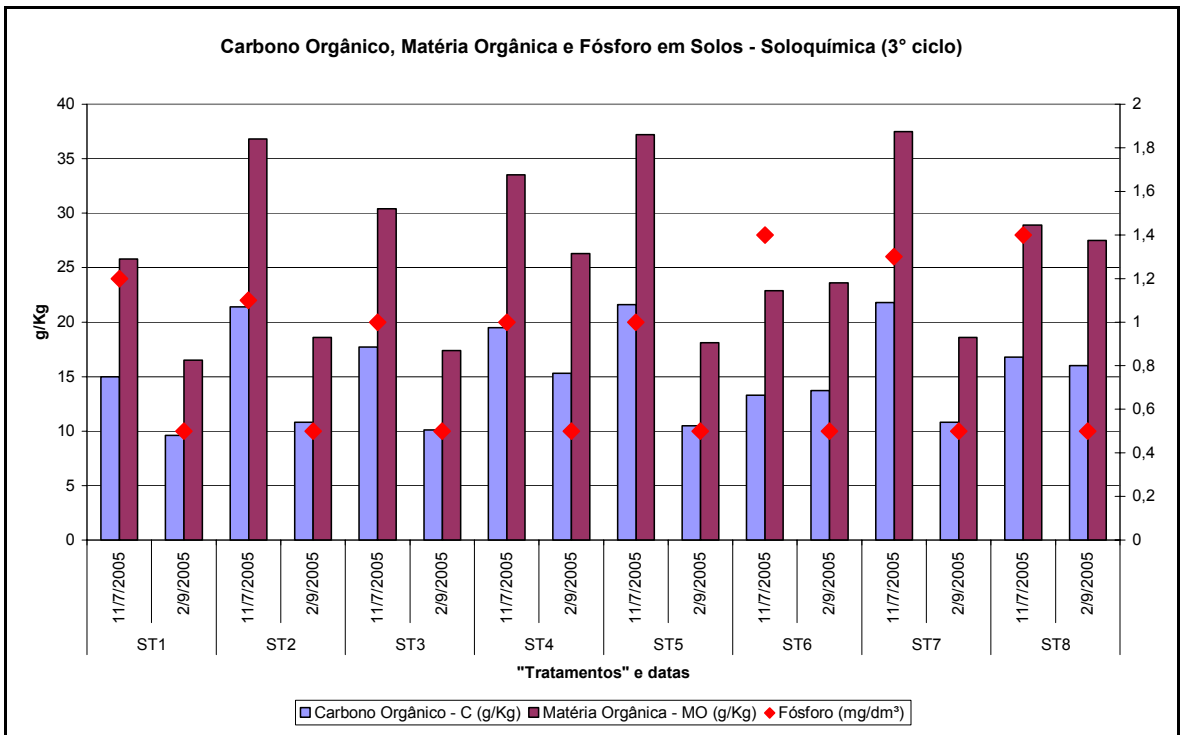


Figura 4.71 – Carbono Orgânico, Matéria Orgânica e Fósforo em solos no 3º ciclo (Soloquímica)

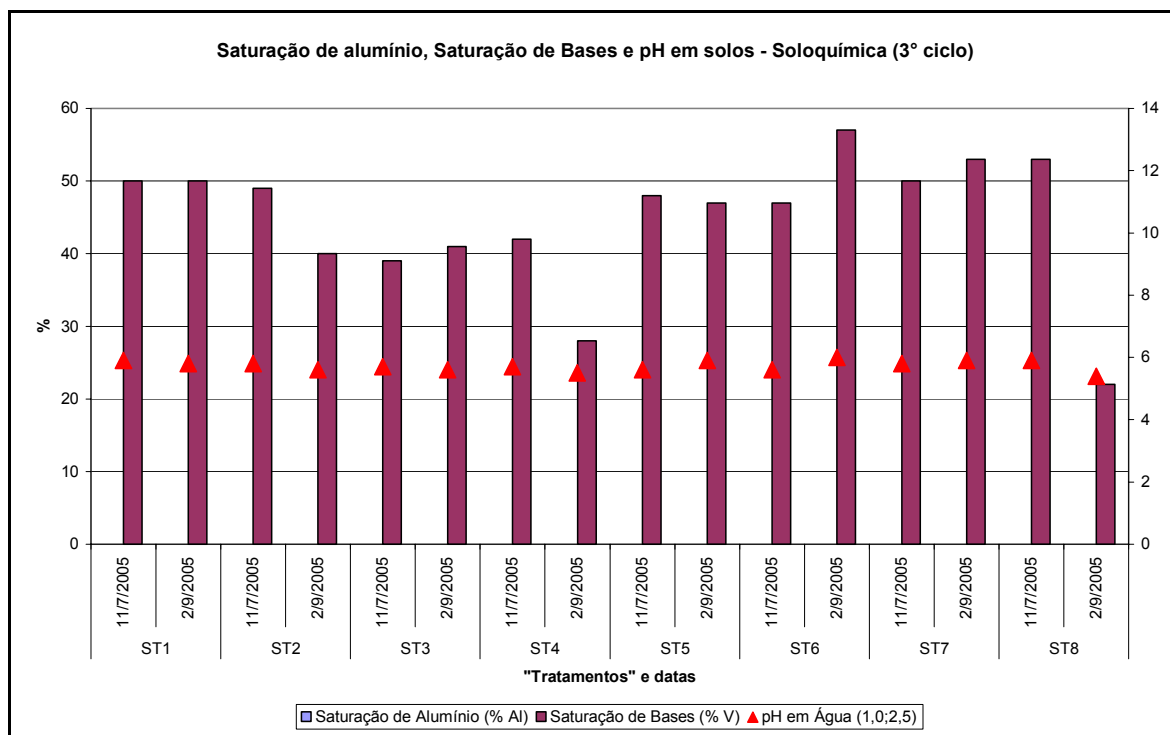


Figura 4.72 – Saturação de Alumínio, Saturação de Bases e pH em solos no 3º ciclo (Laboratório Soloquímica)

4.3.3.4 - Plantas

Para o terceiro ciclo foi feita uma média da composição química das plantas e raízes em dois períodos, no início e término do ciclo. Comparando as folhas no início e final do terceiro observou-se que a concentração de fósforo nas folhas das plantas aumentou em todos os tratamentos. Também se pode verificar que os teores de Potássio e Cobre aumentaram ao longo desse ciclo, com exceção do T1 que diminuiu em 3 vezes o valor do Cobre. Devido ao excesso de chuva não foi possível comparar o comportamento das folhas no que tange ao estado nutricional delas.

Com as raízes das plantas observou-se diminuição nas concentrações de Fósforo e Cobre ao final do terceiro ciclo, exceto a concentração de Fósforo de T8 que teve uma pequena elevação.

4.3.4 - Ciclo 4 (03/10/2005 – 03/01/2006)

4.3.4.1 - Águas de Irrigação

Nesta seção serão mostrados valores médios dos dados de água de irrigação. Os dados completos obtidos das análises das águas de irrigação no ciclo 4, podem ser visualizados no Apêndice 4a. Nos dados de águas de irrigação não se apresenta os valores do tratamento T4, que se trata da diluição do tratamento T3 com o tratamento T6.

Para o quarto ciclo não foram feitas análises de águas de irrigação no laboratório Soloquímica, pois a precipitação foi intensa durante o período deste ciclo e foram poucas as vezes que se irrigou com efluente. Pode-se, no entanto, verificar um aumento na concentração de Cálcio em todos os tratamentos, exceto T8 que se manteve próximo ao terceiro ciclo. Houve aumento também na concentração de Alumínio nos tratamentos T6 e T7.

Na Figura 4.73 pode-se visualizar os valores de Estrôncio, Chumbo, Bário, Manganês e Silício e na Figura 4.74 pode-se ver os valores de Cálcio, magnésio, ferro, alumínio e fósforo em águas de irrigação do 4º ciclo. Nenhum tratamento ultrapassou os limites para ferro, magnésio e alumínio. Para os valores de cálcio, os tratamentos não apresentaram nenhuma restrição ao uso. Já para os valores de fósforo, têm-se os tratamentos T3, T7 e T8 com valores acima da faixa usual recomendada.

Alguns elementos traços também foram medidos em águas de irrigação do 4º ciclo, e seus valores podem ser visualizados na Figura 4.75. Alguns foram detectados. Destacam-se a presença de 0,015 mg/L de cádmio no tratamento T7, que se encontra acima das recomendações segundo Ayers e Westcot (1985) para águas de irrigação que tem como limite máximo recomendado 0,01 mg/L. No efluente do tratamento T7 também foi detectado a presença de 0,038 mg/L de Lantânio; 0,017 mg/L de titânio e 0,051 mg/L de Zinco. Outro destaque se dá pela presença de 0,325 mg/L de níquel no tratamento T1, que fica acima dos limites recomendados, que é de 0,2 mg/L.

Os valores de Condutividade Elétrica, alcalinidade e nitrogênio total em águas de irrigação do 4º ciclo são apresentados na Figura 4.76. O valor da Condutividade Elétrica no tratamento T7, o impõe uma restrição de fraca à moderada ao uso, segundo Tabela 1 do Apêndice 6. Ao que diz respeito do nitrogênio total, os valores dos tratamentos T3, T7 e T8 ultrapassam o limite recomendado para este parâmetro segundo as normas de reúso agrícola paisagístico da Califórnia, que é de 10 mg/L.

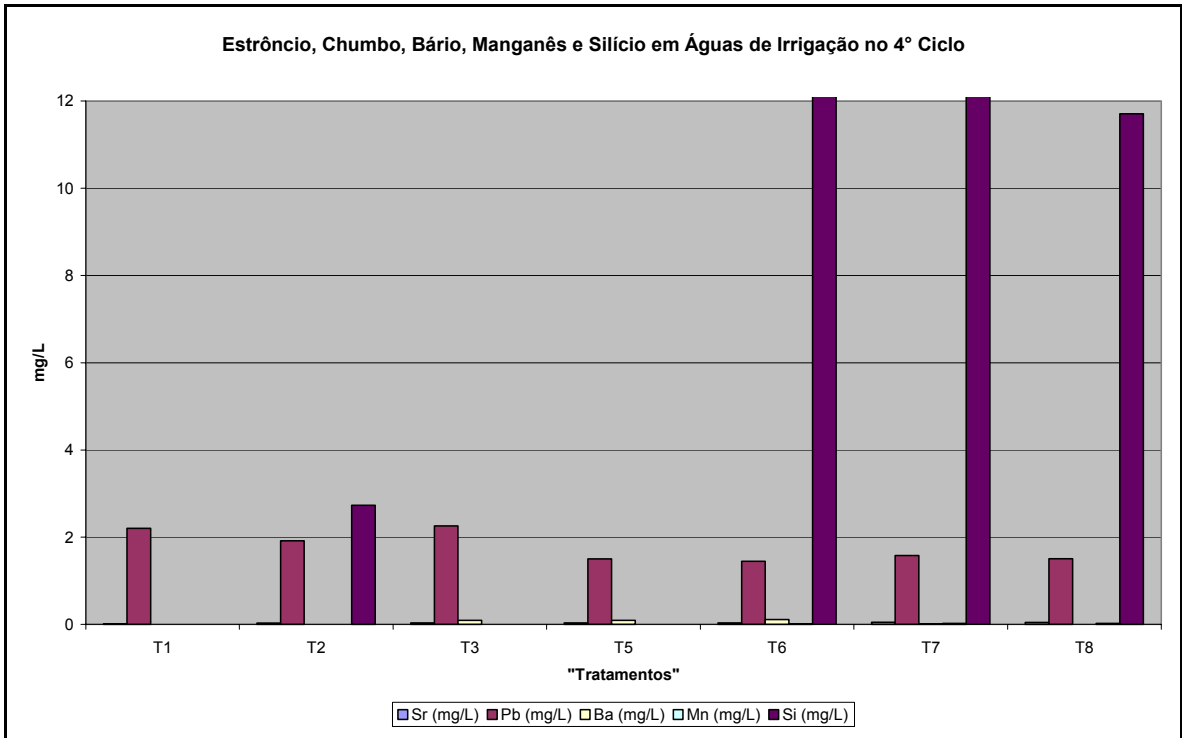


Figura 4.73 – Estrôncio, Chumbo, Bário, Manganês e Silício em Águas de irrigação do 4º ciclo.

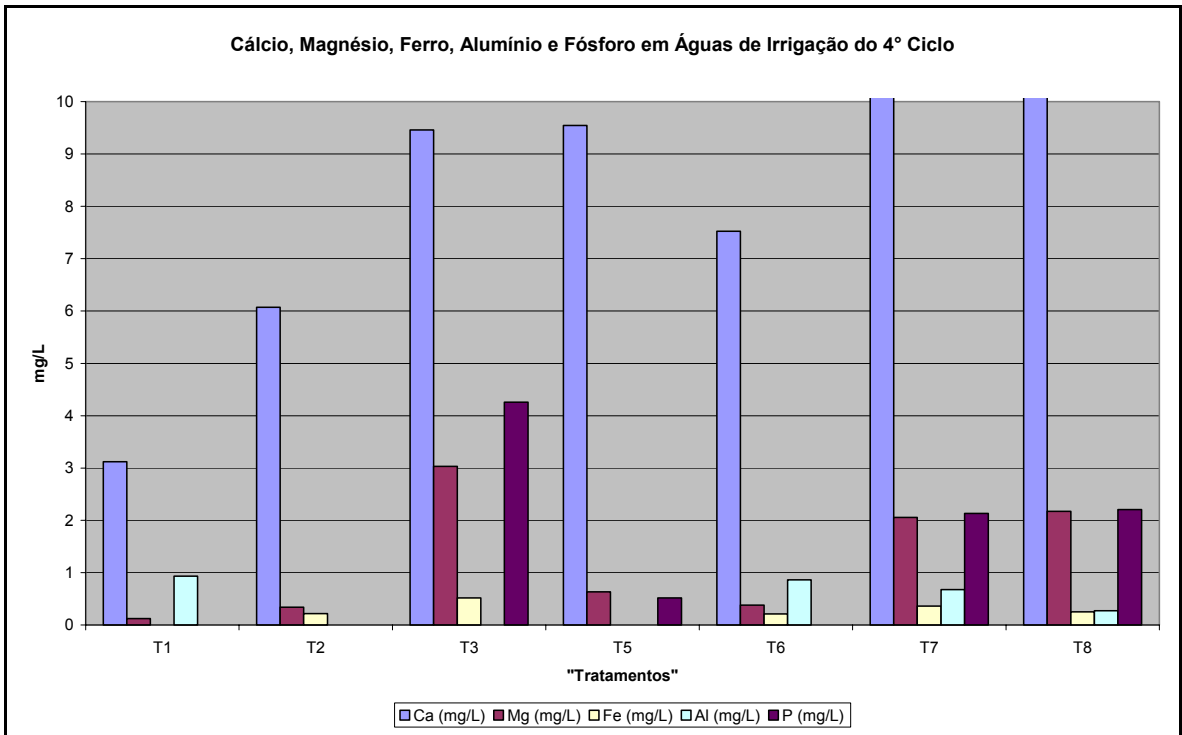


Figura 4.74 – Cálcio, magnésio, ferro, alumínio e fósforo em águas de irrigação do 4º ciclo.

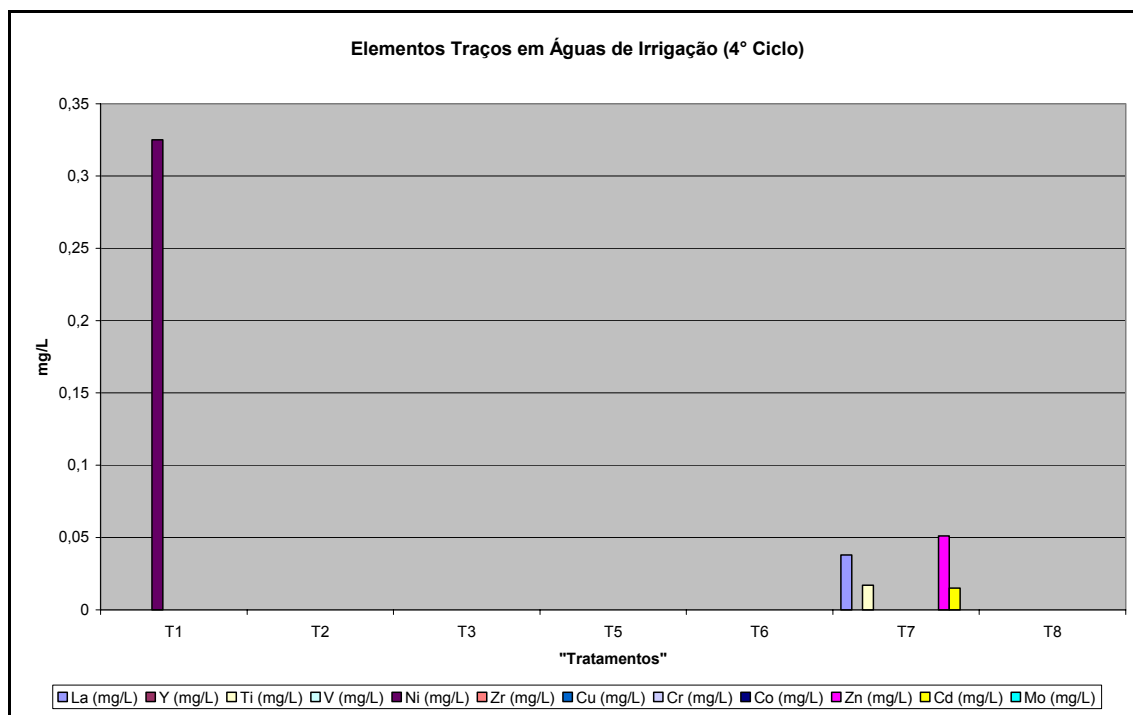


Figura 4.75 – Elemento Traços em águas de irrigação do 4º ciclo.

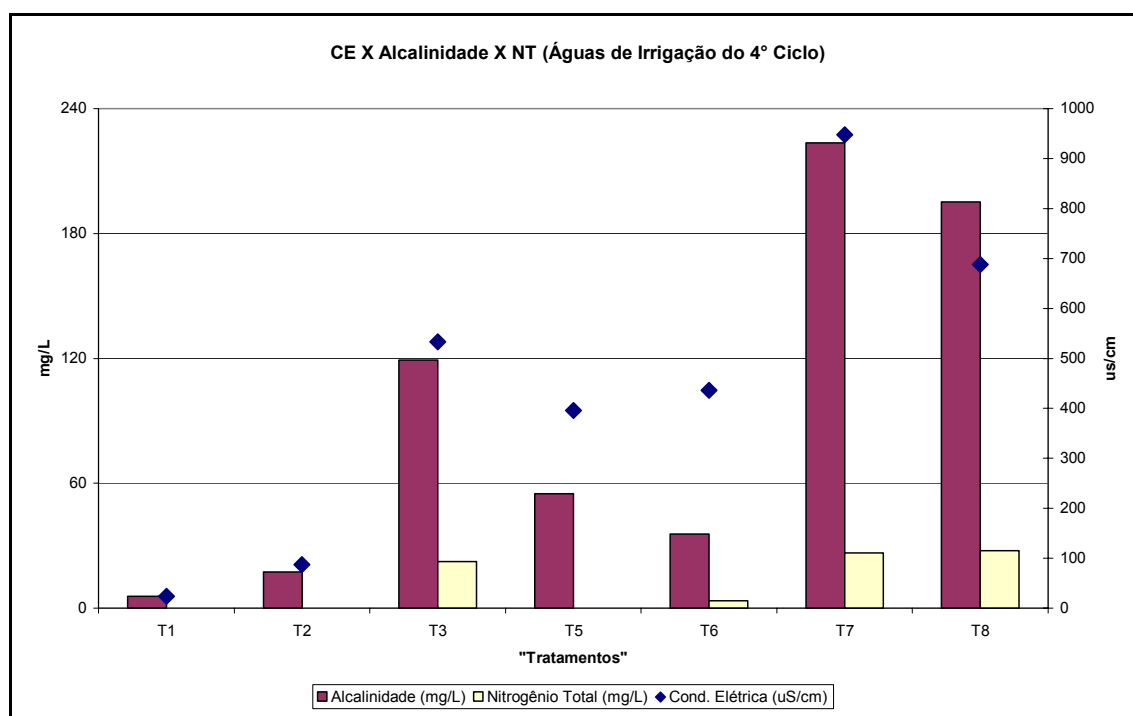


Figura 4.76 – Cond. Elétrica, Alcalinidade e Nitrogênio em águas de irrigação do 4º ciclo.

4.3.4.2 - Águas Percoladas

Nesta seção serão mostrados valores médios dos dados de águas percoladas. Os dados completos obtidos das análises das águas percoladas no ciclo 4, podem ser visualizados no Apêndice 4B.

Os dados de águas percoladas do 4º ciclo são mostrados na Figuras 4.77, 4.78, 4.79, 4.80, 4.81 e 4.82 que correspondem respectivamente a valores de metais nas duas primeiras; cálcio, magnésio, silício e alumínio; fósforo e nitrogênio total; alcalinidade e CE e pH. As concentrações em percolados que ultrapassam as recomendações da CETESB são mostradas na Tabela 4.7 para os respectivos tratamentos. Os números destacados são os valores que ultrapassam os limites.

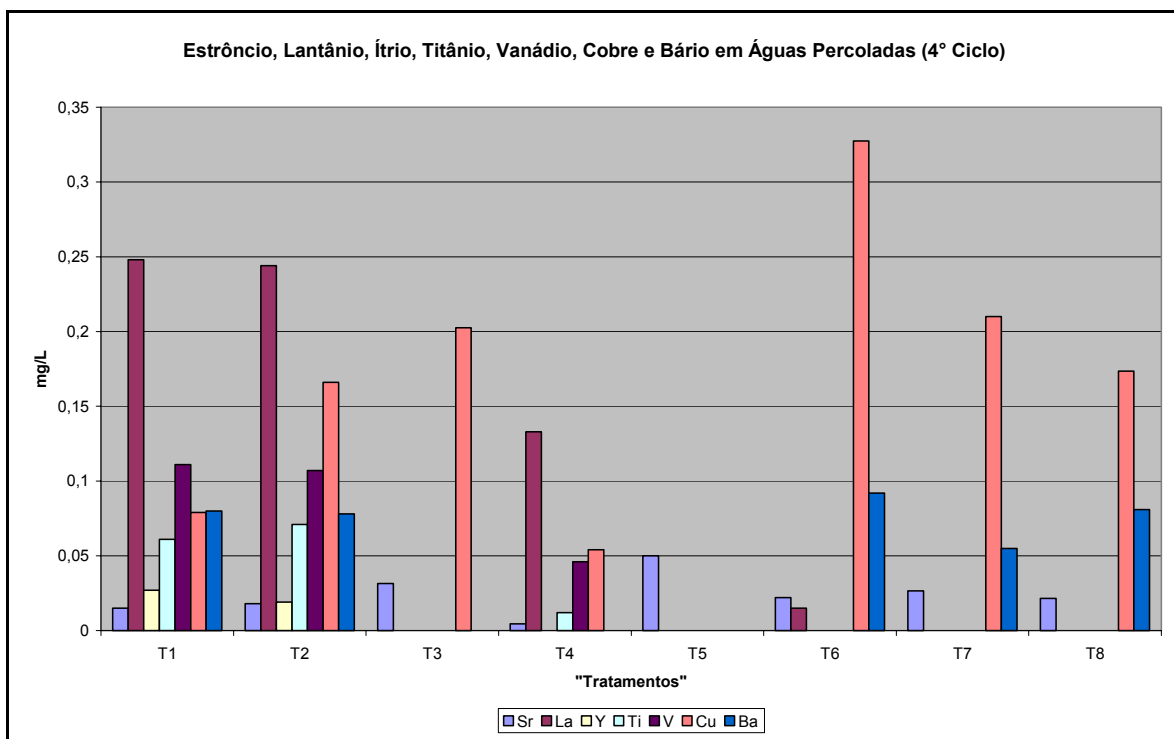


Figura 4.77 – Metais em águas percoladas do 4º ciclo.

Para os valores de cálcio nota-se que houve redução de valores das águas de irrigação em relação aos percolados apenas em T3 e T4 de cerca de 40% e 32% respectivamente. Para os outros tratamentos as concentrações de cálcio nos percolados foram majoradas. Em respeito ao magnésio ocorre o mesmo assim como no ciclo 3. Apenas T3 e T4 tiveram as concentrações de magnésio reduzidas cerca de 63% e 3%. Para o silício, as maiores concentrações encontram-se em T1, seguido de T7, T4 e T8.

Tabela 4.7 – Elementos que ultrapassam os valores orientadores para água subterrânea para o estado de São Paulo segundo CETESB (2005) para o 4º ciclo em mg/L

Elemento	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Limites pela CETESB
Fe	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,324	0,254	0,3
Ni	0,479	0,49	<LD	<LD	0,463	<LD	0,331	0,313	0,02
Al	3,048	1,471	<LD	<LD	0,959	0,5435	1,1525	1,415	0,2
Cr	0,12	0,085	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,024	0,05
Co	0,146	0,086	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,093	0,005
Pb	<LD	1,249	<LD	<LD	<LD	<LD	0,813	2,024	0,01
Cd	0,104	0,06	<LD	0,042	<LD	<LD	<LD	0,056	0,005
Mo	1,158	0,798	0,226	0,567	<LD	<LD	<LD	<LD	0,07

XX – Valores que ultrapassam os limites.

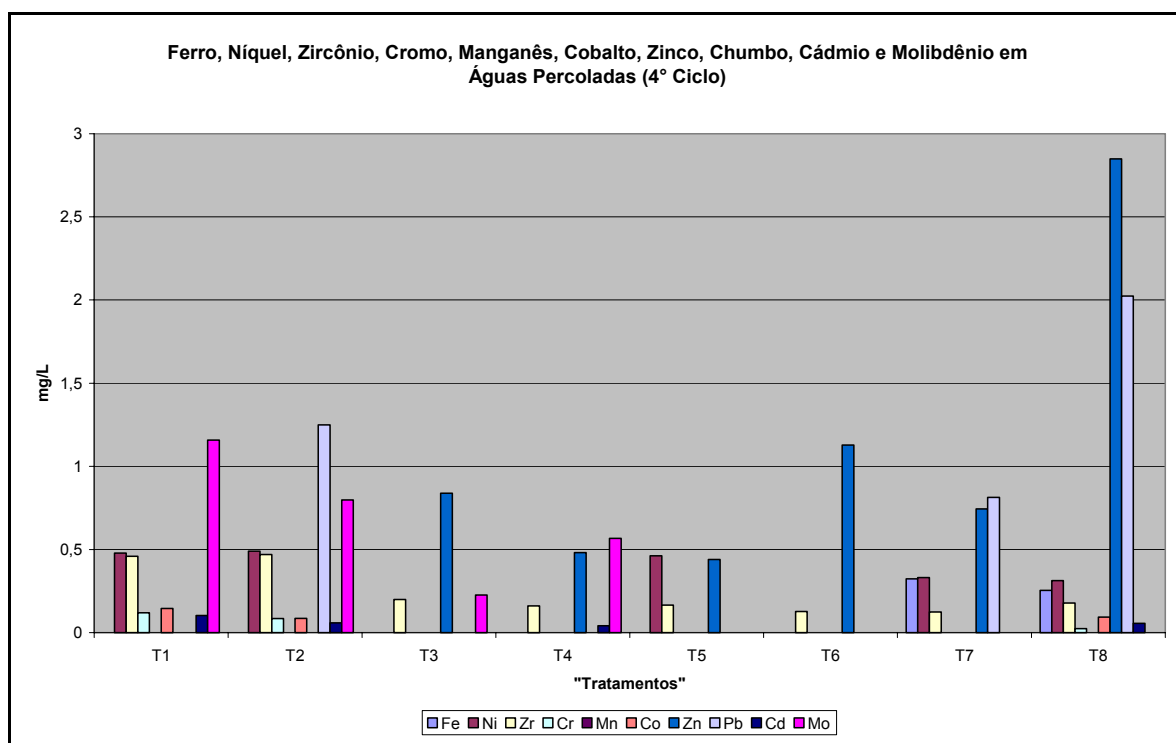


Figura 4.78 – Metais em águas percoladas do 4º ciclo.

Valores de nitrogênio total não foram encontrados e os de fósforo total apenas em T1 e T2 com aproximadamente 0,25 mg/L.

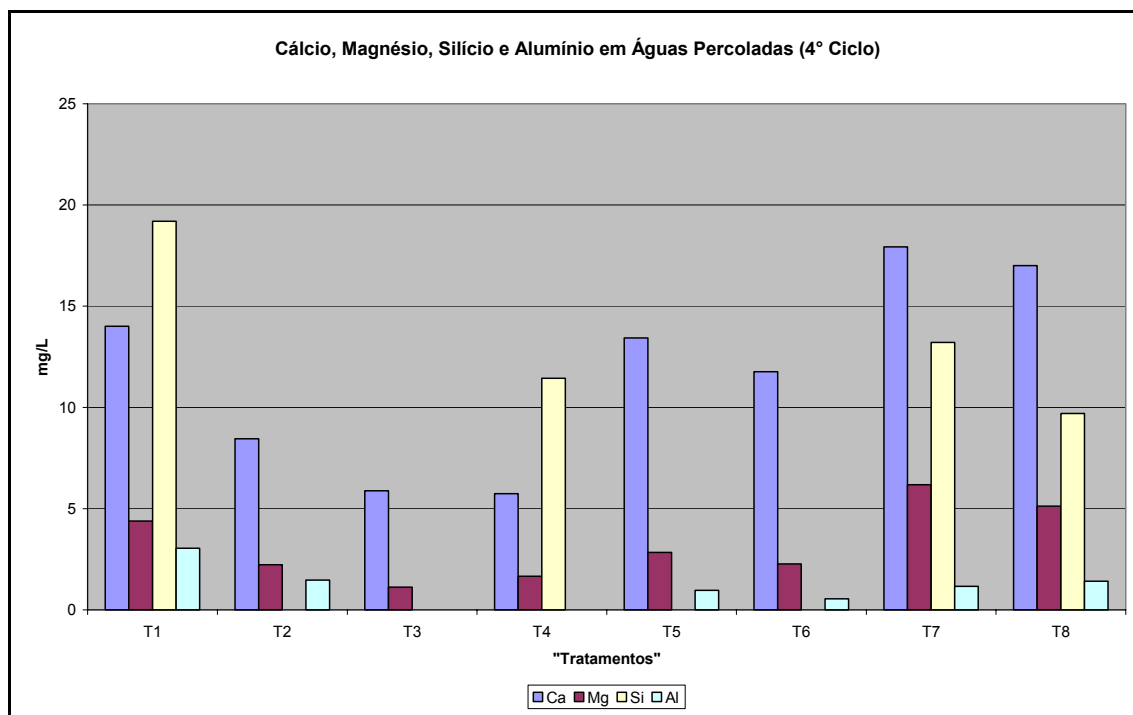


Figura 4.79 – Cálcio, magnésio, silício e alumínio em águas percoladas do 4º ciclo.

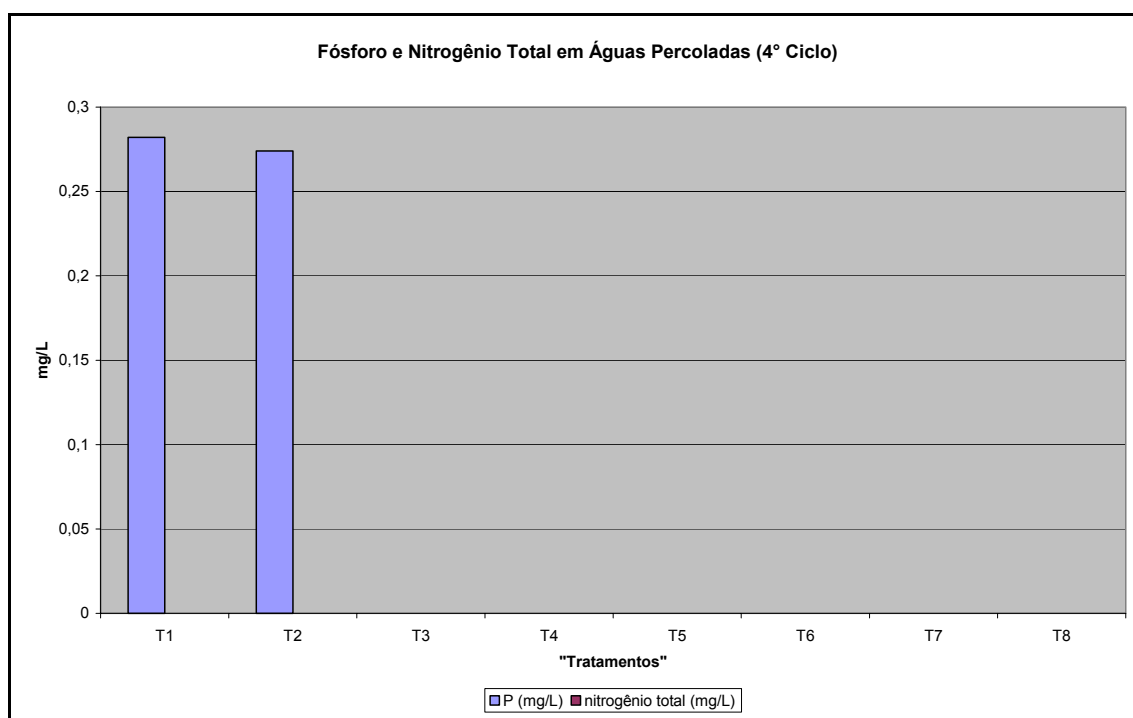


Figura 4.80 – Fósforo e Nitrogênio total em águas percoladas do 4º ciclo.

Em relação aos valores de alcalinidade, obtiveram-se maiores valores em percolados quando comparados com águas de irrigação em T1 e T2.

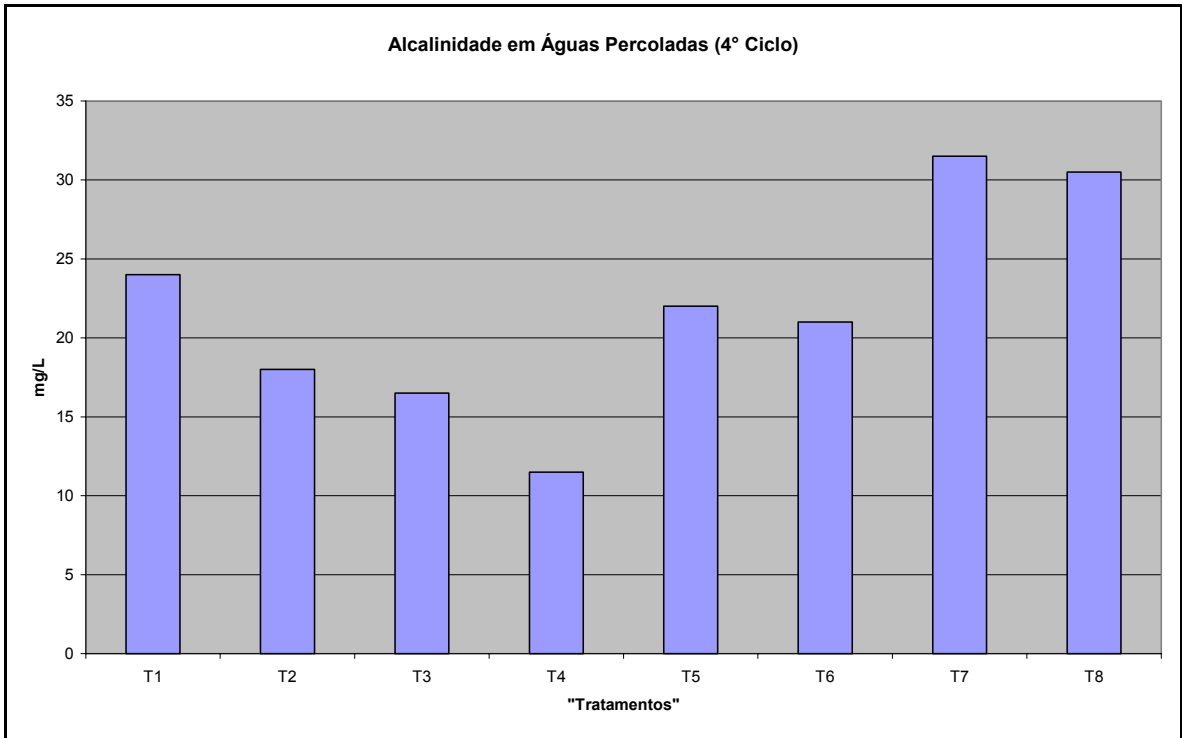


Figura 4.81 – Alcalinidade em águas percoladas do 4º ciclo.

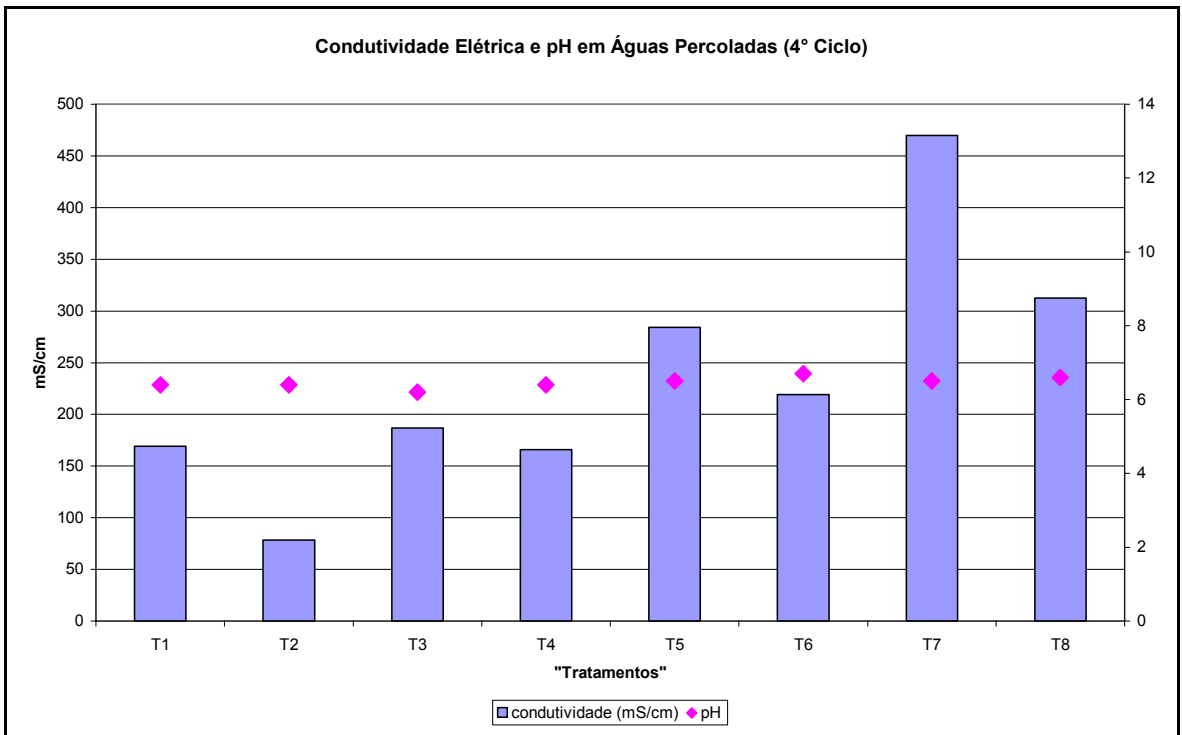


Figura 4.82 – Condutividade elétrica e pH em águas percoladas do 4º ciclo.

4.3.4.3 - Solos

Nesta seção serão mostrados valores médios dos dados de análises de solos. Os dados completos das análises de solos no ciclo 4, podem ser visualizados no Apêndice 4C. As Figuras 4.83, 4.84 e 4.85 trazem os resultados obtidos no Laboratório LQAA com as mesmas amostras de solo das Figuras 4.86, 4.87 e 4.88 que foram feitas no Laboratório Soloquímica, enfocando outros parâmetros. Foram feitas análises no início e no final do ciclo apenas no laboratório Soloquímica.

Para análises do laboratório LQAA, percebe-se que os valores de cálcio, magnésio, em g/Kg, mostrados na Figura 4.83, são maiores em T8 e T7 e os menores valores foram em T5. O teor de matéria orgânica, entretanto (Figura 4.84), mostra-se maior em T4, T6 e T7. Nitrato é maior em T1, amônia é maior em T7 e o fósforo em T3.

Os valores de ferro foram maiores em T2, T3 e T1. Os valores de cobre foram maiores em T1, T2 e T3. Os valores de alumínio são maiores em T7 e T8. Os valores de manganês foram maiores em T4, T8, T7 e T1. Já o zinco foi encontrado em quantidades significativamente maior que os outros tratamentos em T1. Esses dados podem ser vistos na Figura 4.85.

Pelas análises do laboratório Soloquímica, conforme Figura 4.86, os valores de cálcio aumentaram em T1, T4, T5, T7 e T8; os de magnésio apenas aumentaram em todos os tratamentos; os valores de sódio em valores de no máximo 0,2 mE/100mL no início do ciclo e no final do ciclo em todos tratamentos esses valores abaixaram para 0,1mE/100mL ou menos; o valor de potássio abaixou no T3 de 0,6 à 0,1 mE/100mL. Diferentemente, o valor de acidez total aumentou em todos os tratamentos assim como os valores de CTC.

Na Figura 4.87, é mostrado os valores de matéria orgânica, carbono orgânico e fósforo em solos no 4º ciclo. Percebe-se, semelhante ao 2º ciclo, um acrescentamento dos teores de matéria e carbono orgânico em todos os tratamentos. Já o elemento fósforo, se mostrou menor no final do ciclo em todos os tratamentos e em T1 com maior concentração do início ao fim do ciclo.

A Figura 4.88 mostra os valores de saturação de alumínio e saturação de bases em solos em todos os tratamentos do 4º ciclo. Não se obteve percentuais de saturação de alumínio

em nenhum tratamento. A saturação de bases apenas permaneceu em torno de 70% do início ao fim do ciclo em todos os tratamentos.

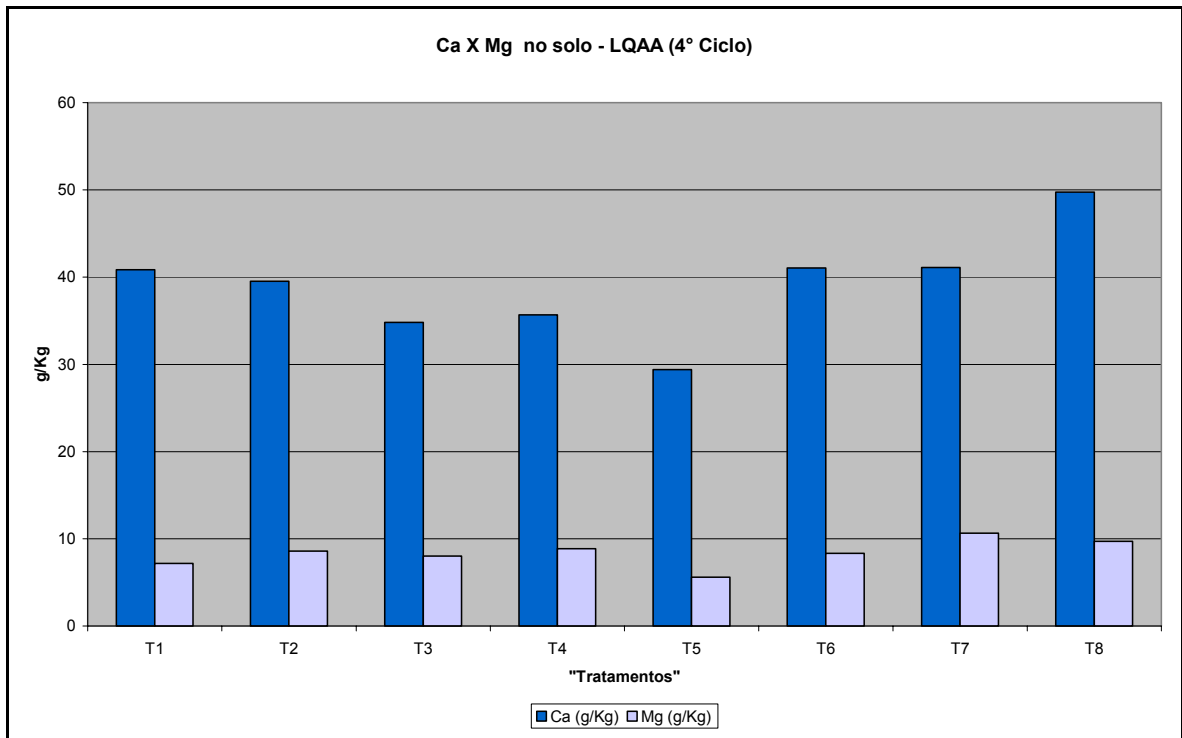


Figura 4.83 – Cálcio e magnésio em solo do 4º ciclo (LQAA)

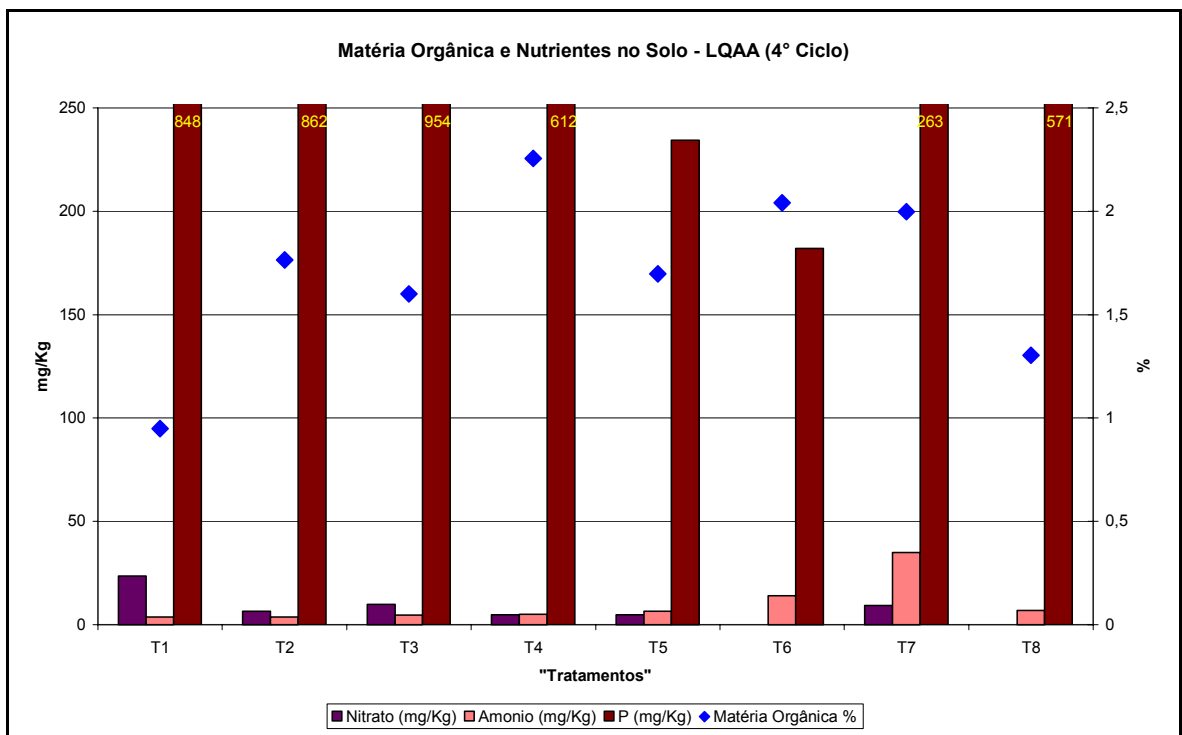


Figura 4.84 – Matéria orgânica e nutrientes em solo do 4º ciclo (LQAA)

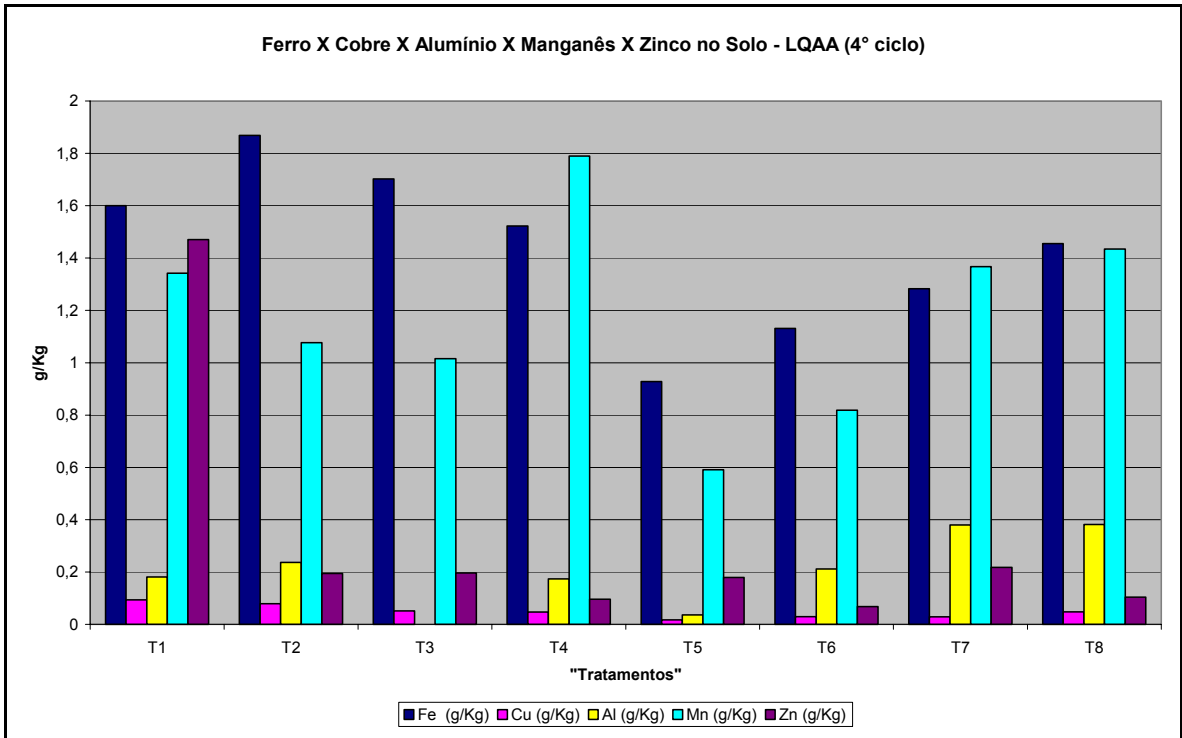


Figura 4.85 – Ferro, cobre, alumínio, manganês e zinco em solo do 4° ciclo (LQAA)

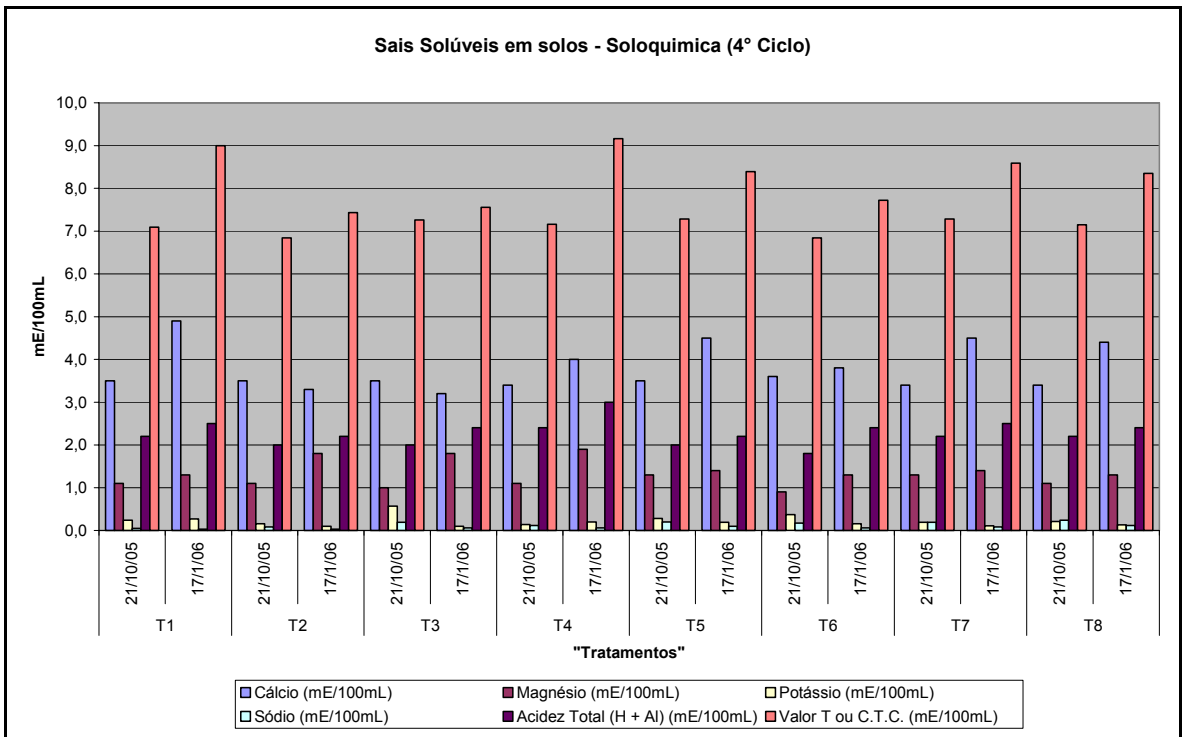


Figura 4.86 – Sais solúveis em solos do 4° ciclo (Laboratório Soloquímica)

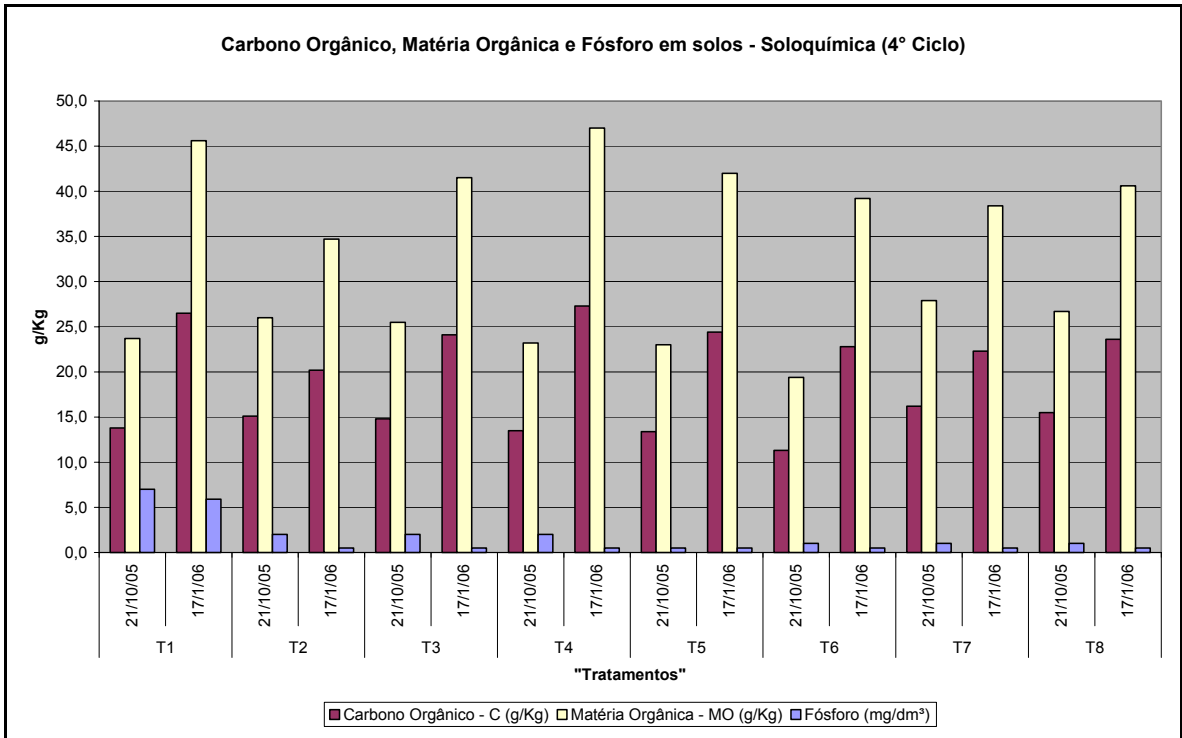


Figura 4.87 – Carbono orgânico, matéria orgânica e fósforo em solos do 4º ciclo (Laboratório Soloquímica)

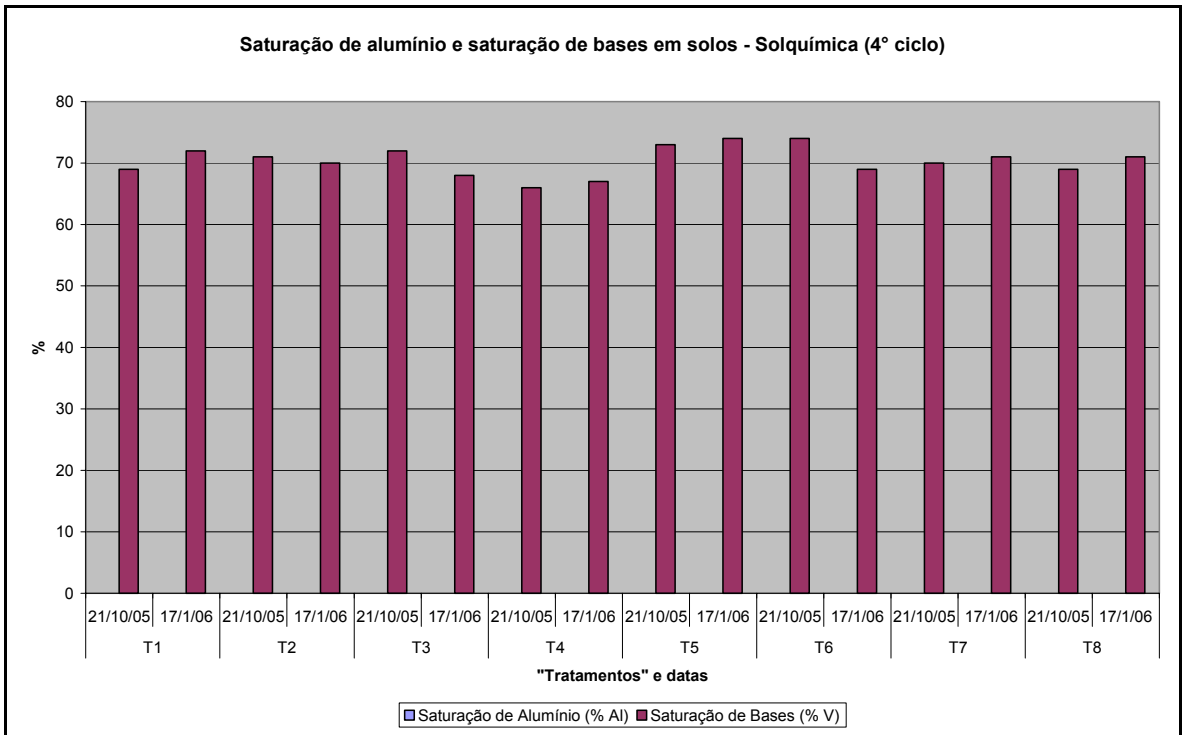


Figura 4.88 – Saturação de alumínio e saturação de bases em solos do 4º ciclo (Laboratório Soloquímica)

4.3.4.4 - Plantas

A análise da composição das folhas só foi possível ser realizada no início do ciclo pois as folhas se deterioraram devido ao excesso de chuvas. Os resultados da análise foliar do início do ciclo podem ser vistos no Apêndice 4D. Com relação a composição das raízes, os resultados estão expressos na Figura 4.89. Nesta percebe-se que os valores de cálcio, cobre e fósforo foram incrementados do início para o fim do ciclo em todos os tratamentos. Diferentemente o elemento enxofre só aumentou nas raízes ao fim do ciclo nos tratamentos T3 e T6. Com relação ao Boro, este só não aumentou ao fim do ciclo no tratamento T4.

Nas Figuras 4.90, 4.91, 4.92 e 4.93 são mostradas respectivamente dados da biometria referente à altura das plantas, número de folhas, diâmetro do caule e número de flores no ciclo 4. As plantas com maior crescimento do caule foram as do tratamento T3, T1 e T4. Os tratamentos T3, T7 e T8 apresentaram maior número de folhas na plantas. Todavia, com relação ao diâmetro do caule, obtiveram-se a ordem T7, T3 e T8 com maiores diâmetros. Ao número de flores os 3 tratamentos com melhor desempenho são novamente T3, T8 e T7.

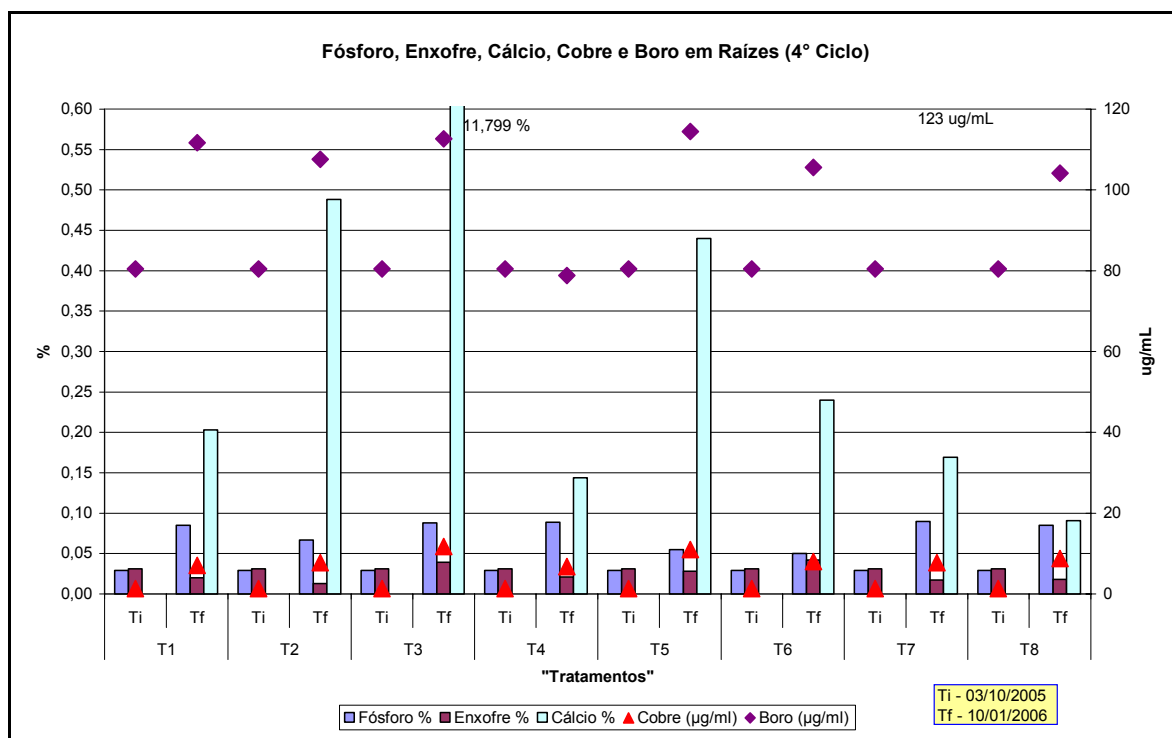


Figura 4.89 – Composição das raízes no início e ao fim do ciclo 4.

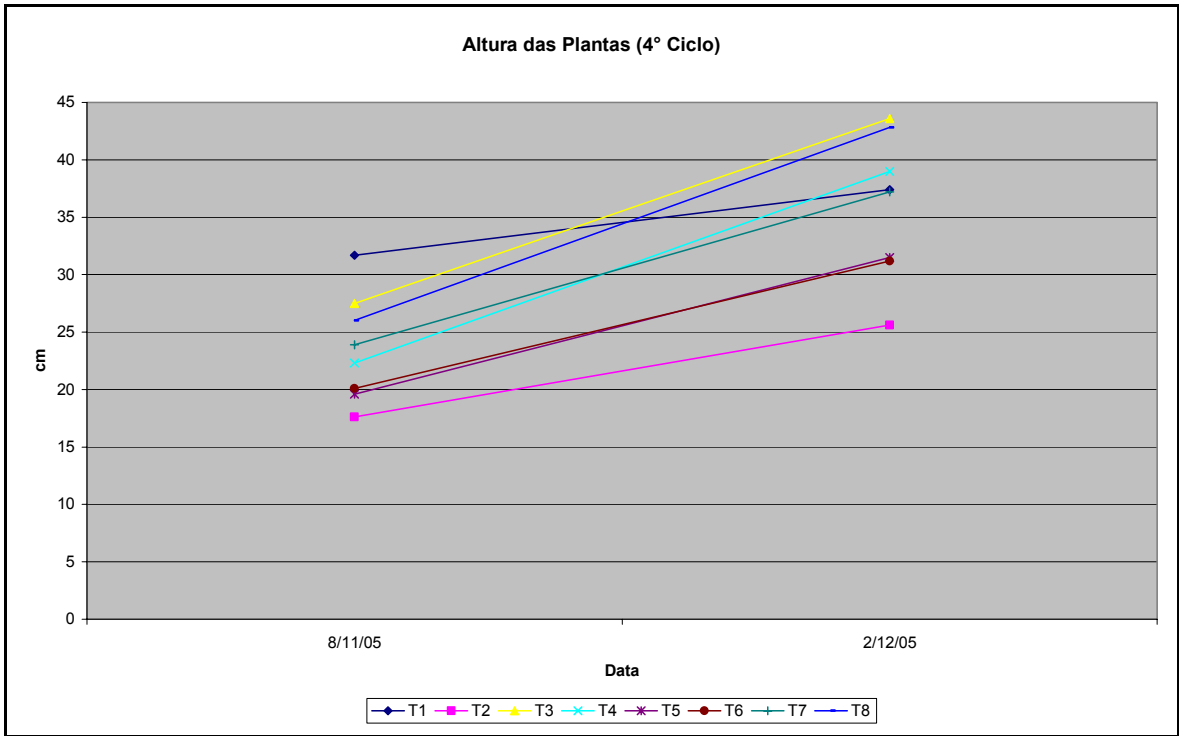


Figura 4.90 – Altura das plantas no ciclo 4.

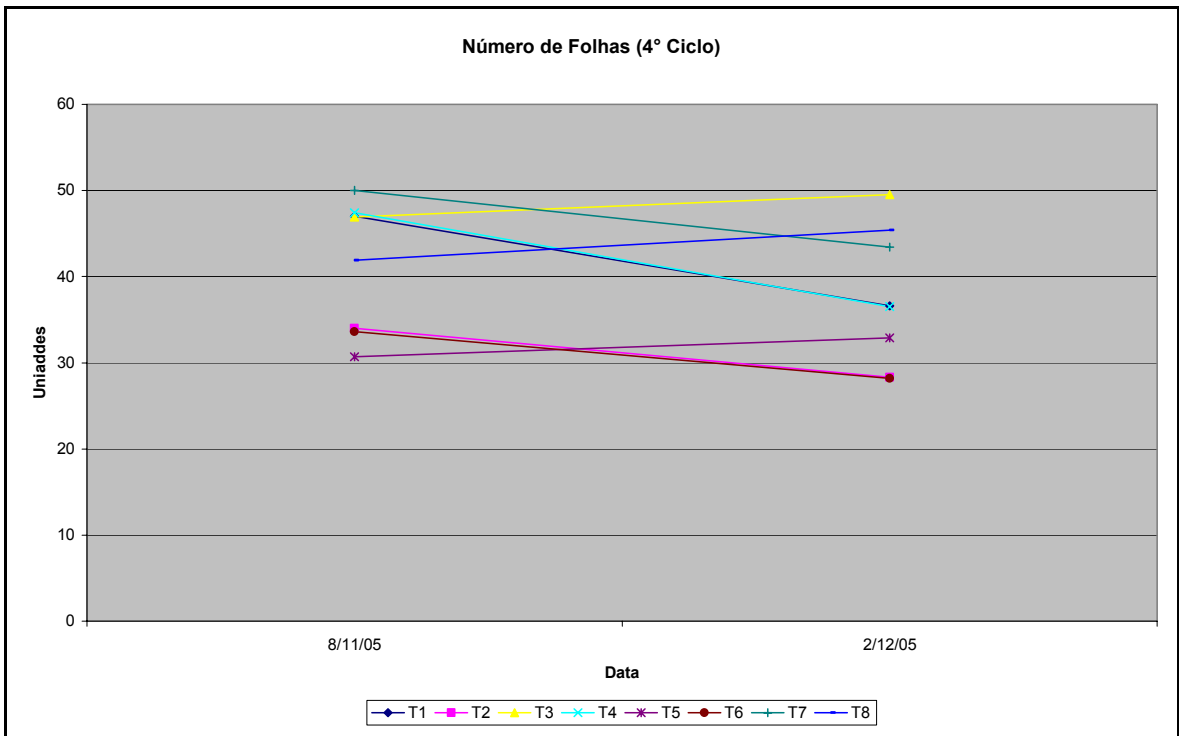


Figura 4.91 – Número de folhas das plantas no ciclo 4.

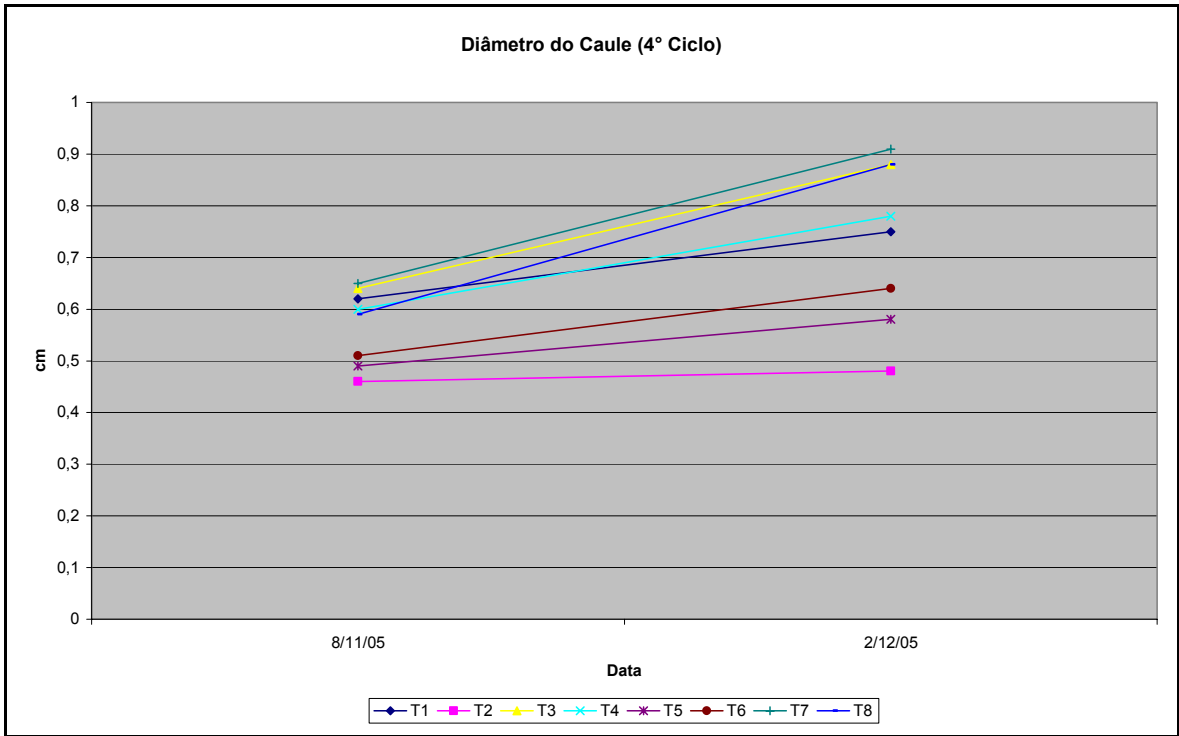


Figura 4.92 – Diâmetro do caule das plantas no ciclo 4.

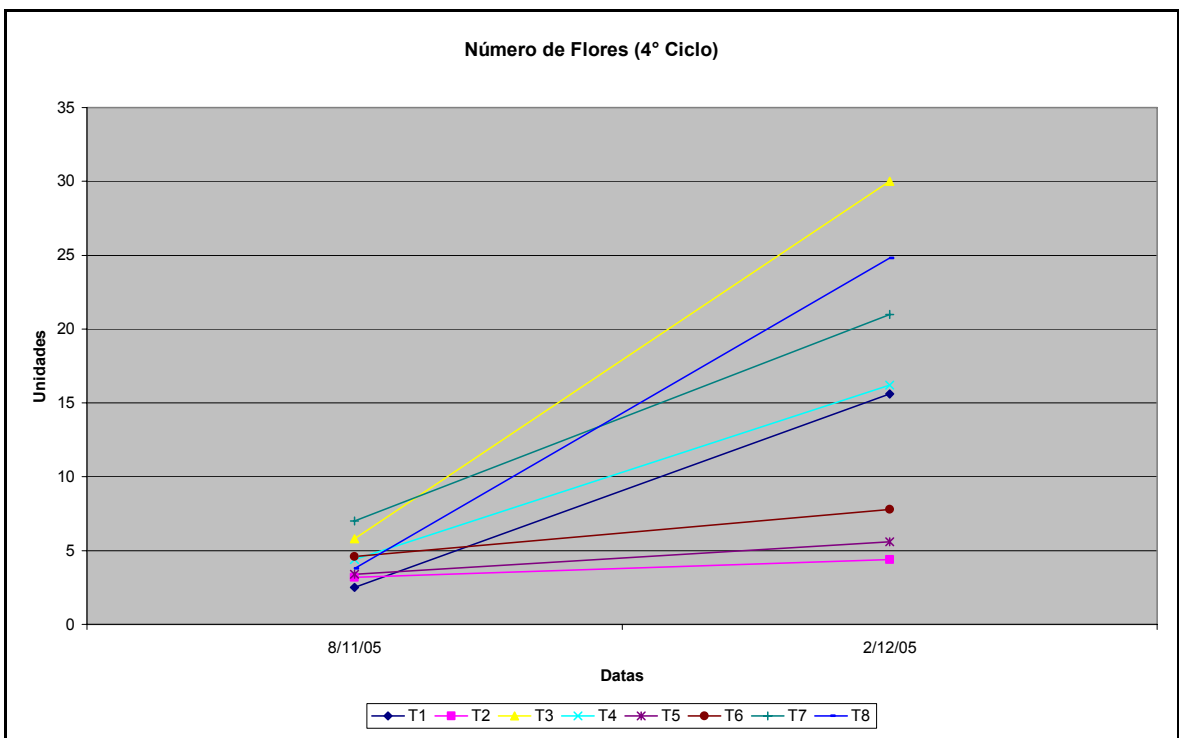


Figura 4.93 – Número de flores das plantas no ciclo 4.

4.3.5 - Ciclo 5 (01/03/2006 – 02/06/2006)

4.3.5.1 - Águas de Irrigação

Nesta seção serão mostrados valores médios dos dados de água de irrigação. Os dados completos obtidos das análises das águas de irrigação no ciclo 5, podem ser visualizados no Apêndice 5A. Nos dados de águas de irrigação não se apresenta os valores do tratamento T4, que se trata da diluição do tratamento T3 com o tratamento T6.

No 5º ciclo não foi possível realizar as análises completas de metais e nutrientes nos efluentes, devido a problemas técnicos.

Na Figura 4.94 pode-se visualizar os valores de alcalinidade e cloretos em águas de irrigação do 5º ciclo. Os valores de alcalinidade do tratamento T7, T8 e T3 apresentam-se os maiores com valores de 386, 209 e 186 mg/L respectivamente. Já os valores de cloretos não superam o limite recomendado e por isso não se tem nenhuma restrição ao uso.

Os valores de DBO e DQO são mostrados na Figura 4.95. Os valores de DBO ultrapassam os limites recomendados tanto pela Califórnia (5 mg/L) tanto pela USEPA (10 mg/L). Os maiores valores de DBO e DQO são encontrados nos tratamentos T8, T7 e T3 sucessivamente.

As águas de irrigação do quinto ciclo mostram que nenhum tratamento atende aos padrões de reúso da Califórnia para coliformes totais (< 5 mg/L), e também aos padrões da USEPA (ND) e as recomendações da OMS (<1000 NMP/100mL). Os valores são mais significativos no tratamento T3, seguidos dos tratamentos T7 e T8 e são mostrados na Figura 4.96.

Todavia, os valores de nitrato de todos os tratamentos não apresentam restrição alguma ao uso, estando sempre abaixo do limite recomendado de 5 mg/L. Os valores de nitrito apresentam como o de maior valor o do tratamento T6 com 1,42 mg de N/L. Possivelmente isso deve-se ao fato de haver a nitrificação-desnitrificação pelo qual este efluente passou no processo de tratamento da ETEB-norte. Estes valores podem ser visualizados na Figura 4.97.

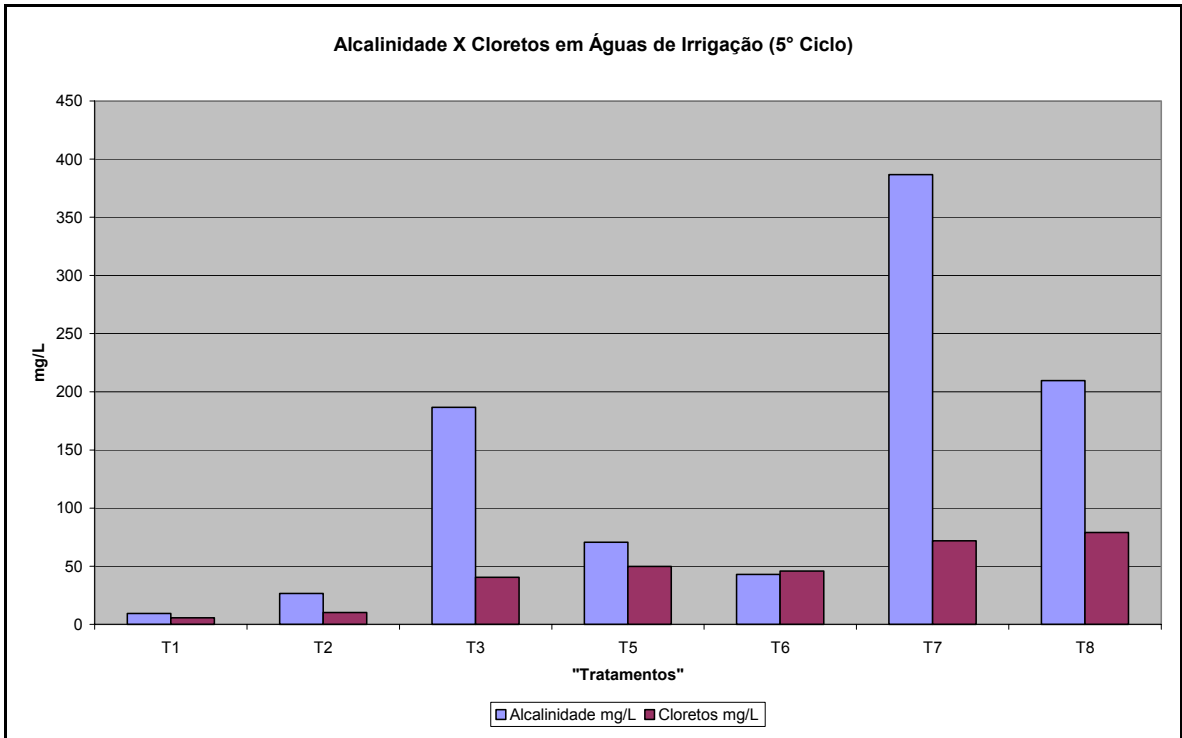


Figura 4.94 – Alcalinidade e Cloretos em águas de irrigação do 5º ciclo.

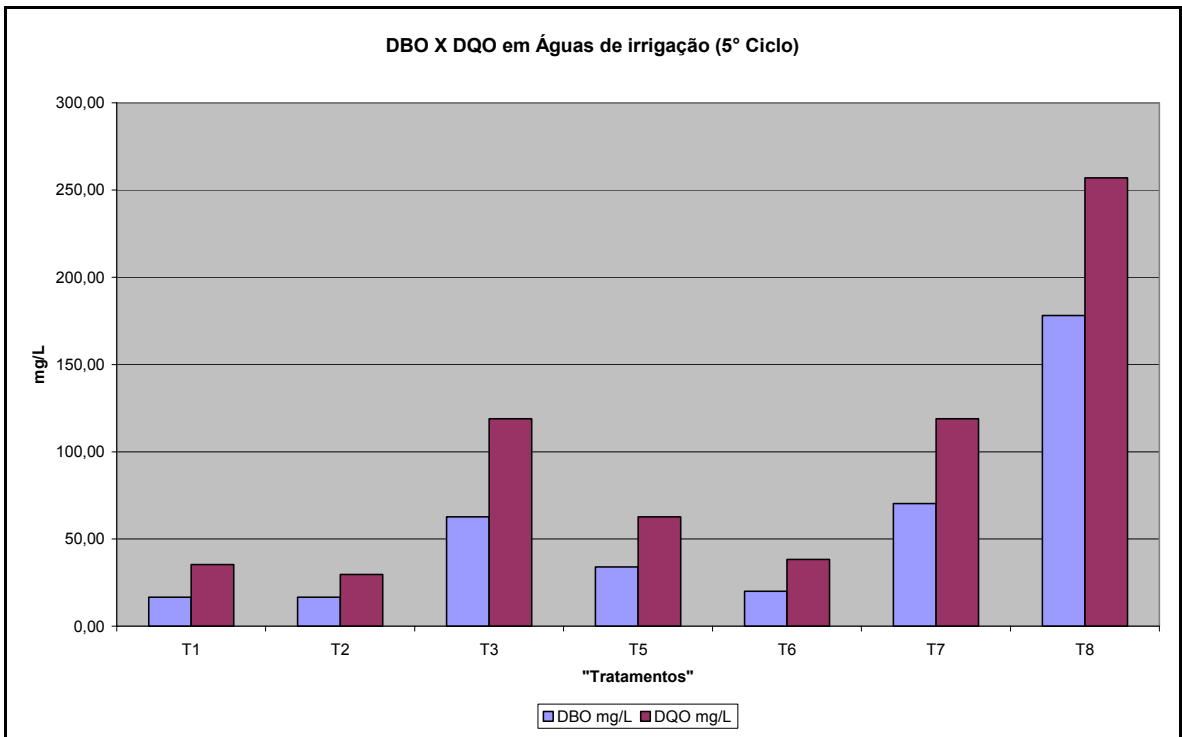


Figura 4.95 – DBO e DQO em águas de irrigação do 5º ciclo.

Ao que diz respeito aos valores de sólidos em suspensão, o de nenhum tratamento estão abaixo do recomendado pelo padrão da Califórnia, que é 5 mg/L. Com os valores de

sólidos dissolvidos, o tratamento T7 se caracteriza como de restrição fraca à moderada segundo mostra a Tabela 1 do Apêndice 6. Estes valores podem ser vistos na Figura 4.98.

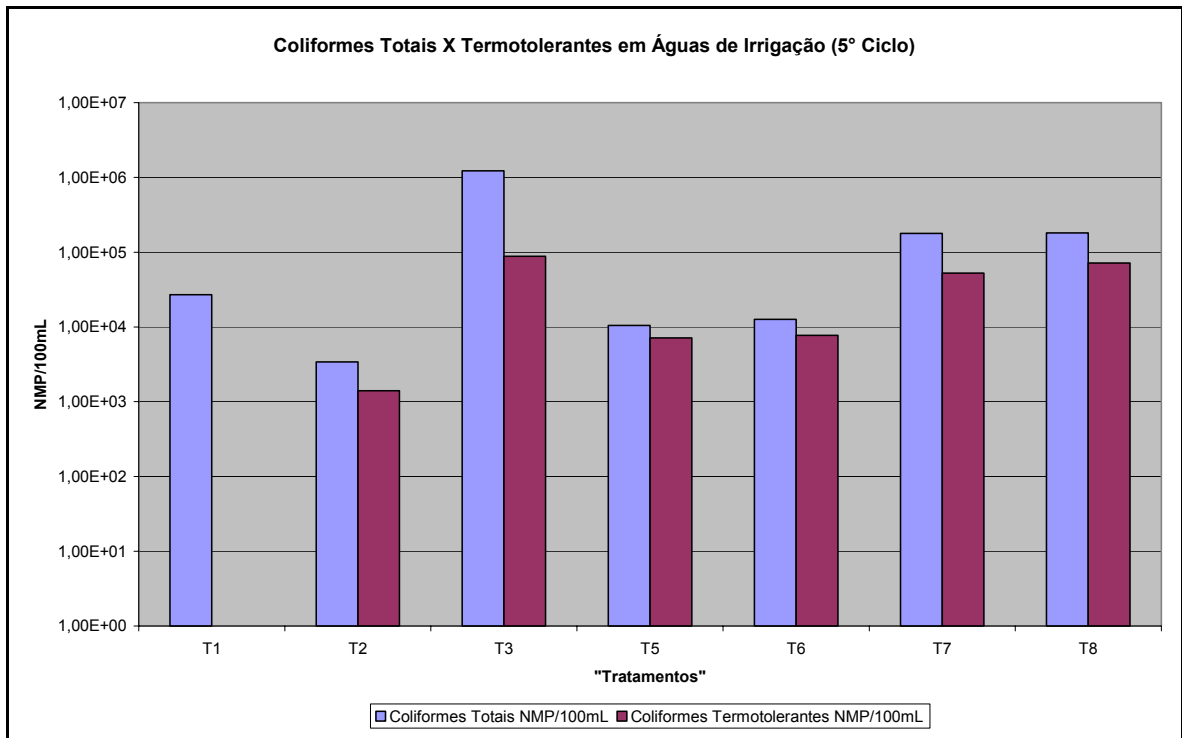


Figura 4.96 – Coliformes Totais e Coliformes Termotolerantes em águas de irrigação do 5º ciclo.

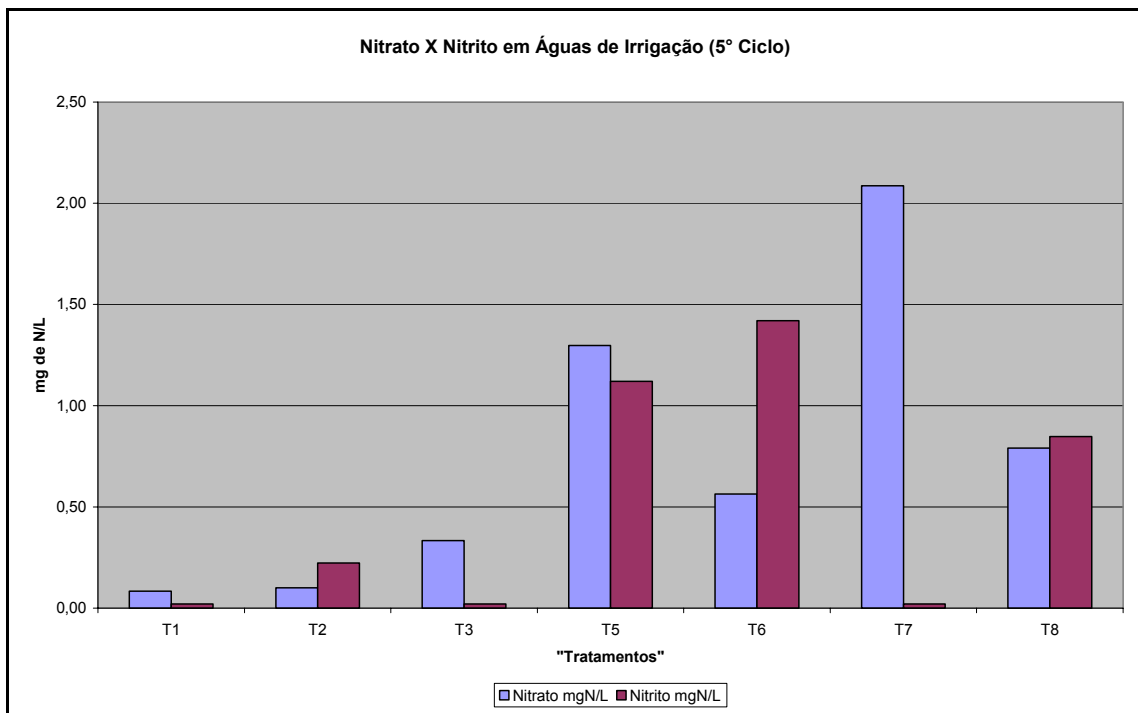


Figura 4.97 – Nitrato e nitrito em águas de irrigação do 5º ciclo.

Os valores de Cobre, ferro e cálcio são mostrados na Figura 4.99. Os tratamentos T3 e T6 ultrapassam o recomendado para valores de cobre, que é de 0,2 mg/L. Contudo, nenhum tratamento extrapola as recomendações para ferro, e nem a faixa usual de valores de cálcio.

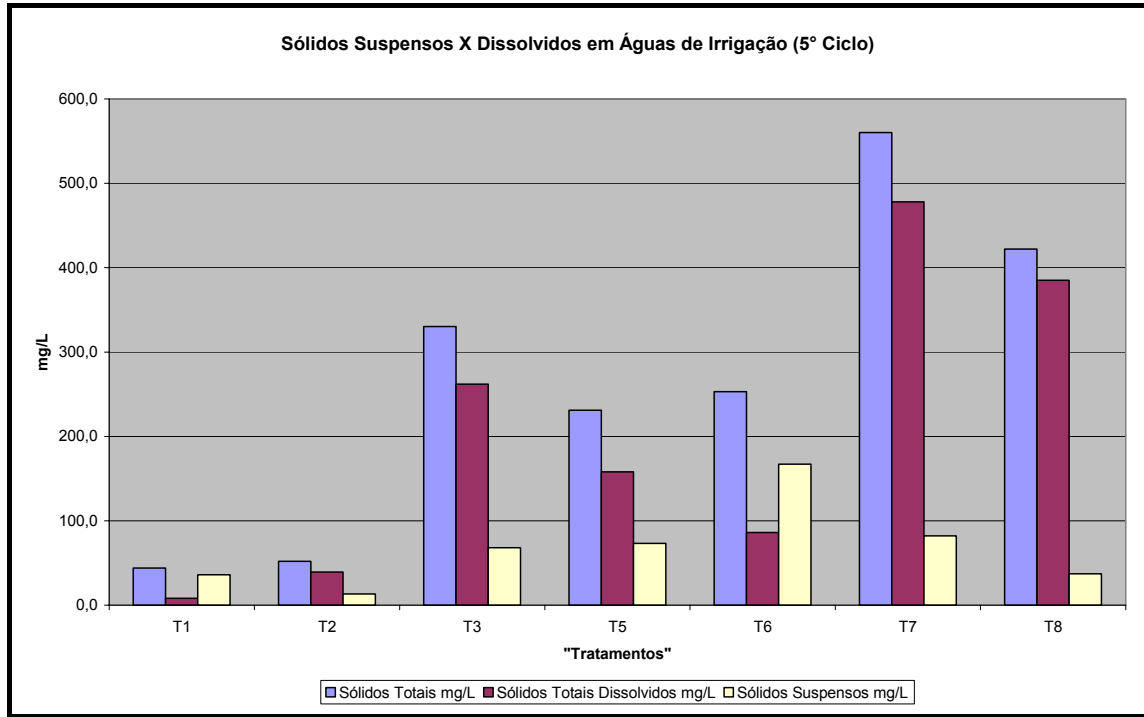


Figura 4.98 – Série de sólidos em águas de irrigação do 5º ciclo.

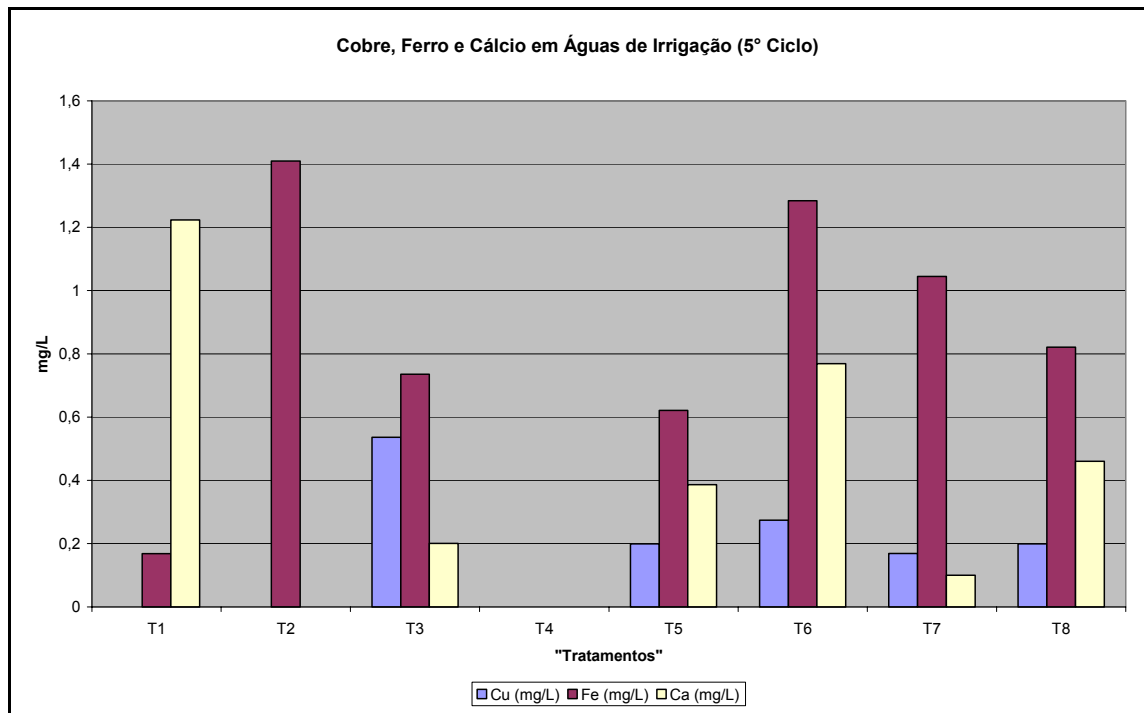


Figura 4.99 – Cobre, ferro e cálcio em águas de irrigação do 5º ciclo.

4.3.5.2 - Águas Percoladas

Nesta seção serão mostrados valores médios dos dados de águas percoladas. Os dados completos obtidos das análises das águas percoladas no ciclo 5, podem ser visualizados no Apêndice 5B.

Pelo mesmo motivo dos efluentes, não foi possível fazer as análises completas de metais e nutrientes do quinto ciclo devido à manutenção dos equipamentos de análise usados pelo laboratório LQAA.

Da mesma forma como aconteceu no segundo ciclo, os percolados no quinto ciclo foram coletados de forma “natural” devido à época de chuvas no DF, sendo possível repetir algumas das análises.

Na Figura 4.100 pode-se visualizar os valores de alcalinidade e cloretos em águas percoladas do 5º ciclo.

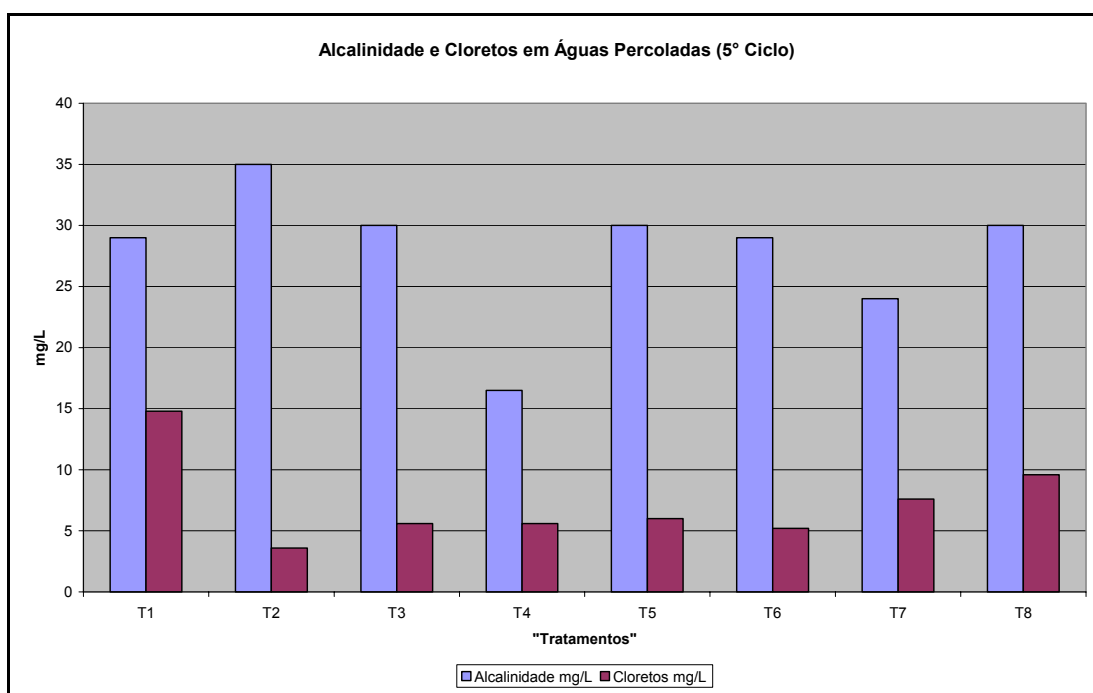


Figura 4.100 – Alcalinidade e Cloretos em águas percoladas do 5º ciclo.

Para alcalinidade, somente T1 e T2 apresentaram valores de percolados maiores que da irrigação. Para cloretos, nos tratamentos T3, T4, T5, T6, T7 e T8 houve uma remoção

acima de 80%. No T2 de 64% e no T1 não houve remoção, pelo contrário houve um aumento de 164% de cloretos nos percolados em relação à irrigação. O valor de percolado ficou em 14,8 mg/L.

Para os valores de DBO (Figura 4.101), as remoções ficaram acima de 60%, sendo que a maior concentração em percolados ficou por conta do T4 em 10,5 mg/L e o menor em T8 com 5mg/L.. Para DQO as remoções foram acima de 60% e bem parecidas com a de DBO. O maior valor encontrado foi em T4 com 18,5 mg/L, e o menor em T8 de 9,5 mg/L.

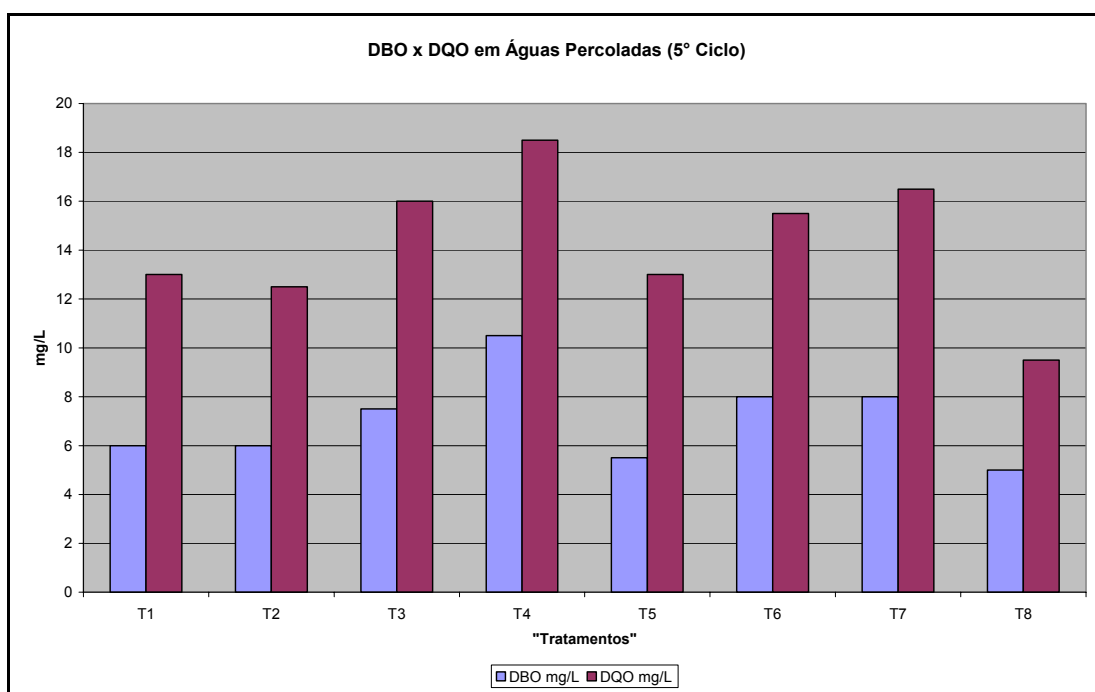


Figura 4.101 – DBO e DQO em águas percoladas do 5º ciclo.

Valores de *E. coli* (Figura 4.102) não foram encontradas em percolados no 5º ciclo. Coliformes totais foram encontrados em torno de $1,0 \times 10^4$ NMP/100 mL em T1, e em T3, T4, T5, T6, T7 e T7 em torno de $1,0 \times 10^2$ NMP/100 mL.

Valores de nitrito (Figura 4.103) foram encontrados abaixo de 0,02 mg de N/L. Valores de nitrato não ultrapassaram as recomendações de 10 mg/L dos valores orientadores para águas subterrâneas da CETESB (2005) e se mostram em valores muito pequenos de no máximo 0,5 mg/L, no tratamento T6.

A remoção de sólidos suspensos (Figura 4.104) se mostra ineficiente em T7 e T2. AS concentrações em T7 e T2 são 361 e 14 mg/L. Em se tratando de ferro, cobre e cálcio, (Figura 4.105) nenhum dos tratamentos ultrapassa os limites estabelecidos pela CETESB.

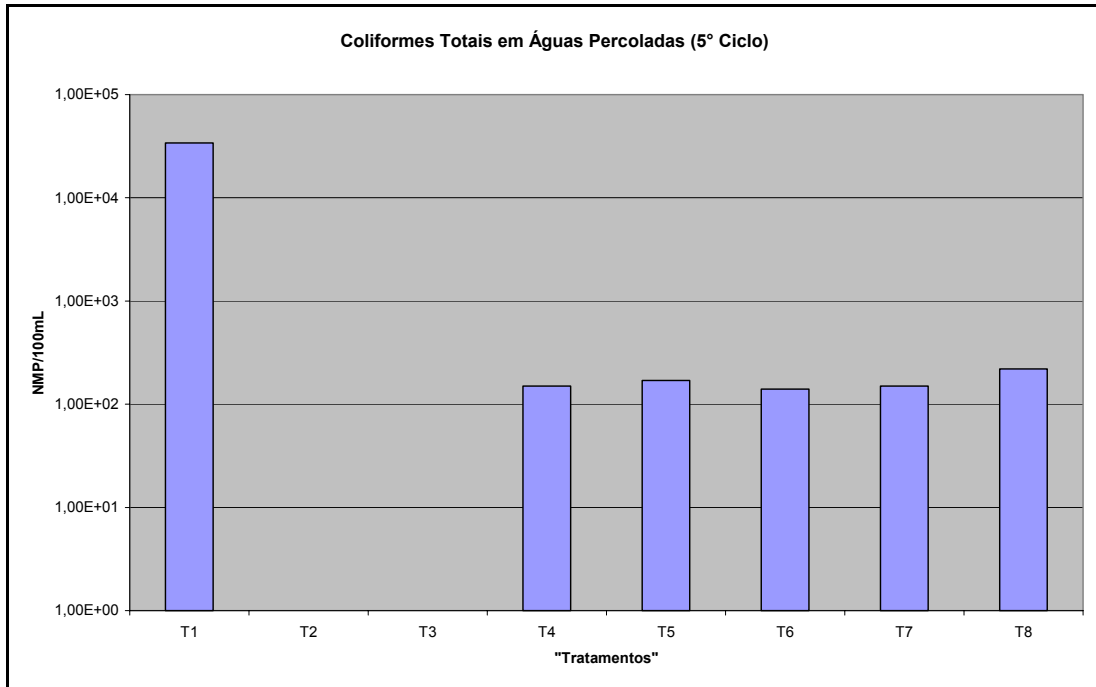


Figura 4.102 – Coliformes Totais em águas percoladas do 5º ciclo.

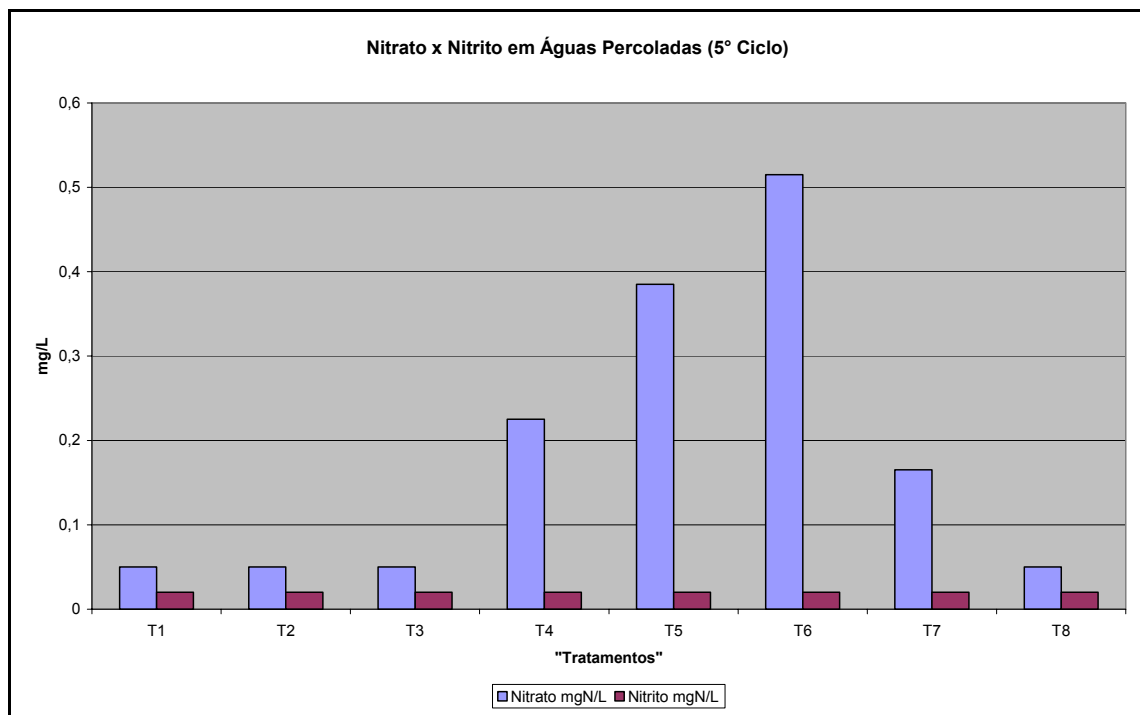


Figura 4.103 – Nitrato e nitrito em águas percoladas do 5º ciclo.

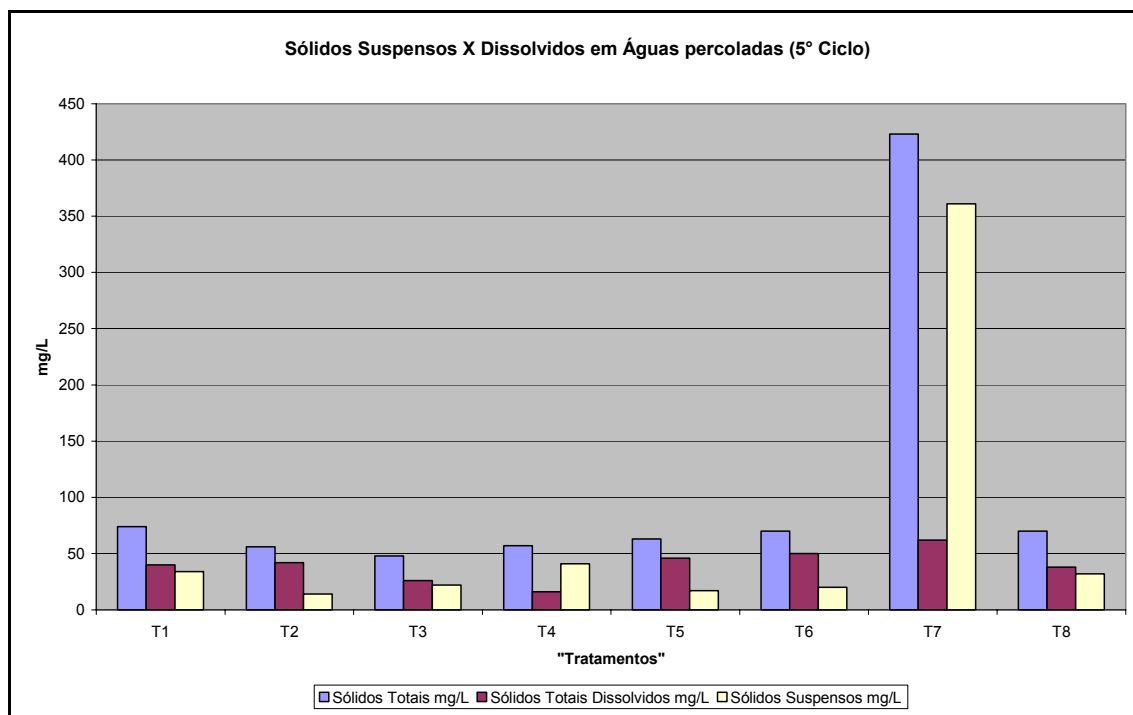


Figura 4.104 – Série de Sólidos em águas percoladas do 5º ciclo.

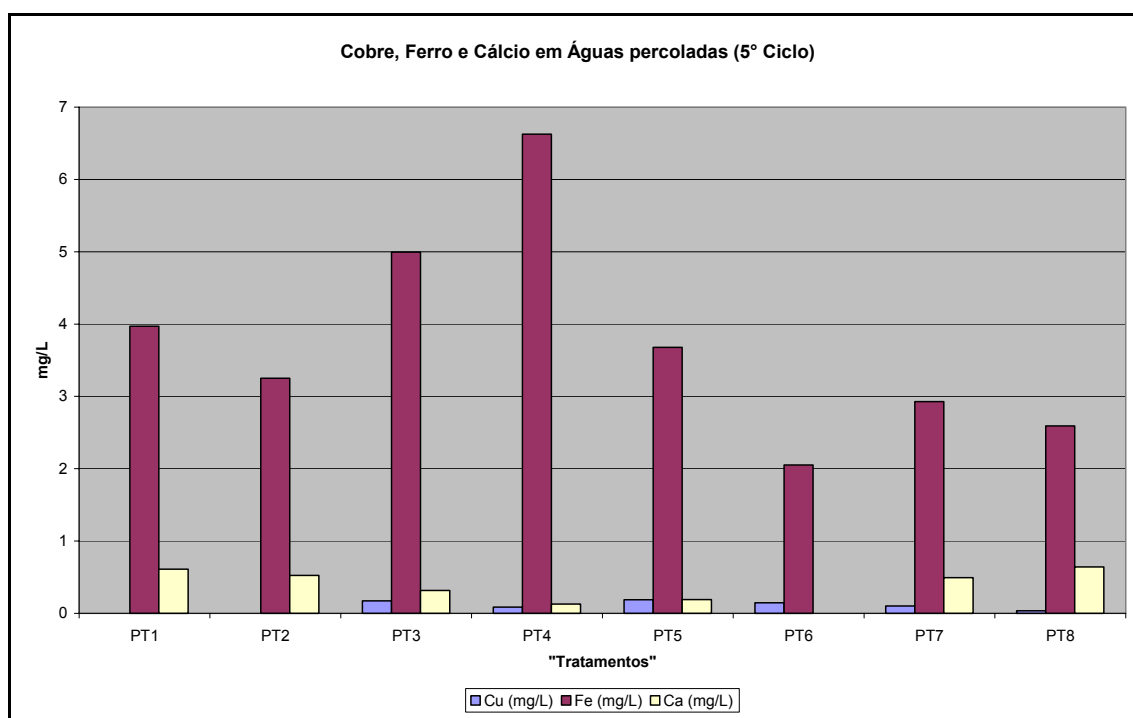


Figura 4.105 – Cobre, ferro e cálcio em águas percoladas do 5º ciclo.

4.3.5.3 - Solos

Nesta seção serão mostrados valores médios dos dados de análises de solos. Os dados completos das análises de solos no ciclo 5, podem ser visualizados no Apêndice 5C.

Para este ciclo foi feito uma análise de comparação, no laboratório Bioanalítica, com o solo inicial utilizado no enchimento das unidades com relação à granulometria. Tem-se, portanto, a Figura 4.106 que traz as médias dos valores obtidos para o solo nos diversos tratamentos no quinto ciclo.

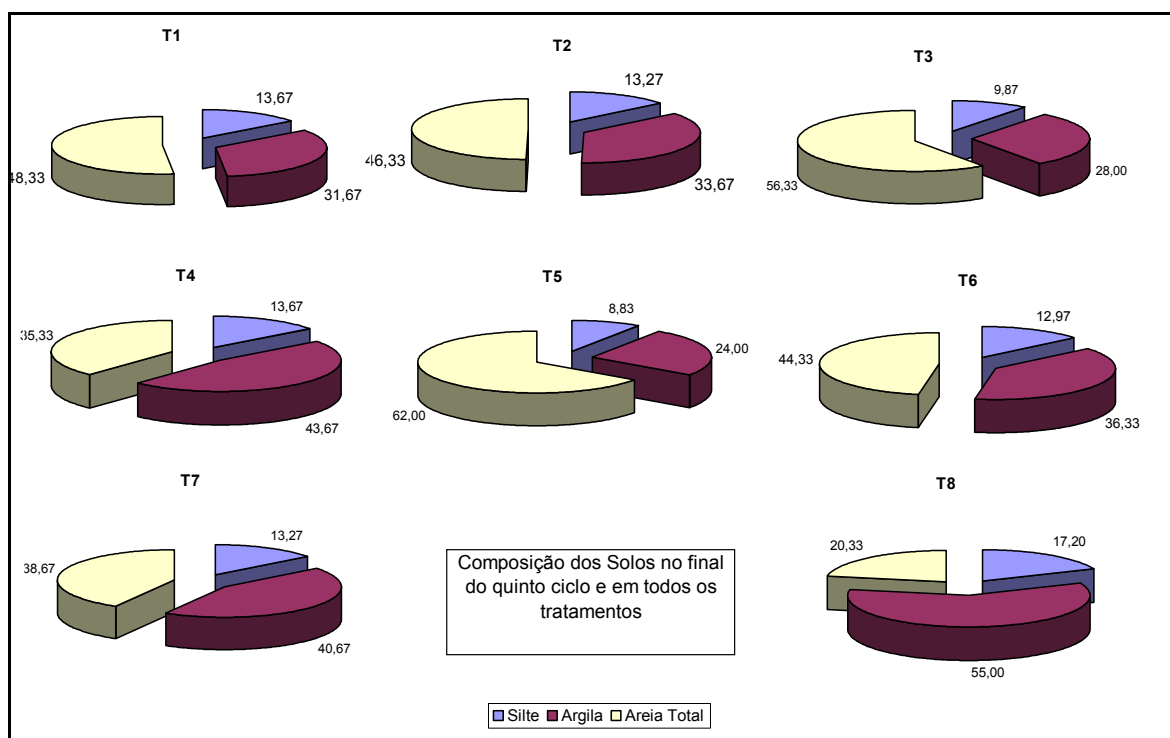


Figura 4.106 – Composição do solo ao fim do 5º ciclo.

Para análises do laboratório LQAA, percebe-se que os valores de cálcio foram maiores em T1, T8 e T4 (Figura 4.107). Para magnésio, mostrado na Figura 4.108, maiores valores foram encontrados em T4, T7, T8 e T1. A sodificação do solo foi maior, considerando os valores de sódio, em T3, T1, T8 e T5. Os valores de potássio foram encontrados maiores em T5, T8 e T7.

O valor de ferro foi maior em T1 com cerca de 0,031 g/Kg. O valor de cobre foi maior T4. Alumínio foi detectado em T5 e T8 apenas. Os valores de manganês foram maiores em T4 e T1. Já o zinco foi encontrado apenas em T1 em 0,003 g/Kg. Esses dados podem ser vistos na Figura 4.109.

O teor de matéria orgânica (Figura 4.110), mostra-se maior em T7, T8 e T4. Nitrato é maior em T6, T8, T4 e T5. Amônia é maior em T2, T7, T8 e T1 e o fósforo em T1. Valores

de pH ficaram entre 5,4 e 6,8 e os de acidez total mostraram que os solos dos tratamentos T4, T7 e T2 ficaram mais ácidos.

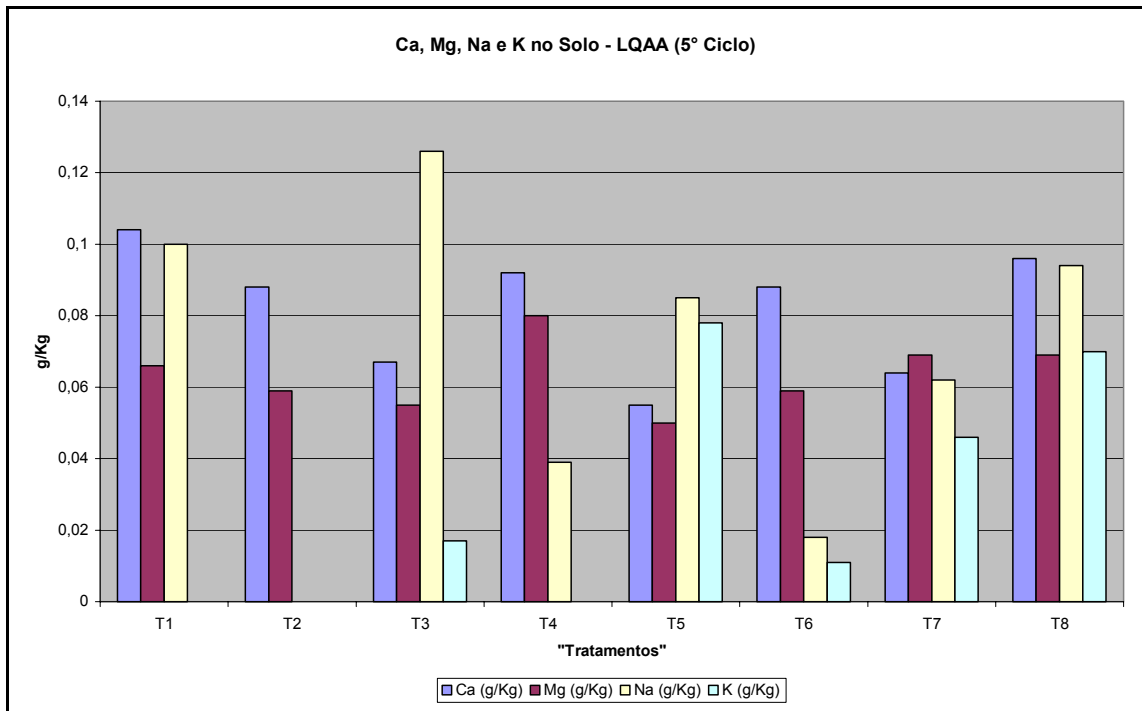


Figura 4.107 – Cálcio, Magnésio, Sódio e potássio em solos do 5º ciclo (LQAA)

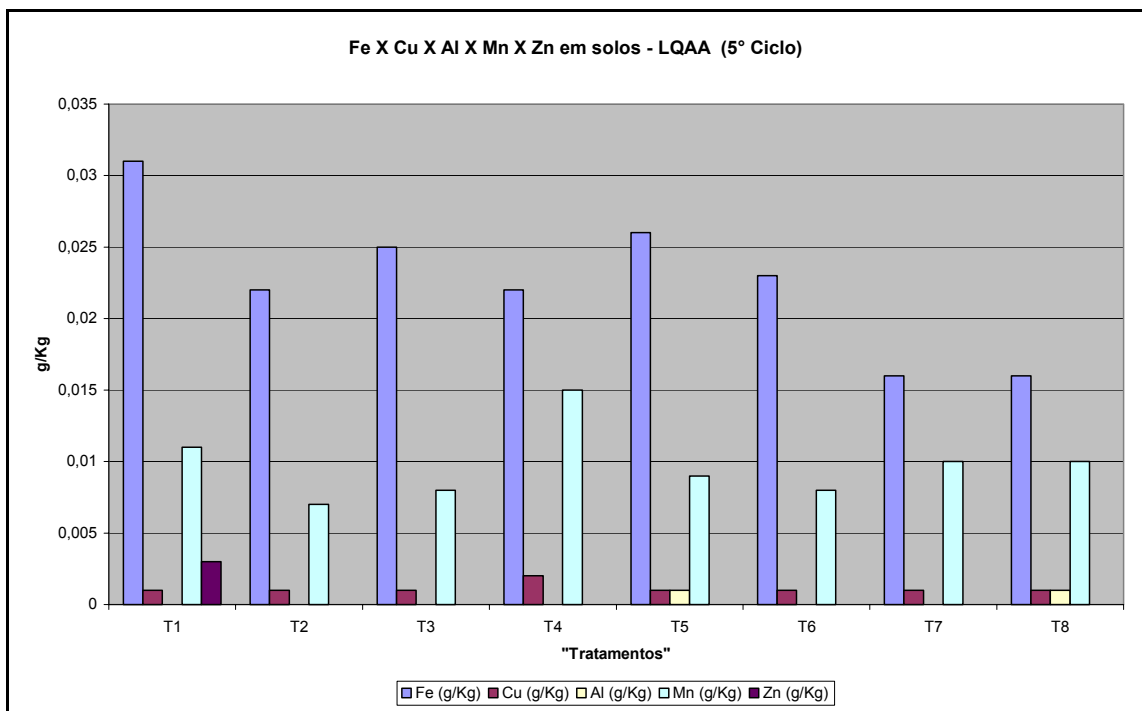


Figura 4.108 – Ferro, cobre, alumínio, manganês e zinco em solos do 5º ciclo (LQAA)

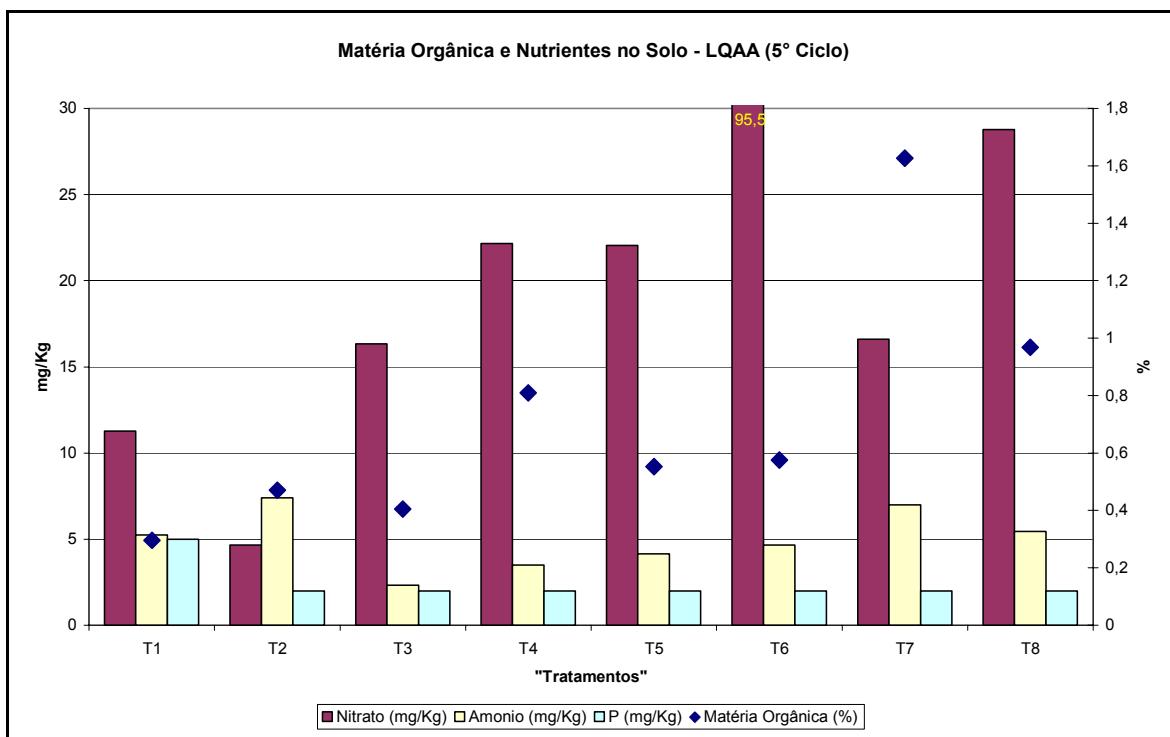


Figura 4.109 – Matéria Orgânica e nutrientes em solos do 5º ciclo (LQAA)

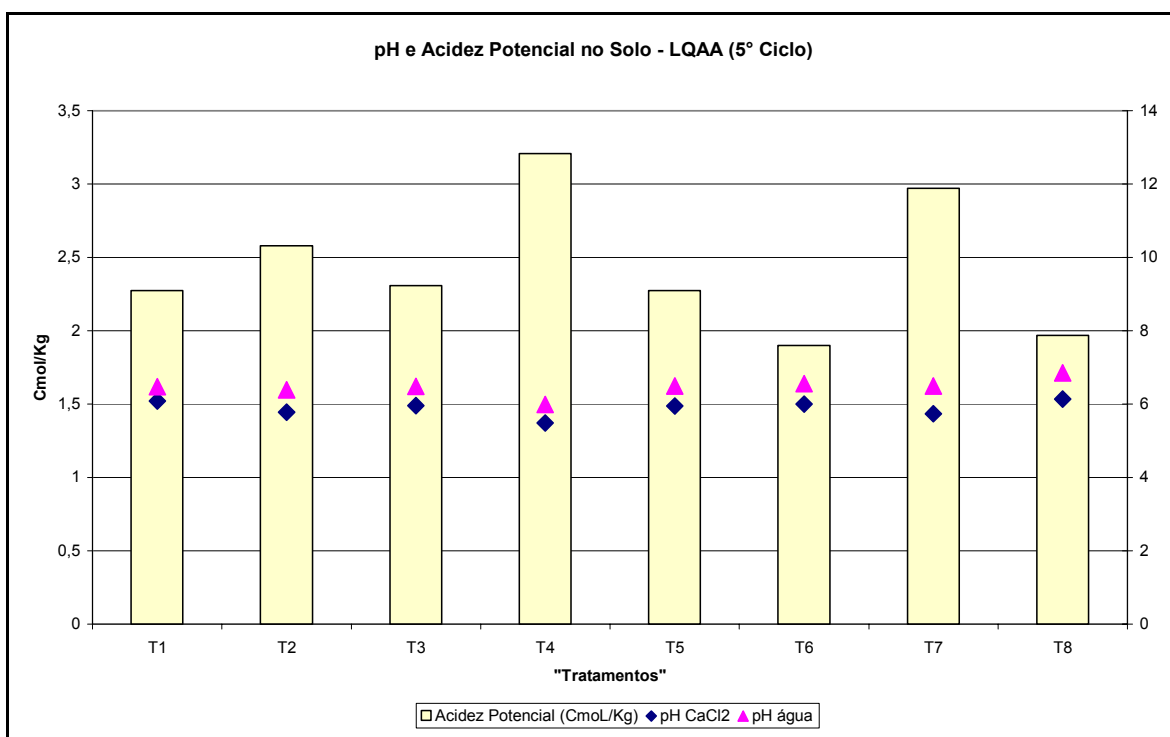


Figura 4.110 – pH e Acidez Potencial em solos do 5º ciclo (LQAA)

Pelas análises do laboratório Bioanalítica, conforme Figura 4.111, tem-se que os solos contidos nos recipientes dos tratamentos T5 e T3 demonstraram maior percentual de areia. Contudo os solos dos tratamentos T8, T4 e T7 foram os com maiores frações de argila.

Com relação à densidade dos solos (Figura 4.112), os que mostraram maiores valores foram os solos em T2 e T1, mas com pouca diferença. Já os valores de macro/microporosidade se mostram decaindo de T1 à T8, de 50 a 45%.

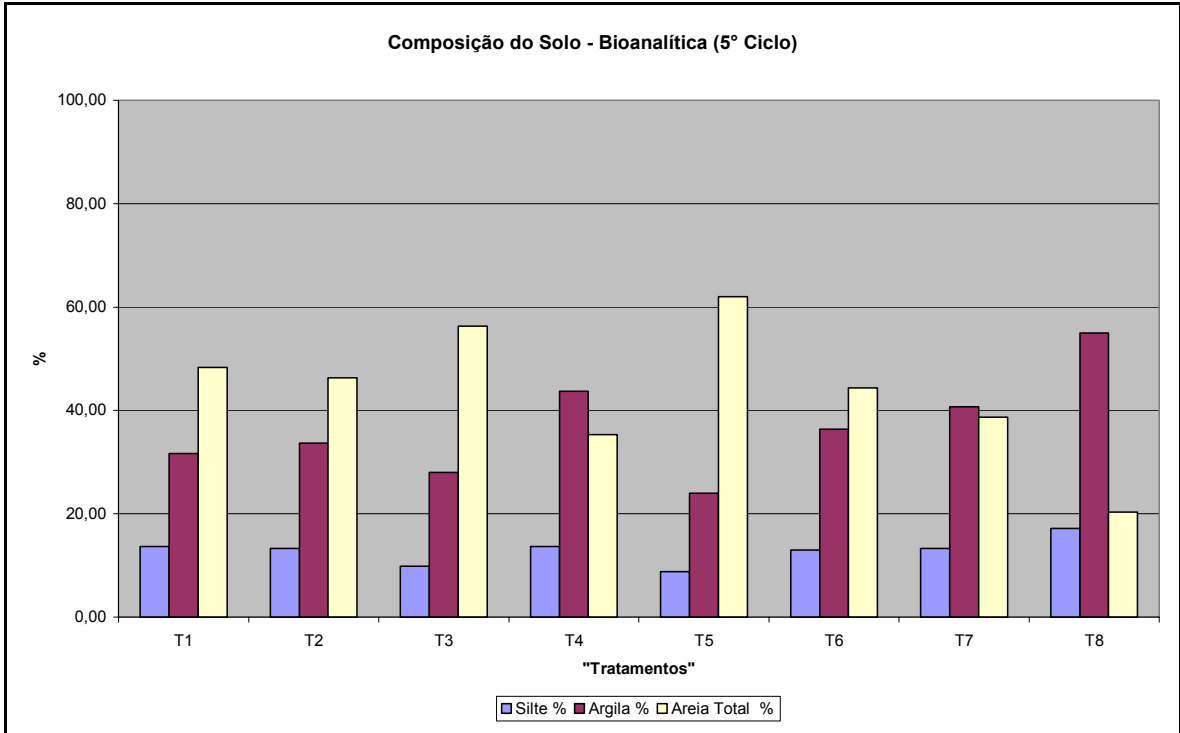


Figura 4.111 – Composição do solo no 5º ciclo (Bioanalítica)

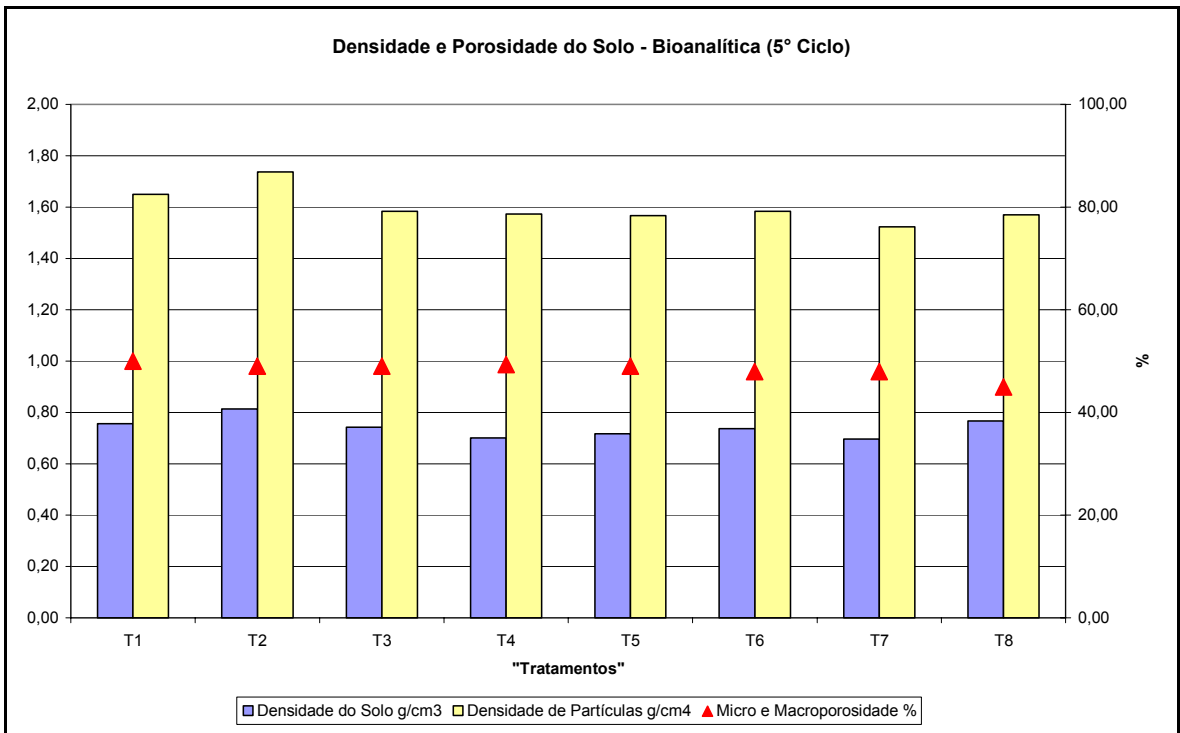


Figura 4.112 – Densidade e Porosidade do solo no 5º ciclo (Bioanalítica)

4.3.5.4 - Plantas

No quinto ciclo foi realizado apenas o acompanhamento biométrico das plantas. As Figuras 4.113, 4.114, 4.115 e 4.116 mostram respectivamente os resultados referentes ao diâmetro do caule, altura do caule, número de folhas e número de flores.

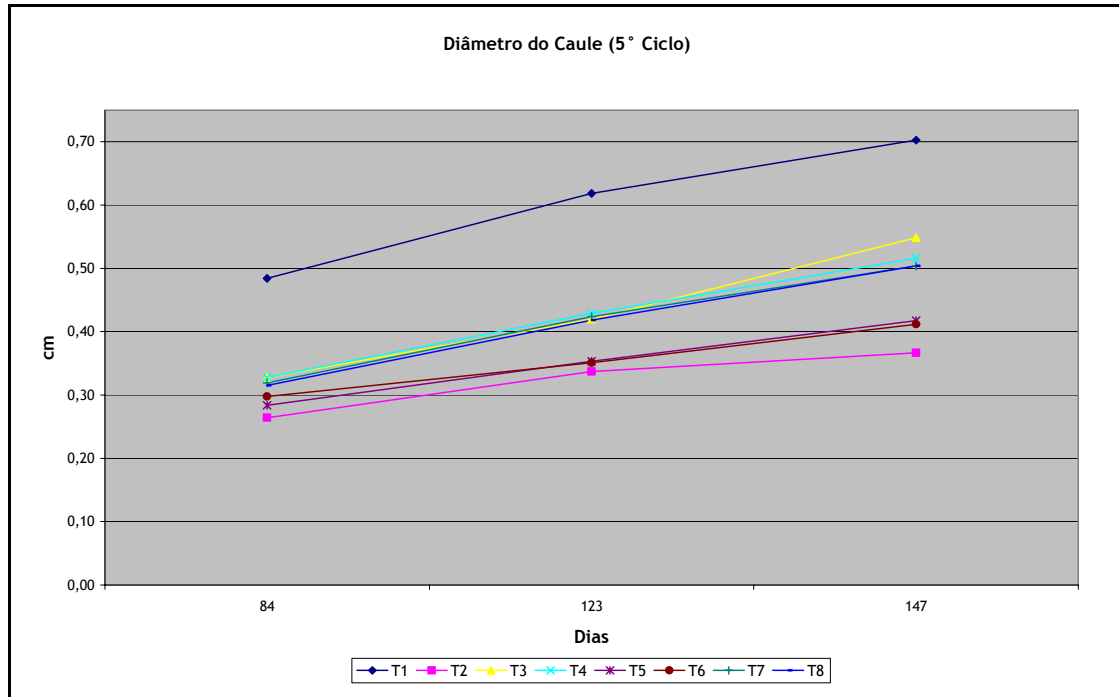


Figura 4.113 – Diâmetro do caule das plantas no quinto ciclo.

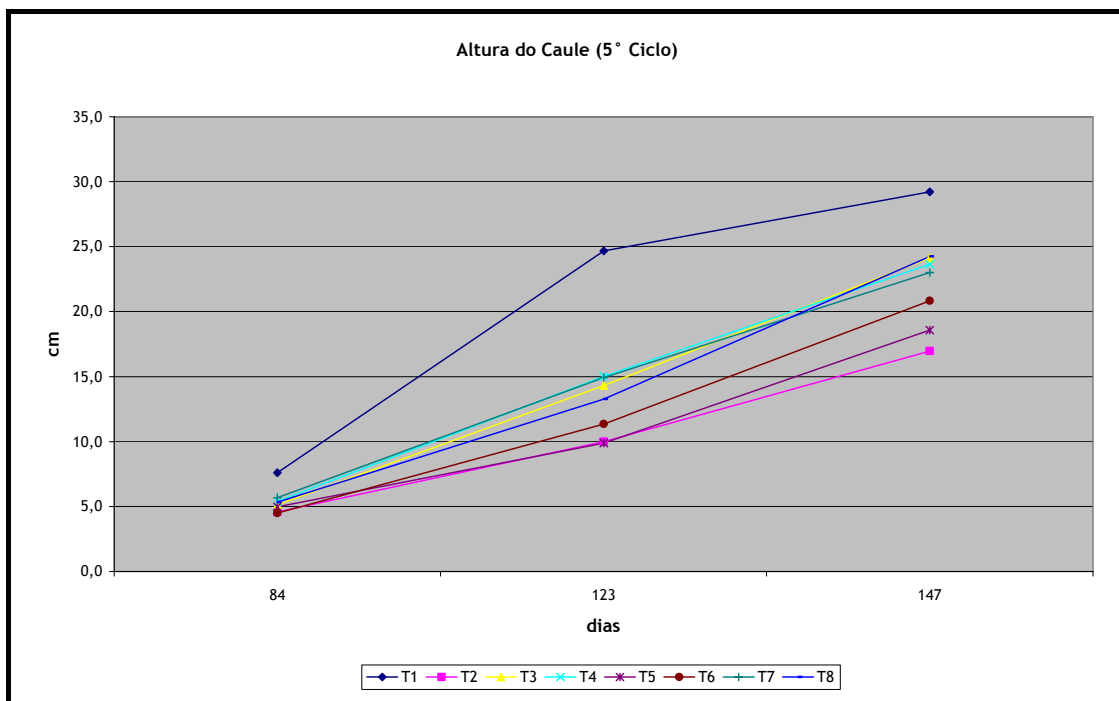


Figura 4.114 – Altura do caule das plantas no quinto ciclo.

O T1 teve maiores crescimentos em todos os quesitos, com exceção do número de flores onde o tratamento T7 foi o melhor. O tratamento T3 foi o segundo mais efetivo em todos os quesitos, seguido pelos tratamentos T8, T4 e T7.

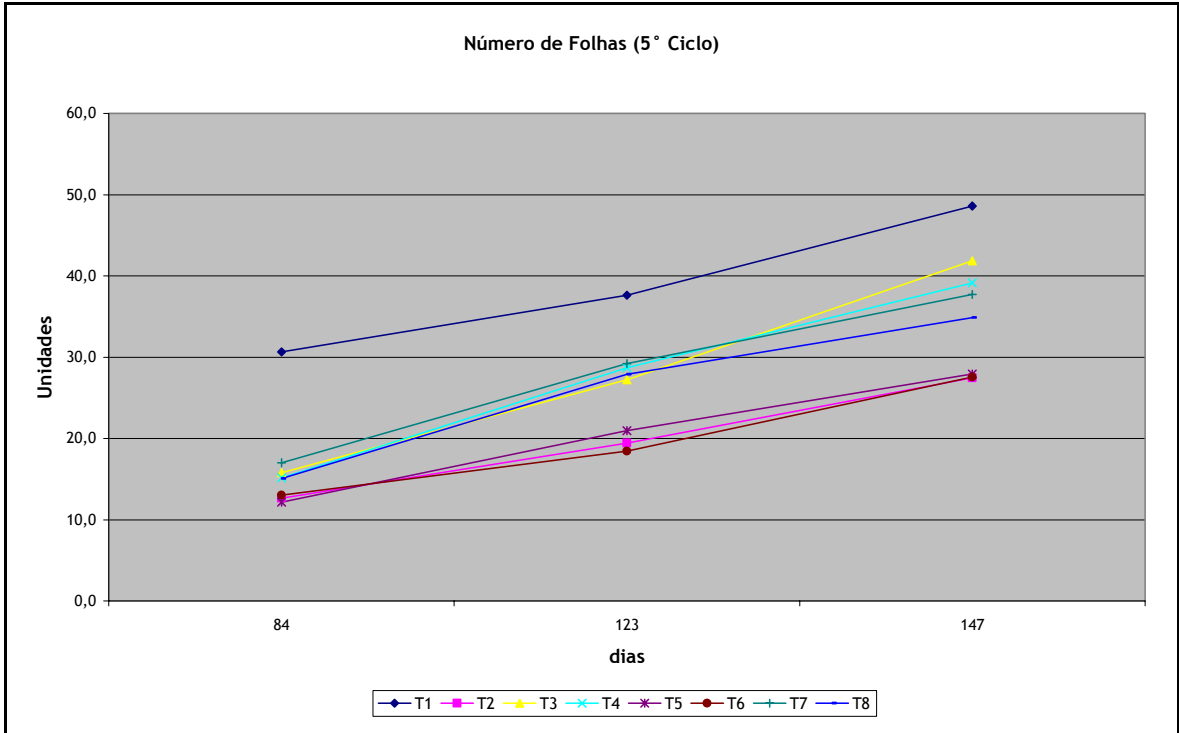


Figura 4.115 – Número de folhas das plantas no quinto ciclo.

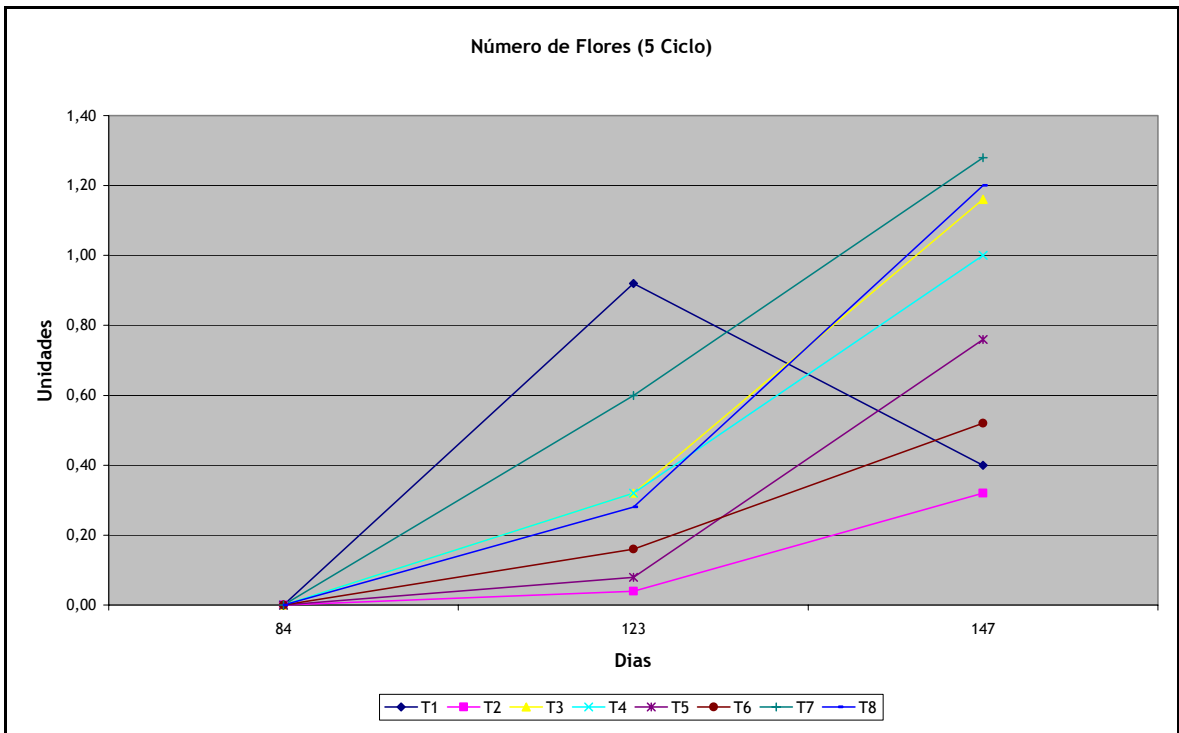


Figura 4.116 – Número de flores das plantas no quinto ciclo.

5 - METODOLOGIA

A metodologia baseou-se na análise com métodos multiobjetivo e multicritério de dados de experimentos precedentes a este, realizados em escala piloto, e que foram colimados nas dissertações de mestrado de Silva (2004) e Máximo (2005), além dos dados produzidos pela equipe da Universidade de Brasília no âmbito da rede 2 de pesquisa do PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, no seu Edital 4.

Após a análise desses dados com métodos multicriteriais, pôde-se indicar a ordem de preferência de utilização dos efluentes conforme suas performances obtidas em escala piloto. Por meio de recomendações da literatura pertinentes ao tema e o cruzamento com dados dos efluentes, obtiveram-se alternativas que indicam os melhores efluentes a serem utilizados em conjunto com sistemas/processos para adequação das águas de reúso. Por fim, de forma semelhante, acatando considerações da literatura pertinente aos sistemas de irrigação, obtiveram-se alternativas de sistemas de reúso de água que são compostas por (a) efluentes a serem utilizados, (b) sistemas/processos de adequação de águas de reúso e (c) sistemas de irrigação. O fluxograma seqüencial e geral da metodologia realizada é mostrado na Figura 5.1.

5.1 - METODOLOGIA DA ANÁLISE MULTIOBJETIVO/MULTICRITÉRIO

Esta parte da metodologia foi adaptada segundo Carneiro *et al.* (2000). Procurou-se, no modelo, encontrar a alternativa que melhor se ajustasse aos objetivos propostos, ou seja, atingir um ponto de solução satisfatória (conhecido como “ótimo de Pareto”), no qual nenhuma outra alternativa viável proporcionará melhora em qualquer dos objetivos, sem piorar pelo menos um dos outros objetivos (Souza, 1997).

Os objetivos a serem alcançados pela alternativa-solução são comumente determinados pelos Agentes Decisores, definidos como pessoas e organismos direta ou indiretamente relacionados com a decisão, que emitem opinião na determinação dos objetivos do problema e que têm interesse na decisão. As preferências dos agentes decisores estabelecidos neste trabalho foram consideradas conforme as várias recomendações bibliográficas (inclusive normas e leis) que são feitas para concepção de sistemas de reúso,

entendendo-se neste caso por efluente, sistema de tratamento e sistema de irrigação. As etapas de cada análise multicritério, foram necessariamente as cinco fases que se seguem.

FASE I - Identificação dos objetivos: Nesta etapa, devem ser definidos os objetivos gerais do problema. Para isso, é necessário, primeiramente, definir quem são os Agentes Decisores para o caso em estudo.

Criam-se, então, conjuntos de objetivos de acordo com os interesses isolados de cada Agente Decisor. Todos os objetivos delineados são analisados e compatibilizados, formando-se uma lista única de objetivos considerados.

FASE II - Critérios de decisão: São definidos os critérios de decisão que servirão como variáveis de comparação entre as alternativas concorrentes. Tais critérios devem ser criados a partir da lista de objetivos delineada na Etapa-I, podendo ser critérios de avaliação quantitativa ou qualitativa, cardinal ou ordinal.

FASE III - Geração de alternativas: Pela análise das características propõe-se um conjunto inicial de alternativas. Para isso, pode-se proceder de duas formas: (a) determinam-se quais são os efluentes/tratamentos/sistemas de irrigação que melhor se ajustam tecnologicamente ao caso e são propostas as alternativas; e (b) com base na experiência prévia do analista e de recomendações correlatas ao assunto, são propostas alternativas que sejam lógicas e tecnologicamente apropriadas ao caso. Neste caso específico, optou-se pela opção (a) e conforme recomendações da literatura. O conjunto inicial de alternativas é, então, verificado segundo as restrições técnicas inerentes ao caso estudado, determinando-se um conjunto final de alternativas viáveis que participarão do processo de seleção da alternativa-solução.

FASE IV - Construção da matriz de resultados: Nesta etapa, é definida a pontuação intracritério de todas as alternativas participantes, em relação aos critérios de decisão. Tal pontuação representa os graus ou eficiências de cada alternativa no cumprimento de cada critério. Deve-se, ainda, atribuir pesos aos critérios, de acordo com o grau de importância relativo entre os mesmos. A determinação desses pesos deve ser feita a partir de consulta direta ou indireta aos Agentes Decisores, e realizada com alto senso crítico, uma vez que os valores dos pesos dos critérios poderão ter grande influência na obtenção do resultado

do problema. Neste caso específico, foi utilizado o “Método de Simos Revisado”, por meio do *software* SRF, para determinação dos pesos dos critérios e será discutido no item 5.2.

FASE V - Alcance da solução: Aplicam-se um ou mais métodos matemáticos de análise de decisão multiobjetivo. Os resultados obtidos são, então, analisados para se chegar a uma alternativa-solução. Caso esta não seja viável, deve-se fazer a retroalimentação do modelo.

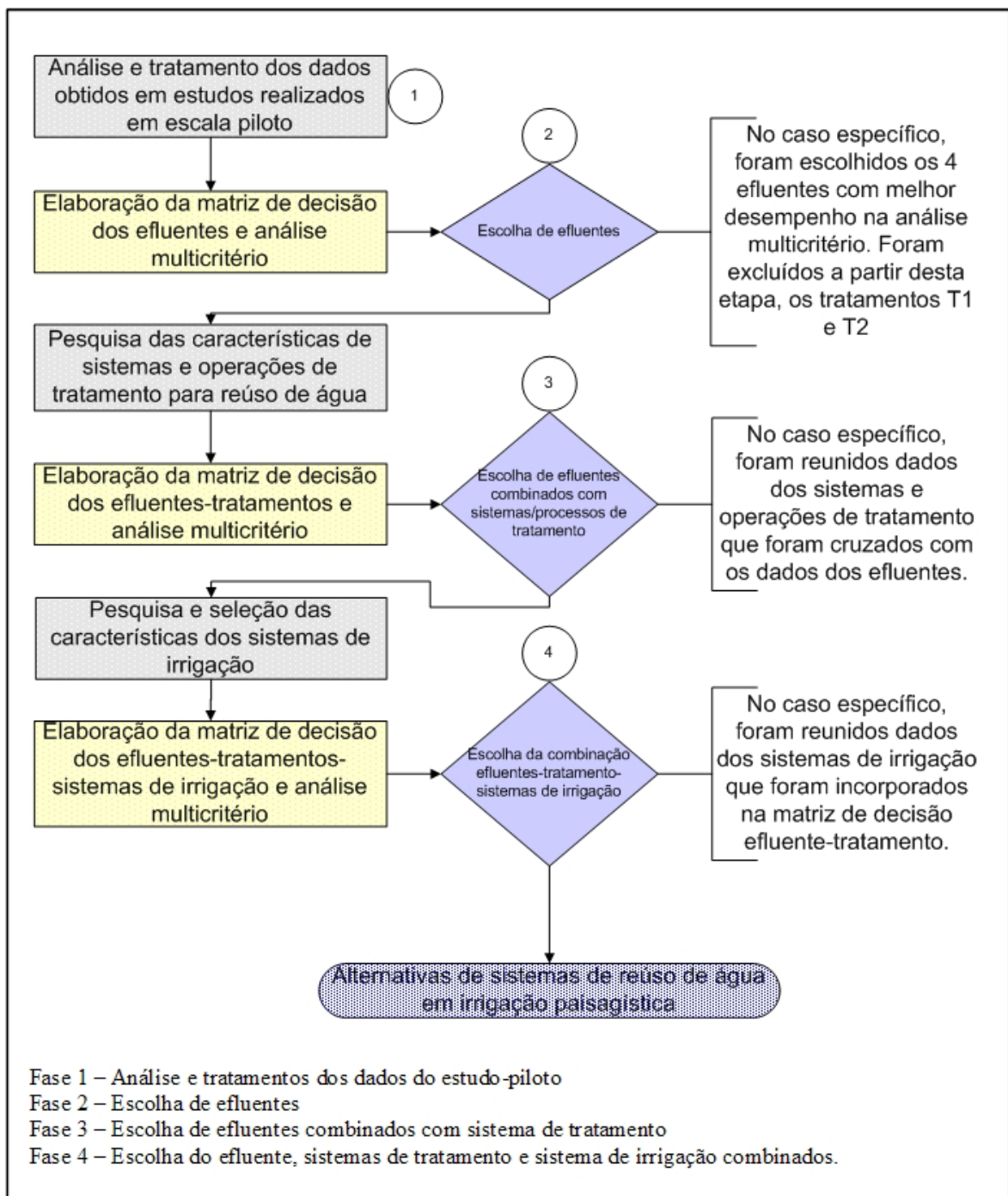


Figura 5.1 – Fluxograma sequencial e geral da metodologia

5.2 - ESCOLHA DOS EFLUENTES

Na utilização de métodos de análise multiobjetivo para escolha do efluente a ser utilizado na fertirrigação, efluente este chamado muitas vezes neste texto de “tratamento”, os critérios a serem considerados devem representar os aspectos positivos e negativos da utilização do efluente a ser escolhido. Para isso, a discussão desses critérios deve ser detalhada para que nenhum aspecto possa ser negligenciado.

Para a hierarquização dos efluentes, foram considerados todos os resultados obtidos nos estudos em escala piloto. Os objetivos avaliados na escolha do melhor efluente foram: (1) Maximização da produtividade (2) Minimização do consumo de fertilizantes, (3) Minimização dos impactos ao solo, (4) Minimização do potencial de contaminação das águas subterrâneas, (5) Minimização dos riscos à saúde pública e (6) Minimização de problemas operacionais com o sistema de irrigação.

Para cada objetivo a ser atingido estabeleceu-se uma série de critérios que possam representar e definir qual o grau de atendimento ao objetivo está sendo feito por parte da alternativa. A Tabela 5.1 mostra os critérios que estão representando cada objetivo a ser atingido na seleção dos efluentes a serem utilizados em irrigação paisagística.

5.2.1 - Maximização da produtividade

Este objetivo, basicamente consiste em avaliar os resultados obtidos de produtividade da cultura fertirrigada com determinado efluente.

Com culturas comestíveis ou destinadas para a produção industrial, normalmente os parâmetros utilizados para avaliar a produtividade são aspectos como: porcentagem de proteínas nos grãos e na palha no caso do sorgo (Mota, 2000), porcentagem de produção de fibras e produção em kg/ha no caso do algodão (Bezerra, 2000) ou mesmo tamanho, peso e firmeza no caso da avaliação da produtividade da cultura do tomate fertirrigado com diferentes níveis de diluição de efluentes (Al-Laham *et al.*, 2003).

Entretanto para a produção florífera, tais aspectos não seriam pertinentes devido ao fato de que a produtividade com relação às flores está relacionada à beleza, e esta aferição deve ser

feita de forma diferente dessas comumente empregada às outras culturas. Com relação às flores, Mendonça *et al.* (2003), verificaram a resposta de duas espécies floríferas, *Gypsophilia paniculata* e Crisântemo, à aplicação de efluentes com a técnica de hidroponia, mensurando a quantidade de massa seca da inflorescência (g/planta).

Silva & Silva (2004) mensurou a produtividade da Dália Anã Sortida por meio dos parâmetros altura do caule, número de folhas (>2 cm) e diâmetro do caule; e Máximo (2005), em trabalho semelhante e complementar, observou a produtividade da mesma cultura pela altura do caule, número de folhas (>2 cm), diâmetro do caule, número de botões e número de flores. O número de botões se mostrou um parâmetro virtual, que indica possível florescência de flores e não foi utilizado como critério para maximização da produtividade.

Também foram feitas análises dos tecidos das folhas e raízes das plantas. Por meio da concentração de macronutrientes podem-se avaliar como estes estão sendo consumidos pelas plantas, o que indica, indiretamente, a produtividade da mesma. Então, com o objetivo de medir a maximização da produtividade, foram considerados os critérios mostrados na Tabela 5.1.

5.2.2 - Minimização de consumo de fertilizantes

Devido ao fato de que uma das grandes vantagens do reúso em aplicações agrícolas é a fertirrigação, deve-se escolher um efluente que não só supra a necessidade hídrica da cultura, mas que também possibilite nutrientes para um melhor desenvolvimento da mesma. Portanto, as concentrações de N, P e K nos efluentes foram considerados critérios para a Minimização do consumo de fertilizantes.

5.2.3 - Minimização de impactos negativos ao solo

Na fertirrigação com águas residuárias, é comum a ocorrência de salinização dos solos, e conseqüente perda de produção agrícola, devido ao fato das águas residuárias muitas vezes conterem altos teores de sais. Com relação à salinização dos solos, foram considerados como critérios para minimização de impactos negativos ao solo os parâmetros

estabelecidos e recomendados por Ayers e Westcot (1985), que podem ser vistos na Tabela 1 do Apêndice 6.

Outra vantagem da utilização de águas residuárias em irrigação é que estas podem proporcionar um incremento de matéria orgânica no solo, podendo aumentar a produtividade. Portanto os fatores que avaliam essas melhorias ao solo também foram escolhidos para representar a minimização de impactos negativos ao solo. Outros quesitos respeitados são os valores orientadores para solo e águas subterrâneas no estado de São Paulo (CETESB, 2005) que pode ser visto na Tabela 6 do Apêndice 6.

5.2.4 - Minimização do potencial de contaminação do lençol freático

Neste objetivo, os critérios considerados são basicamente os valores orientadores para solo e águas subterrâneas no estado de São Paulo (CETESB, 2005) e também parâmetros da portaria 518 do Ministério da Saúde, considerando que os percolados são águas que iriam contaminar possíveis mananciais subterrâneos. A minimização deste potencial seria feita caso fossem usados efluentes que causassem menos impactos.

5.2.5 - Minimização dos riscos à saúde pública

Para avaliação dos riscos à saúde pública ao se fazer reúso em irrigação paisagística, foram consideradas as recomendações referentes à qualidade da água, da Organização Mundial de Saúde – OMS (1989) e da regulamentação restritiva do estado americano da Califórnia (Crites e Tchobanoglous, 1998). O parâmetro *E coli*, seguindo recomendação da OMS, foi considerado mais pertinente dos que os parâmetros seguidos na Califórnia (Coliformes Totais, DBO, SST, Turbidez e Nitrogênio Total) para não se restringir em condições de reúso de modo que este se torne inviável. Mesmo assim, consideram-se os parâmetros californianos.

5.2.6 - Minimização de problemas com sistema de irrigação

Este objetivo visa a diminuição de problemas operacionais em sistemas de irrigação, principalmente por se tratar de aplicação de águas residuárias, e que, nestes casos, requerem sistemas de irrigação que possibilitem menor contato com trabalhadores e

transeuntes mas também necessitam de melhor qualidade da água e maior freqüência de manutenção.

Tabela 5.1 – Objetivos e critérios da seleção do efluente pela análise multicritério

Num.	Objetivo	Critérios	Preferência	Num.	Objetivo	Critérios	Preferência
	Maximizar a produtividade						
1		Altura do caule	Crescente	24		Coliformes totais percolados	Decrescente
2		Diâmetro do caule	Crescente	25		Fósforo total percolados	Decrescente
				26		Cloretos percolados	Decrescente
3		Numero de folhas	Crescente			Parâmetros e valores estabelecidos pela cetesb para solos e águas subterrâneas	
4		Numero de flores	Crescente	27		Nitrato	Decrescente
		Macronutrientes nas folhas		28		Ferro	Decrescente
5		Nitrogênio	Crescente	29		Níquel	Decrescente
6		Fósforo	Crescente	30		Cobre	Decrescente
7		Potássio	Crescente	31		Alumínio	Decrescente
		Macronutrientes na raiz		32		Manganês	Decrescente
8		Enxofre	Crescente	33		Bário	Decrescente
9		Fósforo	Crescente	34		Cobalto	Decrescente
10		Potássio	Crescente	35		Zinco	Decrescente
	Minimizar o consumo de adubo			36		Chumbo	Decrescente
11		Maior valor de n	Crescente	37		Cádmio	Decrescente
12		Maior valor de p	Crescente	38		Molibdênio	Decrescente
13		Maior valor de k	Crescente			Minimizar riscos à saúde pública	
	Minimizar impactos ao solos					Padrões OMS	
14		Ce das águas de irrigação	Decrescente	39		<i>E coli</i>	Decrescente
15		RAS das águas de irrigação	Decrescente			Padrão Califórnia	
16		Matéria orgânica do solo	Crescente	40		Coliformes totais	Decrescente
17		C solo	Crescente	41		DBO	Decrescente
18		P solo	Crescente	42		Sólidos suspensos	Decrescente
19		RAS solo	Decrescente	43		Nitrogênio total	Decrescente
20		PST do solo	Decrescente	44		DQO	Decrescente
21		Cobre em solos	Decrescente			Minimizar problemas com sistema de irrigação	
22		Zinco em solos	Decrescente	45		Sólidos suspensos	Decrescente
	Minimizar potencial de contaminação das águas subterrâneas			46		pH	Decrescente
23		Ce percolados	Decrescente	47		Sd	Decrescente
				48		Fé	Decrescente

Conforme Tabela 3.10, mostrada no capítulo 3, foram escolhidos os critérios para a representação e alcance deste objetivo. Bastos e Bevilacqua (2006) recomendam valores limites para sólidos suspensos, pH, sólidos dissolvidos, manganês, ferro e bactérias heterotróficas. Foram escolhidos os critérios em função da disponibilidade de dados.

5.3 - ESCOLHA DOS EFLUENTES COMBINADOS COM SISTEMAS/OPERAÇÕES DE TRATAMENTO PARA FINS DE REÚSO

A princípio, para a continuação do trabalho, foram desconsideradas duas alternativas de efluentes. Os dois efluentes testemunhas, T1 = água + adubação com NPK e T2 = água do Lago Paranoá, não seriam mais analisados por não se tratarem na verdade de águas residuárias e suas realização nos experimentos pilotos serviu apenas como testemunha.

Posteriormente, excluíram-se mais duas alternativas e, nesta fase (fase 3) trabalhou-se apenas com quatro alternativas, para que as combinações efluente-sistema não se tornassem demasiadamente complexas e dispendiosas. Restaram então as 4 melhores alternativas.

Os objetivos nesta fase são basicamente os mesmos da fase 2, entretanto foi adicionado o “objetivo de minimização de custos” que tem como critérios os custos de implantação e de operação/manutenção.

Nos critérios de custos de implantação e operação/manutenção da filtração foram considerados segundo Richard (1998), conforme mostrado na Tabela 3.4, no Capítulo 3.

Os valores foram transformados de dólares para reais considerando a cotação de 20 de novembro de 2007 que ficou em R\$ 1,7866. Os custos dos sistemas de desinfecção foram considerados segundo a Tabela 3.9 que representam estudos realizados no Brasil no âmbito do PROSAB 3.

Com relação aos outros critérios, foram estimadas as concentrações após a utilização do percentual de eficiências médias de cada sistema. Para a definição das eficiências de cada sistema para cada parâmetro (critério), usaram-se as eficiências apontadas nas Tabelas 3.5 e 3.6.

Foi feita uma análise multicritério preliminar para a pré-seleção dos sistemas de desinfecção a serem incorporados como alternativa de sistemas/operações de tratamento.

Para isso foram considerados dados da Tabela 3.8 e atribuíram-se valores para cada classificação, conforme Tabela 5.2.

Foram selecionados três métodos de desinfecção. Os métodos de desinfecção analisados foram dióxido de cloro, cloro gasoso, hipoclorito UV e ozonização.

Após esta análise preliminar, foi feita a concepção das seguintes alternativas de tratamento de águas residuárias para fins de reúso:

- (1) sem tratamento adicional;
- (2) somente filtração;
- (3) somente desinfecção; e
- (4) filtração e desinfecção.

A partir dessas considerações, obtiveram-se as alternativas de efluente combinadas com sistemas de tratamento para reúso mostradas na Tabela 5.3.

Tabela 5.2 – Atribuição de valores para cada classificação dos critérios de seleção de tipos de desinfecção.

VALOR ATRIBUÍDO*	1	2	3	4	5
EFICIÊNCIA DE DESINFECÇÃO	MENOR	MÉDIO	ELEVADO		
APLICABILIDADE A ETES	PEQUENA		MÉDIA		GRANDE
GERAÇÃO DE SUBPRODUTOS	POSSÍVEL	MENOR	NÃO		
PUREZA DO DESINFETANTE	BAIXA	BOA	ELEVADA		
TOXICIDADE À VIDA AQUÁTICA	ELEVADA	NÃO			
GRAU MÍNIMO DE TRATAMENTO	SECUNDÁRIO	PRIMÁRIO			
CORROSIVIDADE	ELEVADA	NÃO			
RISCOS OPERACIONAIS	ELEVADOS	MODERADOS	NÃO		

*Conforme classificação de Metcalf & Eddy (2003).

Tabelas 5.3 – Alternativas de efluentes combinados com tratamento complementar

Nº DAS ALTERNATIVAS	EFLUENTE	TRATAMENTO	CÓDIGO
1	T3	nada	T3
2	T4	nada	T4
3	T7	nada	T7
4	T8	nada	T8
5	T3	filtração	T3F
6	T4	filtração	T4F
7	T7	filtração	T7F
8	T8	filtração	T8F
9	T3	UV	T3U
10	T4	UV	T4U
11	T7	UV	T7U
12	T8	UV	T8U
13	T3	Cloração	T3CL
14	T4	Cloração	T4CL
15	T7	Cloração	T7CL
16	T8	Cloração	T8CL
17	T3	ozonização	T3O
18	T4	ozonização	T4O
19	T7	ozonização	T7O
20	T8	ozonização	T8O
21	T3	filtração + UV	T3FU
22	T4	filtração + UV	T4FU
23	T7	filtração + UV	T7FU
24	T8	filtração + UV	T8FU
25	T3	filtração + Cloração	T3FCL
26	T4	filtração + Cloração	T4FCL
27	T7	filtração + Cloração	T7FCL
28	T8	filtração + Cloração	T8FCL
29	T3	filtração + ozonização	T3FOZ
30	T4	filtração + ozonização	T4FOZ
31	T7	filtração + ozonização	T7FOZ
32	T8	filtração + ozonização	T8FOZ

5.4 - ESCOLHA DO SISTEMA “EFLUENTES+SISTEMAS/OPERAÇÕES DE TRATAMENTO+SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO”

Para a escolha do sistema completo, efluentes+sistemas/operações de tratamento+sistemas de irrigação, foi delimitado quais seriam os métodos e sistemas de irrigação que complementaríamos as alternativas de sistemas de reúso de água em irrigação ornamental.

Dentre os métodos de irrigação, os de superfície não foram considerados por não serem métodos usualmente empregados em canteiros florísticos urbanos, permitirem uma maior exposição dos efluentes além da incompatibilidade estética. Sua aplicação é comum em áreas rurais, onde não se têm transeuntes que possam ter um contato com as águas de irrigação. Os métodos de sub-irrigação, onde se necessita controlar o nível do lençol freático, também foi desconsiderado.

Dentre os sistemas do método de aspersão, os de maior porte como, por exemplo, o pivô central, não foram considerados. Dos sistemas deste método, foi considerado o sistema de aspersão convencional. A maior abrangência foi dos sistemas de irrigação localizada. Foram analisados os sistemas de gotejamento, gotejamento sub-superficial e a microaspersão.

Os objetivos considerados na escolha do sistema de irrigação foram: (1) Maximizar a flexibilidade operacional; (2) Maximizar eficácia na irrigação; (3) Minimização de custos; (4) Minimização de impactos à culturas; (5) Minimização de impactos à saúde pública e (6) Minimizar dificuldades de implantação, manutenção e operação. Os critérios pertinentes a estes objetivos são mostrados na Tabela 5.4.

Para a determinação dos valores dos critérios, foi feita a enumeração das classificações feitas na Tabela 3.11 e 3.12, do capítulo 3, onde as características de cada critério foram transformadas em números.

Para a etapa 4 final, foram montadas duas matrizes. A matriz 1 refere-se às cinco melhores alternativas da etapa 3 sendo, distributivamente, cruzadas com os quatro sistemas de irrigação totalizando 20 alternativas. A matriz 2 refere-se às duas melhores alternativas de cada efluente, totalizando oito alternativas (2x4) cruzando-se distributivamente com os quatro sistemas de irrigação, totalizando 32 alternativas.

A princípio, foi estabelecido que as matrizes fossem compostas por 30 critérios, todavia, devido aos resultados de etapa 3 (escolha efluente-tratamento) a matriz 1 considerou apenas 20 critérios. Isso aconteceu porque as cinco melhores alternativas da etapa 3 têm como efluente o T3, e 10 critérios que seriam iguais a todas as alternativas foram desconsiderados nesta matriz. As alternativas e os critérios das matrizes 1 e 2 são mostradas na Tabela 5.5 e 5.6 respectivamente.

Os códigos das alternativas referem-se primeiramente aos efluentes (p.e. T3=tratamento primário), aos processos/operações de tratamento (p.e. FOZ=filtração+ozonização) e por fim aos sistemas de irrigação (p.e. AS=aspersão). O significado dos códigos é mostrado na Tabela 5.7.

Tabela 5.4 – Critérios para a escolha do sistema de irrigação

NUM.	OBJETIVO	CRITÉRIOS	PREFERÊNCIA*
FLEXIBILIDADE OPERACIONAL			
1		ADAPTAÇÃO À TOPOGRAFIA	CRESCENTE
2		RESTRICÇÕES RELATIVAS À TAXA DA APLICAÇÃO	CRESCENTE
EFICÁCIA NA IRRIGAÇÃO			
3		EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA	CRESCENTE
CUSTOS			
4		CUSTOS	CRESCENTE
IMPACTOS À CULTURAS			
5		SENSIBILIDADE DA CULTURA AO MOLHAMENTO	CRESCENTE
IMPACTOS À SAÚDE PÚBLICA			
6		FORMAÇÃO DE AEROSSÓIS	CRESCENTE
7		FORMAÇÃO DE ODORES	CRESCENTE
8		EXPOSIÇÃO AO PÚBLICO	CRESCENTE
FACILIDADES DE IMPLANTAÇÃO, MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO			
9		FACILIDADES DE INSTALAÇÃO	CRESCENTE
10		SUSCEPTIBILIDADE AO ENTUPIAMENTO	CRESCENTE

* Critérios comparativos, e por isso estão como sempre crescentes

Tabela 5.5 – Critérios e alternativas da Matriz 1 para seleção do sistema

ALTERNATIVAS	CÓDIGOS	Nº CRITÉRIO	CRITÉRIOS
1	T3FCLAS	1	E COLI
2	T3CLAS	2	COLIFORMES TOTAIS
3	T3UAS	3	DBO
4	T3FUAS	4	SS QUALIDADE
5	T3OAS	5	NITROGÊNIO TOTAL
6	T3FCLGO	6	DQO
7	T3CLGO	7	SS IRRIGAÇÃO
8	T3UGO	8	FERRO IRRIGAÇÃO
9	T3FUGO	9	CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO TRATAMENTO
10	T3OGO	10	CUSTOS DE OPERAÇÃO TRATAMENTO
11	T3FCLSS	11	ADAPTAÇÃO À TOPOGRAFIA
12	T3CLSS	12	RESTRICÇÕES RELATIVAS À TAXA DA APLICAÇÃO
13	T3USS	13	EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA
14	T3FUSS	14	CUSTOS DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO
15	T3OSS	15	SENSIBILIDADE DA CULTURA AO MOLHAMENTO
16	T3FCLMA	16	FORMAÇÃO DE AEROSSÓIS
17	T3CLMA	17	FORMAÇÃO DE ODORES
18	T3UMA	18	EXPOSIÇÃO AO PÚBLICO
19	T3FUMA	19	FACILIDADES DE INSTALAÇÃO
20	T3OMA	20	SUSCEPTIBILIDADE AO ENTUPIAMENTO

5.5 - DETERMINAÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS

Conforme o “Método de Simos Revisado”, abordado no item 3.4.1.1, os critérios devem ser ordenados por preferência, sendo o primeiro critério da ordenação o menos importante.

Na Tabela 5.2 mostra-se a ordenação dos critérios utilizados nas etapas 2 (escolha do efluente) e 3 (escolha dos efluentes-sistemas/processos de tratamento).

Esta ordenação foi feita considerando-se os objetivos:

- (1) Minimizar problemas com o sistema de irrigação;
- (2) minimizar potencial de poluição das águas subterrâneas;
- (3) minimizar impactos ao solo;
- (4) minimizar consumo de fertilizantes;
- (5) minimizar riscos à saúde pública; e
- (6) maximizar a produtividade.

Como o reúso em irrigação tem como premissas básicas aumentar a produtividade diminuindo os gastos com fertilizantes e com precauções para não comprometer a saúde pública, esses foram considerados os objetivos mais importantes.

Contudo, dentre os objetivos mais pertinentes, considerou-se que alguns critérios teriam um grau de importância maior que os demais critérios do mesmo objetivo. Dessa forma, o critério “E *coli* dos efluentes” se colocou no mesmo *ranking* que os critérios que indicam resultados de produtividade.

Em seguida ficaram os critérios que indicam disponibilidade e absorção de nutrientes pelas plantas (potencial de produtividade) e o critério “coliformes totais dos efluentes”.

Uma observação a ser feita, é que procurou-se considerar o objetivo “minimizar os riscos à saúde pública” como um dos mais importantes, por isso seus critérios encontram-se nas posições mais elevadas. Todavia, os critérios recomendados pelos padrões de reúso californianos ficaram em segundo plano, e as recomendações da OMS como prioritárias.

Tabela 5.6 – Critérios e alternativas da Matriz 2 para seleção do sistema

ALTERNATIVAS	CÓDIGOS	Nº CRITÉRIO	CRITÉRIOS
1	T3CLAS	1	E COLI
2	T3FCLAS	2	COLIFORMES TOTAIS
3	T7FCLAS	3	DBO
4	T7CLAS	4	SS QUALIDADE
5	T8CLAS	5	NITROGÊNIO TOTAL
6	T8FCLAS	6	DQO
7	T4CLAS	7	SS IRRIGAÇÃO
8	T4FCLAS	8	FERRO IRRIGAÇÃO
9	T3CLGO	9	CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO TRATAMENTO
10	T3FCLGO	10	CUSTOS DE OPERAÇÃO TRATAMENTO
11	T7FCLGO	11	ALTURA DO CAULE
12	T7CLGO	12	DIAMETRO DO CAULE
13	T8CLGO	13	NÚMERO DE FOLHAS
14	T8FCLGO	14	NÚMERO DE FLORES
15	T4CLGO	15	CE ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO
16	T4FCLGO	16	RAS ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO
17	T3CLSS	17	RAS SOLO
18	T3FCLSS	18	PST SOLO
19	T7FCLSS	19	COLIFORMES TOTAIS PERCOLADOS
20	T7CLSS	20	NITRATO PERCOLADOS
21	T8CLSS	21	ADAPTAÇÃO À TOPOGRAFIA
22	T8FCLSS	22	RESTRIÇÕES RELATIVAS À TAXA DA APLICAÇÃO
23	T4CLSS	23	EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA
24	T4FCLSS	24	CUSTOS DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO
25	T3CLMA	25	SENSIBILIDADE DA CULTURA AO MOLHAMENTO
26	T3FCLMA	26	FORMAÇÃO DE AEROSSÓIS
27	T7FCLMA	27	FORMAÇÃO DE ODORES
28	T7CLMA	28	EXPOSIÇÃO AO PÚBLICO
29	T8CLMA	29	FACILIDADES DE INSTALAÇÃO
30	T8FCLMA	30	SUSCEPTIBILIDADE AO ENTUPIMENTO
31	T4CLMA		
32	T4FCLMA		

No terceiro patamar, ficaram os critérios para “minimizar o consumo de fertilizantes” juntamente com as recomendações da Califórnia por serem consideradas menos importantes que as da OMS.

O critério “nitrato dos percolados”, apesar de se tratar do objetivo “minimizar potencial de poluição das águas subterrâneas” ficou neste patamar (terceiro) por ser um parâmetro muito associado à contaminação das águas subterrâneas, ser persistente em águas subterrâneas e originar a popularmente “síndrome do bebê azul”.

Tabela 5.7 – Significado dos códigos das alternativas de seleção de sistemas de reúso

EFLUENTES		SISTEMAS DE TRATAMENTO		SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO	
CÓDIGO	SIGNIFICADO	CÓDIGO	SIGNIFICADO	CÓDIGO	SIGNIFICADO
T3	EFLUENTE PRIMÁRIO	F	FILTRAÇÃO	AS	ASPERSÃO
T4	EFLUENTE SECUNDÁRIO	U	DESINFECÇÃO POR UV	GO	GOTEJAMENTO
T7	EFLUENTE DE UASB	CL	CLORAÇÃO	SS	SUB-SUPERFICIAL
T8	EFLUENTE DA LAGOA DE ALTA TAXA	OZ	OZONIZAÇÃO	MA	MICROASPERSÃO

Os critérios de impacto aos solos foram divididos em dois patamares, o quarto e o quinto. No quarto patamar encontram-se os critérios que são resultados da irrigação por águas residuárias, e no quinto patamar ficaram os parâmetros que são indicadores de impactos ao solo.

No sexto patamar ficaram os critérios do objetivo “minimizar o potencial de poluição das águas subterrâneas” por se tratarem justamente de um potencial, possibilidade; pois na verdade não são valores encontrados nas águas subterrâneas, mas sim são concentrações que poderiam aportar nas águas subterrâneas.

Tratam-se, na verdade, de concentrações após percolação em 80 cm de solo (profundidade dos recipientes usados no experimento piloto). No sétimo e último patamar, encontram-se os critérios da “minimização de problemas com irrigação” que apesar de serem importantes, estes podem ser minimizados com uma adequada manutenção nos sistemas.

Na etapa 3 (escolha do efluente-sistema de tratamento) foram adicionados dois critérios: custos de implantação e custos de operação.

Os outros critérios foram ajustados, considerando as eficiências dos sistemas de tratamento aos dados dos efluentes obtendo-se novas concentrações do efluente, como se este tivesse sido tratado.

Tabela 5.8 – Ordenação dos critérios por preferência nas etapas 2 e 3

Código	Descrição do critério
F1	Sólidos suspensos interferindo nos sistemas de irrigação
F2	pH interferindo nos sistemas de irrigação
F3	Sólidos dissolvidos interferindo nos sistemas de irrigação
F4	Ferro interferindo nos sistemas de irrigação
Carta branca	
D1	Condutividade elétrica dos percolados
D2	Coliformes totais dos percolados
D3	Fósforo total dos percolados
D4	Cloretos dos percolados
D6	Ferro dos percolados
D7	Níquel dos percolados
D8	Cobre dos percolados
D9	Alumínio dos percolados
D10	Manganês dos percolados
D11	Bário dos percolados
D12	Cobalto dos percolados
D13	Zinco dos percolados
D14	Chumbo dos percolados
D15	Cádmio dos percolados
D16	Molibdênio dos percolados
Carta branca	
C1	Condutividade elétrica dos efluentes
C2	RAS dos efluentes
Carta branca	
C3	Matéria orgânica no solo
C4	Carbono solo
C5	Fósforo no solo
C6	RAS do solo
C7	PST do solo
C8	Cobre no solo
C9	Zinco no solo
Carta branca	
B1	Nitrogênio nos efluentes como fertilizante
B2	Fósforo nos efluentes como fertilizante
B3	Potássio nos efluentes como fertilizante
D5	Nitrato nos percolados (CETESB, (2005)
E3	DBO efluente (Califórnia)
E4	Sólidos suspensos no efluente (Califórnia)
E5	Nitrogênio Total nos efluentes (Califórnia)
E6	DQO efluentes
Carta branca	
A5	Nitrogênio nas folhas
A6	Fósforo nas folhas
A7	Potássio nas folhas
A8	Nitrogênio Raiz
A9	Fósforo na raiz
A10	Potássio na raiz
E2	Coliformes totais dos efluentes
Carta branca	
A1	Altura do caule
A2	Diâmetro do caule
A3	Número de folhas
A4	Número de flores
E1	<i>E coli</i> efluentes

Na etapa 4 (escolha do efluente-sistemas/operações de tratamento-sistemas de irrigação) a ordenação dos critérios segundo o “Método de Simos Revisado” é mostrada na Tabela 5.3. Nesta, os parâmetros referentes aos objetivos de escolha do sistema de irrigação foram incorporados aos dados utilizados na etapa 3. Os objetivos que se referem especificamente aos sistemas de irrigação não tiveram os critérios comuns aos objetivos nos mesmos patamares. Os critérios que ficaram nos patamares superiores foram referentes à minimização dos impactos à saúde pública e os critérios de custos.

Tabela 5.9 – Ordenação dos critérios para o sistema efluente-tratamento-irrigação

Código	Descrição do critério
F1	Sólidos suspensos interferido nos sistemas de irrigação
F4	Ferro interferindo nos sistemas de irrigação
H1	Adaptação à topografia
H2	Restrições da taxa de aplicação
Carta Branca	
D2	Coliformes Totais percolados
I1	Eficiência do uso da água
Carta Branca	
C1	CE águas de irrigação
C2	RAS águas de irrigação
L1	Sensibilidade da cultura ao molhamento
N1	Facilidades de instalação
Carta Branca	
C6	RAS solo
C7	PST solo
Carta Branca	
E3	DBO
E4	Sólidos suspensos das águas de irrigação
E5	Nitrogênio total
E6	DQO
D5	Nitrato percolados
Carta Branca	
E2	Coliformes Totais
M2	Formação de odores
N2	Susceptibilidade ao entupimento.
Carta Branca	
E1	<i>E coli</i>
G1	Custos de implantação do tratamento
G2	Custos de operação do tratamento.
A1	Altura do caule
A2	Diâmetro do caule
A3	Numero de folhas
A4	Número de flores
J1	Custos dos sistemas de irrigação
M1	Formação de aerossóis
M3	Exposição ao público

5.6 - MÉTODOS MULTICRITERIAIS E *SOFTWARES* UTILIZADOS

Nas análises preliminares de escolha de sistemas de desinfecção utilizaram-se os *softwares* “CELECTRE”, disponível em www.n3p.ufjf.br/eELECTRE e a versão demo do ELECTRE 3-4 disponível em www.lamsade.dauphine.fr. Os *layouts* do CELECTRE e do ELECTRE 3-4 (versão demo) são mostrados na Figura 5.2a e b.

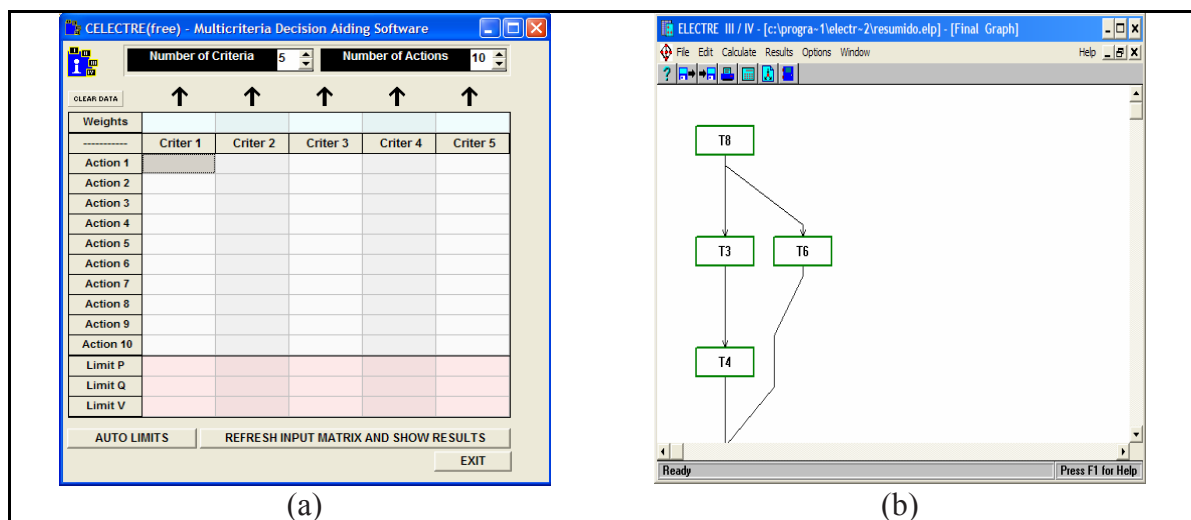


Figura 5.2 – Layouts dos *softwares* utilizados na análise preliminar.

Para os métodos CP, Promethee, Topsis, foi utilizado um SAD (Sistema de Apoio à Decisão), que se encontra em fase experimental, sendo concebido pelo Programa de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (SAD-PTARH). O *software* SRF, foi gentilmente cedido pelo professor Bernard Roy do LAMSADE exclusivamente para fins acadêmicos. O *layout* do SAD-PTARH e do SRF podem ser vistos nas Figuras 5.3a e b.

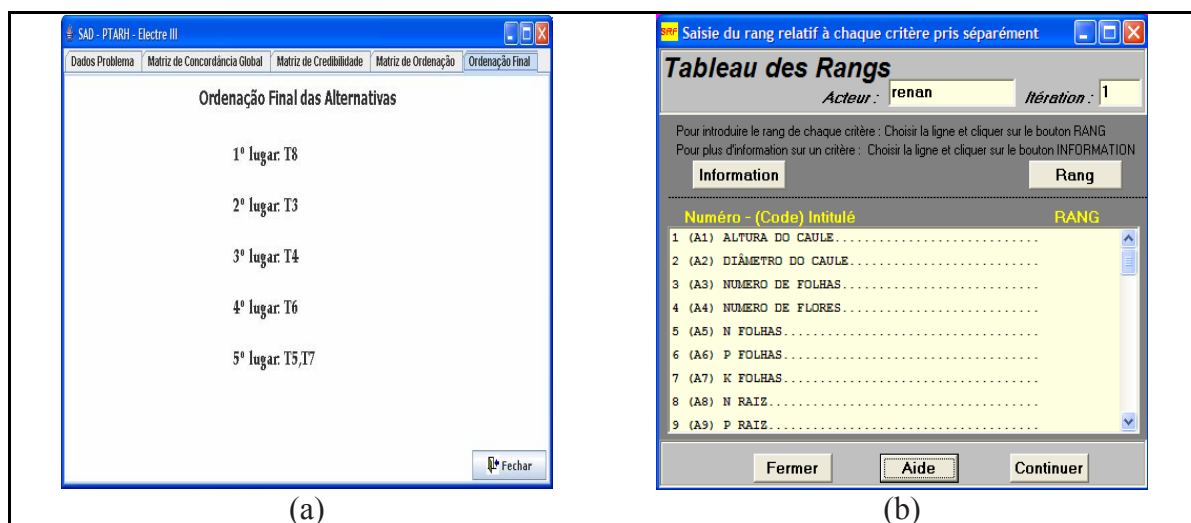


Figura 5.3 – Layout do SAD-PTARH (a) e do SRF (b)

6 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo é composto de basicamente 4 (quatro) etapas. A etapa 1 discorrerá sobre os resultados obtidos em escala piloto na pesquisa realizada pela equipe da Universidade de Brasília participante do PROSAB 4, tema 2. A etapa 2 é sobre a escolha do efluente a ser utilizado em irrigação paisagística, por meio da análise multiobjetivo/multicritério e utilizando dados da pesquisa em escala piloto. Por conseguinte as etapas 3 e 4 tratam da escolha, respectivamente, do sistema de tratamento adicional a ser utilizado e sobre a escolha do sistema de irrigação, ambas, também, por meio da análise multiobjetivo/multicritério e recomendações da literatura especializada. A etapa (3) terceira foi realizada considerando os efluentes com melhor performance na análise multicritério e combinando informações da literatura especializada sobre os sistemas de tratamento para fins de reúso. Portanto, a escolha do sistema de tratamento adicional foi feita em função dos efluentes escolhidos. Da mesma forma, na etapa (4) quarta foi feita a análise multicritério considerando as alternativas com melhor performance na etapa (3) terceira e em função delas foi proposto um sistema de irrigação, resultando em alternativas que são compostas por um tipo de efluente, uma concepção de tratamento adicional e um sistema de irrigação.

6.1 - RESULTADOS OBTIDOS EM ESCALA PILOTO

6.1.1 - Águas de irrigação

6.1.1.1 - Ciclo 1

De acordo com a classificação da água de irrigação proposta pelo *US Salinity Laboratory Staff – USDA, Agriculture Handbook n° 60*, a água de irrigação T2 é classificada como C1S1, o que indica água com baixa salinidade e baixa concentração de sódio, o que significa que pode ser usada na maioria das culturas e na maioria dos solos com pequenas possibilidades de ocasionar salinidade e de alcançar níveis perigosos de sódio trocável.

Com relação às águas de irrigação T3 e a T6, estas se classificaram como C2S4 indicando água com salinidade média e água com muita alta concentração de sódio. Com relação à

salinidade pode ser usada sempre que houver um grau moderado de lixiviação. Com relação à concentração de sódio é geralmente imprópria para irrigação, exceto quando sua salinidade for baixa ou média, e se a concentração de cálcio do solo ou outros corretivos tornarem o uso dessa água viável.

A água de irrigação T5 obteve a classificação C2S3 que significa água com salinidade média e que pode produzir níveis maléficos de sódio trocável na maioria dos solos e requer práticas de manejo do solo, boa drenagem, alta lixiviação e adição de matéria orgânica.

As águas de irrigação T7 e T8 obtiveram classificação C3S4 que corresponde à alta salinidade, não podendo ser usada em solos com deficiência de drenagem, e muito alta concentração de sódio. Pelo diagrama da US Salinity Laboratory Staff que diz respeito ao perigo de salinização, essa água se enquadra em risco muito alto.

6.1.1.2 - Ciclo 3

Pela classificação do USDA, a água de irrigação T2 se enquadra como C1S1 representando baixa salinidade e baixa concentração de sódio. Já as T3 e T5 se enquadram na classificação C2S1 que indica água com salinidade média e a T6 como C2S2 (salinidade e sodicidade médias). As águas de irrigação T7 e T8 se enquadram em C3S2, que podem ser usadas somente para irrigação de plantas com boa tolerância aos sais e em solos de textura grossa ou em solos orgânicos com boa permeabilidade.

6.1.1.3 - Ciclo 4

O ciclo 4 foi somente avaliado com relação à salinidade, pois os valores de sódio não puderam ser determinados e portanto não se pode calcular a RAS. A água T2 se classificou como de baixa salinidade (C1), as águas de irrigação T3, T5, T6 e T8 se enquadraram como de média salinidade (C2), e a T7 como C3: água de salinidade alta.

No quinto ciclo não se obtiveram os valores de CE e os íons necessários para se calcular a RAS.

Entretanto, usando a classificação da água de irrigação de Ayres e Westcot (1985) como pode ser visto na Tabela 6.1, os efluentes apresentam certa restrição ao uso, principalmente no caso dos efluentes de reator UASB e lagoa de estabilização de alta taxa, que apresentam restrição fraca à moderada em relação à condutividade elétrica, sódio e RAS.

Tabela 6.1 – Classificação da Água de Irrigação segundo Ayres & Westcot (1985).

ÁGUA DE IRRIGAÇÃO	Grau da restrição ao uso			
	Salinidade (CE)	Capacidade de Infiltração do solo (RAS e CE)	Toxicidade (Sódio)	Nitrogênio e pH
Água do Lago Paranoá (T2)	Nenhuma	Nenhuma	Nenhuma	Nenhuma
Efluente Primário (T3)	Nenhuma	Nenhuma	Nenhuma	Nenhuma
Efluente “Secundário” (T5)	Nenhuma	Fraca a Moderada	Nenhuma	Nenhuma
Efluente “Terciário” (T6)	Nenhuma	Fraca a Moderada	Nenhuma	Nenhuma
Efluente de reator UASB (T7)	Fraca a Moderada	Fraca a Moderada	Fraca a Moderada	Nenhuma/Fraca a Moderada
Efluente de lagoa de estabilização de alta taxa (T8)	Fraca a Moderada	Fraca a Moderada	Fraca a Moderada	Nenhuma

6.1.2 - Águas Percoladas

Analisando-se as águas percoladas, pode-se ter uma visão dos sistemas funcionando como sistemas de tratamento de efluentes por disposição no solo. Nesta seção serão discutidos dados a partir da média aritmética dos valores dos parâmetros analisados nos cinco ciclos. Na Tabela 6.2, visualizam-se as eficiências de remoção de DBO, Coliformes Totais, *E. coli*, amônia, nitrato, cloretos, fósforo total, condutividade elétrica (CE) e alcalinidade.

Uma outra abordagem é compará-los aos valores orientadores para águas subterrâneas para o estado de São Paulo estabelecido pela CETESB (2005). Na Tabela 6.3 pode-se ver em destaque os elementos que ultrapassaram estes limites e em seus respectivos tratamentos.

Tabela 6.2 – Eficiência média de remoção nos tratamentos (%)

Parâmetros	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Condutividade Elétrica	-405%	-35%	60%	67%	46%	47%	60%	63%
Coliformes Totais	37%	-112%	100%	100%	99%	92%	100%	100%
<i>E. coli</i>	-	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
DBO	64%	64%	88%	75%	84%	60%	89%	97%
Fósforo Total	-	-264%	98%	96%	85%	76%	99%	99%
Amônia	-	66%	100%	100%	86%	84%	100%	100%
Nitrato	-3025%	-803%	-261%	-293%	-186%	-229%	-142%	-363%
Cloreto	-162%	58%	61%	60%	58%	55%	80%	74%
Alcalinidade	-223%	-33%	82%	81%	57%	27%	91%	84%

Entretanto, não se confirmou resultado de pesquisa anterior (Silva, 2004) e similar feita no mesmo local com as mesmas condições, segundo o qual a adubação clássica produz percolados com maior concentração de nitratos do que a fertirrigação. Esse resultado é importante e a sua explicação provavelmente está na maneira com a qual se fez a adubação química do solo anteriormente.

Tabela 6.3 – Valores médios para oligoelementos em águas percoladas e o limite estabelecido pela CETESB (2005) em águas subterrâneas.

Oligoelemento (mg/L)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Limites CETESB (mg/L)
Sr	0,021	0,020	0,028	0,011	0,043	0,024	0,023	0,019	Não estabelecido
La	0,248	0,244	0,000	0,133	0,000	0,015	0,000	0,000	Não estabelecido
Y	0,027	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não estabelecido
Ti	0,035	0,045	0,004	0,027	0,044	0,036	0,024	0,039	Não estabelecido
Ca	11,008	8,577	9,746	7,627	10,270	9,672	13,360	11,167	Não estabelecido
V	0,111	0,107	0,000	0,046	0,000	0,000	0,000	0,000	Não estabelecido
Mg	4,010	2,313	3,367	2,594	3,158	2,707	6,275	4,773	Não estabelecido
Fe	0,588	0,227	1,029	0,114	0,106	0,092	0,341	0,142	0,300
Si	19,195	0,000	0,000	11,440	0,000	0,000	13,209	9,700	Não estabelecido
Ni	0,632	0,569	0,623	0,497	0,639	0,713	0,604	0,634	0,020
Zr	0,459	0,470	0,199	0,161	0,165	0,127	0,125	0,178	Não estabelecido
Cu	0,071	0,099	0,357	0,088	0,065	0,122	0,408	0,122	2,000
Al	1,831	4,630	0,445	1,485	0,535	0,293	2,225	2,276	0,200
Cr	0,161	0,049	0,097	0,008	0,000	0,000	0,003	0,020	0,050
Mn	0,005	0,004	0,008	0,002	0,005	0,007	0,006	0,007	0,400
Ba	0,064	0,051	0,025	0,017	0,009	0,058	0,037	0,072	0,700
Co	0,102	0,081	0,068	0,070	0,060	0,069	0,074	0,109	0,005
Zn	0,156	0,050	0,682	0,360	0,251	0,585	0,950	1,079	5,000
Pb	0,451	1,212	0,675	0,659	0,988	0,669	0,992	2,038	0,010
Cd	0,072	0,039	0,029	0,052	0,061	0,053	0,042	0,069	0,005
P	0,340	0,138	0,315	0,022	0,009	0,000	0,009	0,014	Não estabelecido
Mo	1,158	0,798	0,226	0,567	0,000	0,000	0,000	0,000	0,070
Na	0,400	0,400	1,500	1,500	2,000	1,600	2,000	2,900	Não estabelecido
K	0,100	0,100	0,100	0,200	0,100	0,100	0,200	0,100	Não estabelecido

6.1.3 - Solos

A Figura 6.1 mostra os resultados das análises de granulometria no solo antes dos experimentos e a Figura 6.2 mostra os resultados das análises granulométricas no final do quinto ciclo para todos os tratamentos.

Percebe-se ao visualizar a granulometria dos solos ao fim dos cinco ciclos que o solo que inicialmente continha percentual grande de argila em T1, T2, T3, T5 e T6 teve-se decréscimo. O solo manteve-se com argila em maiores quantidades em T4, T7 e T8. Mesmo assim, em todos os tratamentos os teores de argila diminuíram com relação ao inicial.

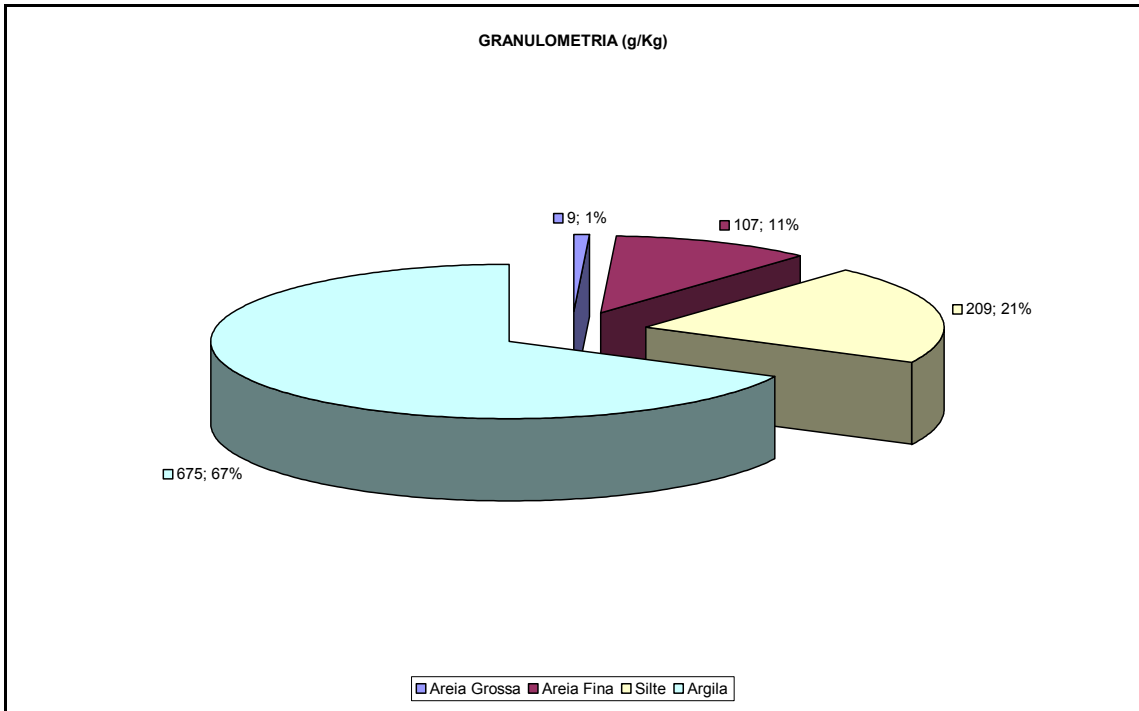


Figura 6.1 – Granulometria inicial do solo (antes do início da irrigação)

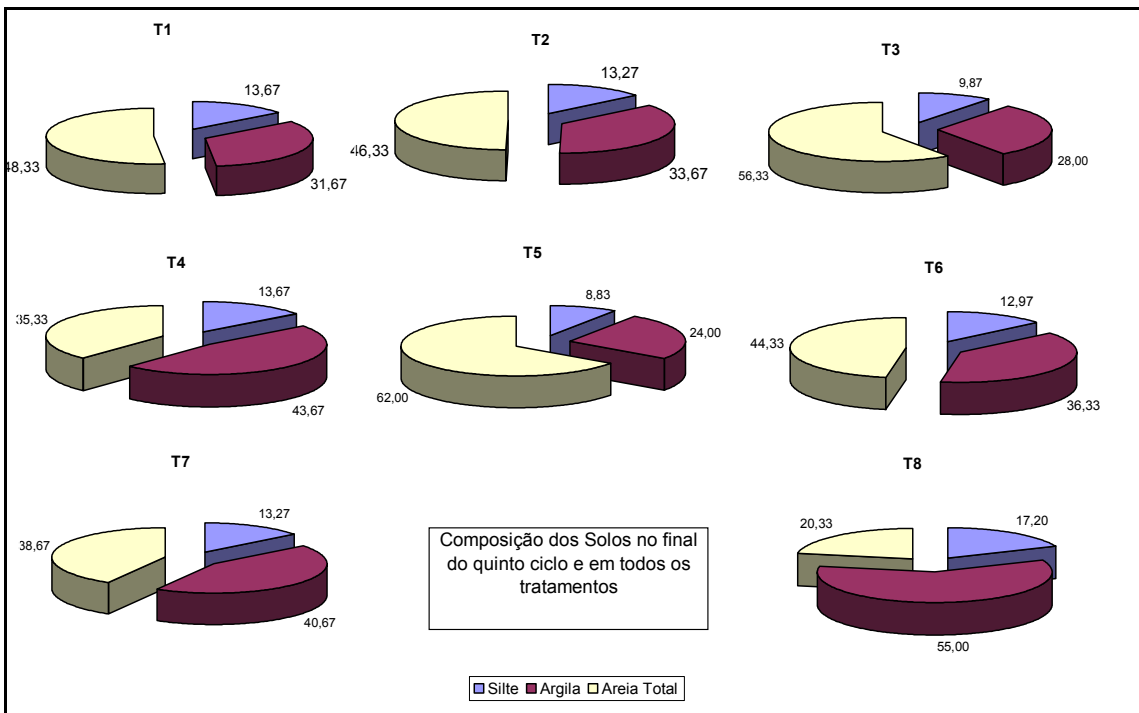


Figura 6.2 – Granulometria final do solo (após termino do quinto ciclo)

Foram feitas análises para o solo inicial (amostra 1) e para o solo já contido nas unidades experimentais nos diversos tratamentos após ter recebido as águas de irrigação durante o primeiro ciclo de cultivo. Nelas pode-se observar que a concentração de Cálcio e Magnésio

aumentou em todos os tratamentos exceto no tratamento T5. Em contrapartida, o valor da concentração de sódio também subiu em quase todos os tratamentos.

Foi possível denotar que o teor de matéria orgânica no solo diminuiu ao longo da irrigação, significando que o solo conseguiu absorver e degradar a carga orgânica aplicada na irrigação.

No segundo ciclo verificou-se aumento da concentração de Magnésio em todos os tratamentos, exceto o T6. Houve também aumento da concentração de fósforo em todos os tratamentos e em contrapartida as concentrações de Sódio e Potássio diminuíram ao longo do ciclo. O pH se manteve praticamente o mesmo para todos os tratamentos.

No terceiro ciclo, ao contrário do que aconteceu no segundo ciclo, as concentrações de Magnésio e Fósforo diminuíram, exceto em T1. Da mesma forma, ocorreu a diminuição da matéria orgânica e da concentração de Potássio em todos os tratamentos, com exceção do T6 que inclusive teve um aumento do teor de Sódio.

No quarto ciclo, os valores de matéria orgânica aumentaram no final. Cálcio e magnésio seguiram a mesma tendência juntamente com CTC e acidez do solo. Todavia, valores de potássio e sódio reduziram ao final do ciclo.

No quinto ciclo, em seu fim, encontraram-se maiores valores de sódio em T3, de magnésio em T4 e de cálcio em T1. Observaram-se grandes valores de nitrato em T6, mas o percentual de matéria orgânica ficou maior em T7. Os solos que se mostraram mais ácidos foram T4 e T7.

Segundo o Relatório de estabelecimento de valores orientados para solos subterrâneos da CETESB, as concentrações Cobre no início do projeto estavam acima do limite permitido, mas durante a pesquisa esse valor foi sendo corrigido, chegando a concentrações consideradas boas, ressalvando-se um pequeno aumento no quarto ciclo, onde os valores de T1 e T2 ultrapassam os valores de prevenção que volta ao valor de referência de qualidade no quinto ciclo, no qual T5, T7 e T8 ultrapassam os valores de prevenção.

O mesmo ocorreu com o Zinco, tendo-se observado alta concentração no primeiro ciclo e regularizada ao longo do segundo e terceiro, chegando a aumentar um pouco no quarto ciclo em todos os tratamentos, sendo que, para o T1, já se enquadra na faixa de intervenção. No quinto ciclo, seu valor foi reduzido para valores abaixo dos de prevenção. A Tabela 6.4 mostra os valores médios encontrados em todos os ciclos juntamente com os valores recomendados como limite pela CETESB para análises de solos.

6.1.4 - Plantas

O desenvolvimento das plantas foi acompanhado pelas medidas biométricas de altura, número de folhas, diâmetro de caule, número de botões e número de flores durante o decorrer dos cinco ciclos de cultivo.

Pela quantidade de dados, deixou-se de apresentar os dados de cada campanha biométrica, sendo apresentados apenas os valores médios.

Os dados dos cinco ciclos foram analisados estatisticamente por meio da análise de variância (ANOVA) dos resultados obtidos. Os testes estatísticos utilizados para a comparação das médias foram os testes “t” de Student e o teste de Tukey, ao nível de confiança de 5%.

Observou-se uma dispersão maior do ápice da cultura, havendo um retardamento do crescimento quando se emprega o reúso de água. A análise da composição química das plantas foi realizada por dois laboratórios. Com relação à composição química das plantas, observaram-se diferenças entre as concentrações para cada tratamento. Nas folhas, alguns elementos apresentam maiores concentrações do que na raiz.

Observou-se a viabilidade da irrigação ornamental, sem acúmulos de elementos tóxicos nas plantas. Pode-se dizer que, sob as condições de solo e climas testadas, é possível fazer a fertirrigação de flores sem auxílio de adubação convencional, sendo que, pelo aporte de nutrientes, a aplicação dos efluentes primário, do reator UASB e de lagoa de estabilização mostraram melhores resultados.

Tabela 6.4 – Valores médios para solos no início e no final de cada ciclo por tratamento e comparação com valores orientadores da CETESB

Parâmetros	Unidade	T1		T2		T3		T4		T5		T6		T7		T8		Padrões CETESB	
		Início	Final	Início	Final	Início	Final	Início	Final	Início	Final	Início	Final	Início	Final	Início	Final	Referencia de qualidade	Valores de prevenção
Cálcio (mE/100mL)	mE/100 ml	2,400	2,950	2,250	2,275	2,100	2,500	2,200	2,350	2,375	2,300	2,350	2,175	1,825	2,675	2,525	2,250		
Magnésio (mE/100mL)	mE/100 ml	0,750	1,175	0,725	0,800	0,550	1,025	0,650	0,925	0,800	0,850	0,675	0,775	0,775	0,800	0,775	0,725		
Potássio (mE/100mL)	mE/100 ml	0,163	0,175	0,130	0,088	0,270	0,128	0,168	0,178	0,205	0,150	0,235	0,208	0,178	0,168	0,223	0,175		
Sódio (mE/100mL)	mE/100 ml	0,063	0,025	0,080	0,048	0,115	0,193	0,155	0,235	0,230	0,173	0,213	0,203	0,150	0,140	0,225	0,185		
Valor S (mE/100mL)	mE/100 ml	3,375	4,325	3,160	3,210	3,035	3,845	3,198	3,688	3,610	3,473	3,448	4,010	2,928	3,783	3,773	3,360		
Alumínio (mE/100mL)	mE/100 ml	0,000	0,000	0,025	0,025	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,025	0,000	0,000	0,025	0,000	0,000	0,000		
Acidez Total (H + Al) (mE/100mL)	mE/100 ml	3,325	3,200	3,500	3,325	3,425	3,100	3,400	3,600	3,225	3,350	3,225	3,200	3,700	3,275	3,275	3,250		
Valor T ou C.T.C. (mE/100mL)	mE/100 ml	6,700	7,525	6,660	6,535	6,460	6,945	6,598	7,288	6,835	6,823	6,673	7,210	6,628	7,058	6,798	6,610		
Saturação de Alumínio (% Al)	% Al	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,750	0,000	0,000	2,750	1,000	0,000	0,000		
Saturação de Bases (% V)	% V	50,000	56,500	47,000	48,000	45,750	54,250	47,750	48,500	52,000	47,750	51,500	54,750	41,750	52,000	52,500	47,750		
Carbono Orgânico - C (g/Kg)	g/Kg	11,700	13,825	13,525	12,000	12,425	13,250	12,650	15,875	13,450	14,050	10,525	14,100	14,050	13,100	12,650	14,775		
Matéria Orgânica - MO (g/Kg)	g/Kg	20,125	23,800	23,275	20,650	21,375	22,800	21,750	27,300	23,125	24,175	18,100	24,250	24,175	22,550	21,775	25,425		
Fósforo (mg/dm ³)	mg/dm ³	3,425	7,975	1,400	3,250	2,375	2,250	1,625	3,000	0,750	3,625	0,975	4,875	1,575	6,250	2,350	3,000		
pH	-	5,633	6,000	5,533	5,833	5,500	6,067	5,633	5,967	5,667	5,767	5,633	5,967	5,133	5,900	5,633	5,867		
R.A.S. (mE/100mL)	-	0,050	0,017	0,066	0,038	0,100	0,145	0,130	0,184	0,183	0,137	0,173	0,167	0,132	0,106	0,175	0,152		
pH CaCl2	-	5,090	6,121	4,950	5,585	5,030	6,011	5,305	5,968	5,050	5,969	5,100	6,011	4,815	5,686	5,170	5,994		
pH água	-	5,397	6,464	5,315	6,231	5,285	6,597	5,520	6,535	5,265	6,560	5,360	6,463	4,870	6,253	5,435	6,625		
Matéria Orgânica %	%	0,124	0,643	0,063	0,815	0,126	0,755	0,106	0,937	0,103	0,794	0,107	0,797	0,094	1,156	0,119	0,771		
Acidez Potencial (Cmol/Kg)	Cmol/Kg	#DIV/0!	3,059	#DIV/0!	3,356	#DIV/0!	2,929	#DIV/0!	3,506	#DIV/0!	3,172	#DIV/0!	2,897	#DIV/0!	3,478	#DIV/0!	3,073		
Nitrato (mg/Kg)	mg/Kg	#DIV/0!	26,601	#DIV/0!	4,744	#DIV/0!	12,336	#DIV/0!	11,657	#DIV/0!	12,116	#DIV/0!	47,705	#DIV/0!	10,974	#DIV/0!	13,493		
Amônio (mg/Kg)	mg/Kg	#DIV/0!	4,601	#DIV/0!	5,626	#DIV/0!	4,407	#DIV/0!	5,160	#DIV/0!	5,427	#DIV/0!	9,334	#DIV/0!	17,111	#DIV/0!	6,221		
Ca (g/Kg)	g/Kg	7,927	8,377	7,884	8,069	7,908	7,167	7,946	7,401	7,870	6,032	7,907	8,392	7,870	8,396	7,899	10,135		
Mg (g/Kg)	g/Kg	2,466	1,483	2,461	1,761	2,465	1,660	2,471	1,844	2,465	1,161	2,462	1,704	2,459	2,170	2,459	1,978		
Fe (g/Kg)	g/Kg	17,384	0,366	17,370	0,412	17,392	0,388	17,365	0,338	17,363	0,216	17,381	0,265	17,377	0,292	17,381	0,331		
Cu (g/Kg)	g/Kg	0,385	0,024	0,386	0,021	0,385	0,014	0,385	0,013	0,385	0,026	0,385	0,012	0,385	0,023	0,385	0,036	0,035	0,06
Al (g/Kg)	g/Kg	3,389	0,046	3,389	0,092	3,389	0,077	3,389	0,113	3,389	0,024	3,393	0,048	3,390	0,086	3,390	0,094		
Mn (g/Kg)	g/Kg	13,706	0,398	13,707	0,391	13,701	0,485	13,705	0,656	13,707	0,139	13,703	0,186	13,704	0,298	13,703	0,309		
Zn (g/Kg)	g/Kg	1,159	0,333	1,159	0,066	1,163	0,106	1,158	0,051	1,158	0,045	1,158	0,024	1,158	0,073	1,159	0,028	0,060	0,300
P (g/Kg)	g/Kg	1,127	0,219	1,126	0,210	1,127	0,246	1,126	0,239	1,126	0,050	1,126	0,040	1,126	0,057	1,127	0,118		

XX = Abaixo da referência de qualidade

XX = Abaixo dos valores de prevenção

XX – Acima dos valores de prevenção

Após feita a análise das médias biométricas, foi feita a análise de variância para um nível de significância de 5%, para todas as variáveis medidas. Para todas as variáveis, o valor de F superou o valor do F crítico (valor tabelado para o nível de significância de 5%) indicando, assim, que a hipótese de que as médias são estatisticamente iguais deve ser rejeitada ao nível de significância de 5%. Os testes estatísticos utilizados para a comparação das médias foram os testes “t” de *Student*, teste de *Tukey* e teste de *Duncan*.

6.1.4.1 - Altura do caule

No que diz respeito a altura do caule, no primeiro ciclo, o teste de Duncan apontou que as médias T8, T4, T3, T1 e T7 não apresentam diferenças significativas e são significativamente maiores que as médias T2, T5 e T6. Para o segundo e terceiro ciclo, o T1 foi estatisticamente superior aos outros tratamentos, enquanto que, no quarto ciclo, T3, T1 e T8 apresentaram valores significativamente iguais. Em todos os ciclos, os tratamentos T2, T5 e T6 se mostraram estatisticamente inferiores aos demais. Na Figura 6.3 mostra-se o gráfico do comportamento dessas médias no período do experimento.

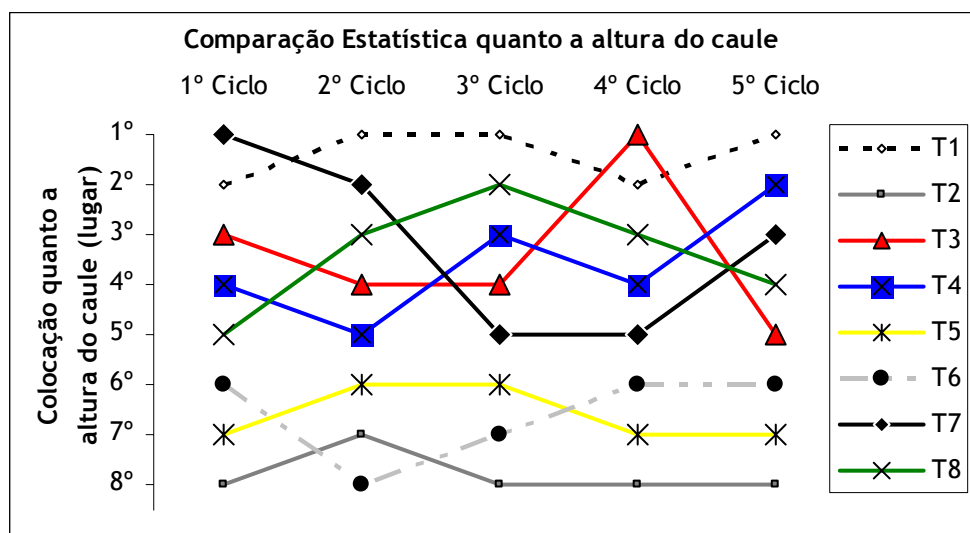


Figura 6.3 – Comparação dos tratamentos: Altura do caule

6.1.4.2 - Número de Folhas

Quanto ao número de folhas, o primeiro e quarto ciclos mostraram que T7 e T3 não apresentam diferenças significativas, sendo as maiores médias, seguidos de T8. No segundo e terceiro ciclo, T1 foi estatisticamente superior aos demais e os testes mostraram

que T7, T8 e T3 são significativamente iguais. Durante todo o projeto, os tratamentos T7 e T8 mostraram os melhores resultados e mais regulares, ao contrário de T2, T5 e T6. Na Figura 6.4 é mostrado o gráfico da média do número de folhas.

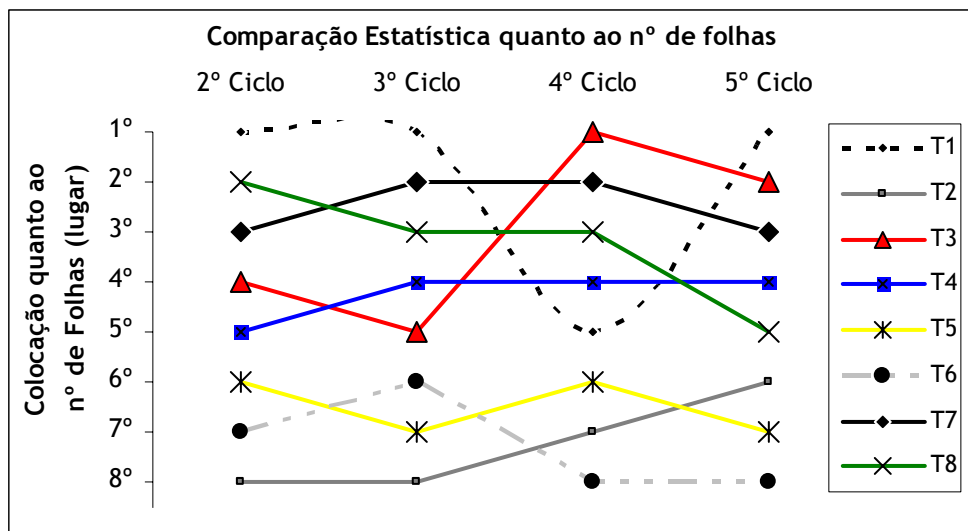


Figura 6.4 – Comparação dos tratamentos: Número de folhas

6.1.4.3 - Diâmetro do Caule

Para o parâmetro diâmetro do caule, T7 e T8 obtiveram a mesma média no primeiro ciclo, o teste de Tukey mostrou que as médias relativas aos “tratamentos” T1 e T3 também são estatisticamente iguais a T7 e T8, já pelo teste de Duncan, tem-se que as médias T4, T7 e T8 não apresentam diferenças significativas e apresentam médias superiores aos demais tratamentos.

No segundo ciclo, T1 é estatisticamente diferente e superior a todos os outros tratamentos pelos testes t, de Tukey e de Duncan, seguido de T7 que não apresenta diferenças significativas quanto aos tratamentos T8 e T3.

No terceiro ciclo T1 se manteve em primeiro, acompanhado de T8, T7, T4 e T3 que não apresentaram diferença significativa entre eles. O teste de Tukey mostrou que, no quarto ciclo, os tratamentos T7 e T3 são estatisticamente iguais e são superiores aos demais. Essa comparação do diâmetro do caule entre os tratamentos é apresentada na Figura 6.5.

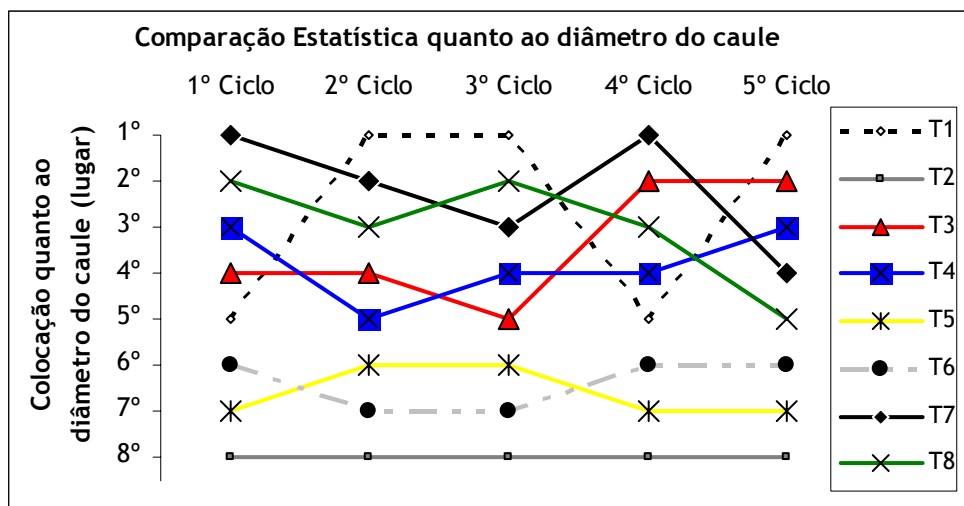


Figura 6.5 – Comparação dos tratamentos: Diâmetro do caule

6.1.4.4 - Número de Botões

Para o número de botões, o teste t indicou que T7, que foi o “tratamento” que apresentou maior média, é estatisticamente diferente de todos os “tratamentos”, diferentemente do teste de Tukey, que indica não haver diferenças significativas entre as médias dos “tratamentos” T7, T3 e T8, no primeiro ciclo. Já no segundo ciclo, o “tratamento” T7 apresentou a maior média dentre os “tratamentos” e foi estatisticamente igual a T1 e T8, ao contrário do que apresentou o terceiro ciclo, onde T7 obteve a 5ª melhor média e T8, T3 e T4 se mostraram significativamente iguais e superiores aos demais, segundo o teste de Tukey. A média do número de botões é mostrada na Figura 6.6.

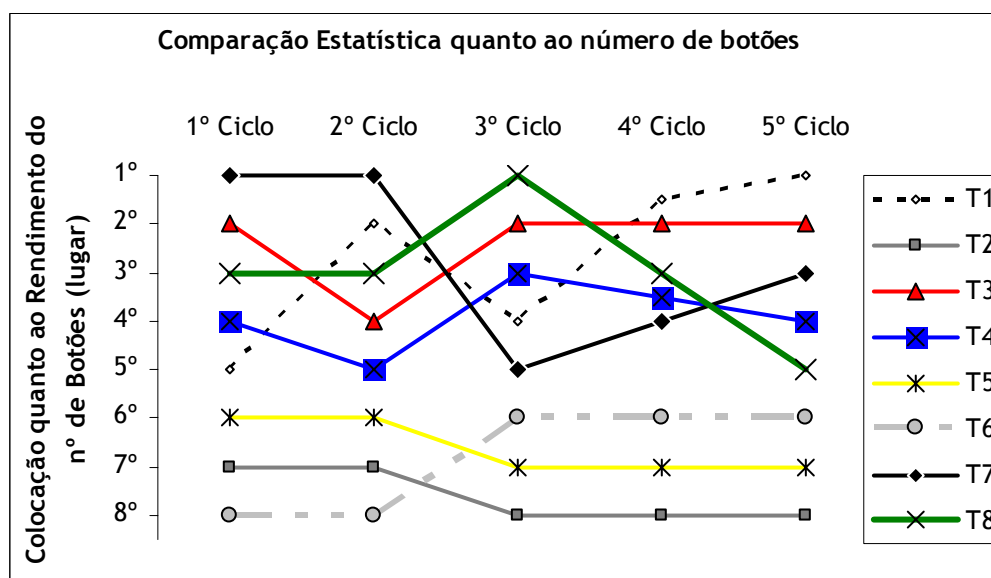


Figura 6.6 – Comparação dos tratamentos: Número de Botões

6.1.4.5 - Número de Flores

No primeiro ciclo, o teste de Duncan apontou que as médias T7, T8 e T3 não apresentam diferenças significativas entre si, sendo superiores às outras médias dos “tratamentos” T2, T6, T4, T5 e T1, que são estatisticamente iguais. Já no segundo ciclo, o T1 apresentou o melhor rendimento, apresentando a maior média. Pelo teste t e teste de Duncan, o “tratamento” T1 possui média estatisticamente igual aos “tratamentos” T7 e T8, enquanto que, pelo teste de Tukey, T1 é estatisticamente igual aos “tratamentos” T3, T7 e T8. Os “tratamentos” T2, T3, T4, T5 e T6 não apresentaram diferenças significativas entre si para os testes t, teste de Tukey e teste Duncan. O T7 apresentou o melhor resultado no terceiro ciclo e, segundo o teste de Tukey, não foi significativamente diferente de T8, T4, T1 e T3, enquanto que, no quarto ciclo, T7 continuou sendo superior, mas apenas T3 e T1 se mostraram estatisticamente iguais. Pelo teste de Tukey, os tratamentos T3, T1, T8 e T4 não apresentaram muita diferença. Os resultados comparativos estão ilustrados na Figura 6.7.

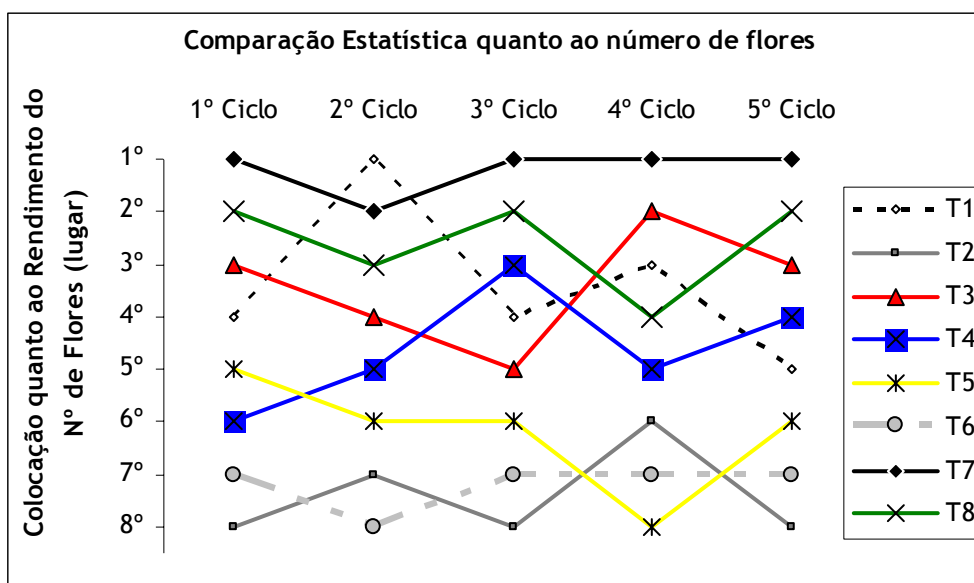


Figura 6.7 – Comparação dos tratamentos: Número de Flores

6.2 - RESULTADOS DA ESCOLHA DOS EFLUENTES

Após a definição das alternativas, dos objetivos e dos critérios, foi necessária a atribuição dos pesos dos critérios. Após a utilização do *software* SRF (Jogo de Cartas) obtiveram-se os respectivos pesos mostrados na Tabela 6.5.

Tabela 6.5 – Pesos definidos pelo SRF para os critérios

OBJETIVOS/CRITÉRIOS	PESOS	OBJETIVOS/CRITÉRIOS	PESOS
MAXIMIZAR A PRODUTIVIDADE		FÓSFORO TOTAL	1,08
ALTURA DO CAULE	3,79	CLORETOS	1,08
DIAMETRO DO CAULE	3,79	VALORES ESTABELECIDOS PELA CETESB	
NUMERO DE FOLHAS	3,79	NITRATO	2,7
NUMERO DE FLORES	3,79	FERRO	1,08
MACRONUTRIENTES NAS FOLHAS		NIQUEL	1,08
NITROGENIO	3,24	COBRE	1,08
FÓSFORO	3,24	ALUMÍNIO	1,08
POTÁSSIO	3,25	MANGANES	1,08
MACRONUTRIENTES NA RAIZ		BARIO	1,08
ENXOFRE	3,25	COBALTO	1,08
FÓSFORO	3,25	ZINCO	1,08
POTÁSSIO	3,25	CHUMBO	1,08
MINIMIZAR CONSUMO DE ADUBO		CADMIO	1,08
MAIOR VALOR DE N	2,7	MOLIBDENIO	1,08
MAIOR VALOR DE P	2,7	MINIMIZAR RISCOS À SAÚDE PÚBLICA	
MAIOR VALOR DE K	2,7	PADRÃO OMS	
MINIMIZAR IMPACTO AO SOLO		E COLI	3,79
CE DAS ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO	1,62	PADRÃO CALIFÓRNIA	
RAS DAS ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO	1,62	COLIFORMES TOTAIS	3,25
MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO	2,16	DBO	2,7
C SOLO	2,16	SS	2,7
P SOLO	2,16	NITROGÊNIO TOTAL	2,7
RAS SOLO	2,16	DQO	2,7
PST DO SOLO	2,16	MINIMIZAR PROBLEMA COM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	
COBRE EM SOLOS	2,16	CORROSÃO/INCRUSTAÇÃO/ENTUPIMENTO	
ZINCO EM SOLOS	2,16	SS	0,54
MINIMIZAR POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS		pH	0,54
CE PERCOLADOS	1,08	SD	0,54
COLIFORMES TOTAIS	1,08	FE	0,54

A matriz de decisão obtida, que relaciona cada alternativa com todos os critérios é mostrada na Tabela 6.6, na qual ainda podem ser vistos os limiares de preferência, indiferença e veto e a preferência dos critérios.

Após aplicação da análise multicritério na matriz de decisão de efluentes, utilizando cinco métodos diferentes, obteve-se certa padronização dos resultados. Portanto, na Figura 6.7 mostra-se os resultados de ordenação para cada método utilizado.

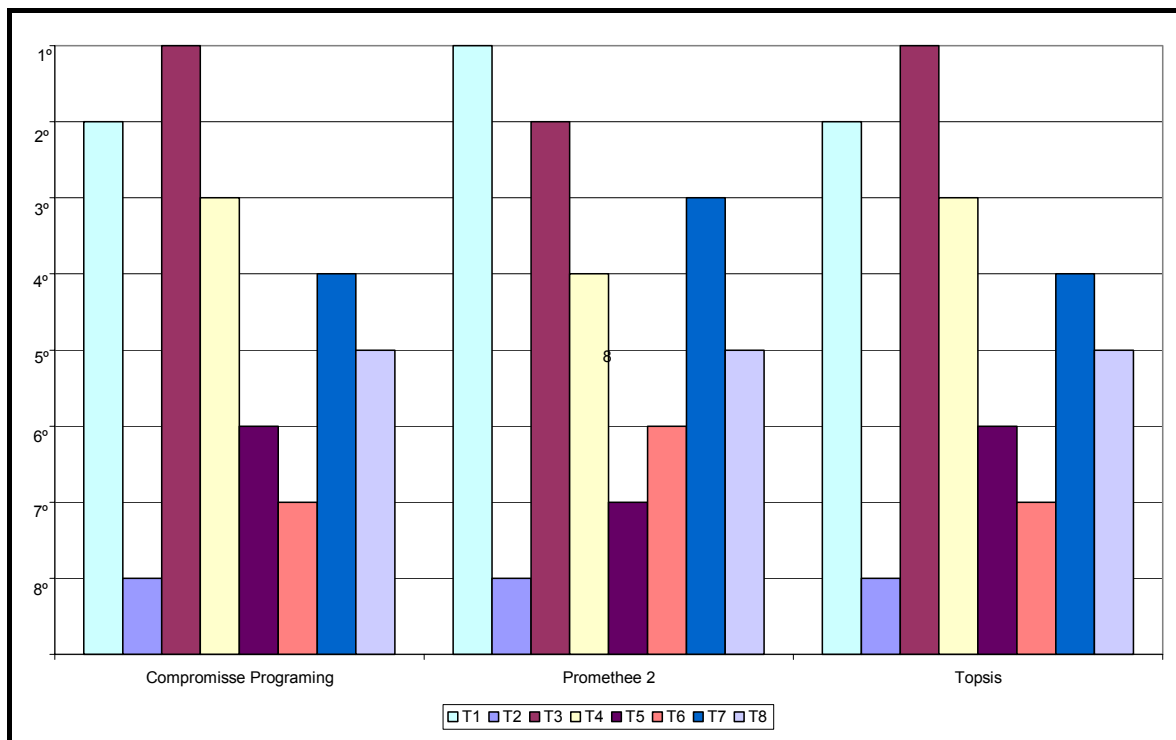


Figura 6.8 – Ordenação das alternativas de efluentes

Observa-se que o efluente que obteve melhores resultados, no sentido de se aproximar da alternativa ideal, foi o tratamento T3 (efluente primário) ficando em 1º nos métodos *Compromise Programming* (CP) e Topsis; e em 2º no método Promethee 2.

Inversamente, o tratamento T1 (água + NPK) ficou em 1º no Promethee 2 e em segundo nos métodos CP e Topsis.

Esses resultados possivelmente refletem a produtividade que foi obtida ao se utilizarem esses tratamentos, e com o número de critérios que foram utilizados para representar a maximização da produtividade.

Tabela 6.6a – Matriz de Decisão da escolha dos efluentes

CÓD.	CRITÉRIO	PREF.	PESOS	MÉDIAS								LIMIARES				
				T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	MAIOR	IND.	PREF.	VETO	
A	MAXIMIZAR A PRODUTIVIDADE	CRESC.														
1	1	ALTURA DO CAULE	CRESC.	3,79	33,48	19,24	28,77	27,00	22,37	21,39	27,76	29,30	33,48	1,67	3,35	30,13
2	2	DIAMETRO DO CAULE	CRESC.	3,79	0,79	0,46	0,70	0,67	0,53	0,52	0,73	0,74	0,79	0,04	0,08	0,71
3	3	NUMERO DE FOLHAS	CRESC.	3,79	77,26	35,46	62,52	52,56	38,79	38,64	69,71	60,10	77,26	3,86	7,73	69,54
4	4	NUMERO DE FLORES	CRESC.	3,79	5,92	1,64	7,86	4,56	2,26	2,34	6,84	7,42	7,86	0,39	0,79	7,08
		MACRONUTRIENTES NAS FOLHAS														
5	5	NITROGENIO	CRESC.	3,24	8,28	11,85	13,45	12,28	12,72	11,50	17,15	12,37	17,15	0,86	1,72	15,44
6	6	FÓSFORO	CRESC.	3,24	0,92	0,95	1,02	0,90	0,81	0,89	0,94	0,92	1,02	0,05	0,10	0,92
7	7	POTÁSSIO	CRESC.	3,25	6,52	4,77	6,83	6,87	8,16	7,88	7,64	5,81	8,16	0,41	0,82	7,35
		MACRONUTRIENTES NA RAIZ											0,00			
8	8	ENXOFRE	CRESC.	3,25	0,02	0,02	0,08	0,04	0,03	0,04	0,01	0,04	0,08	0,004	0,008	0,072
9	9	FÓSFORO	CRESC.	3,25	0,12	0,12	0,18	0,11	0,09	0,08	0,14	0,17	0,18	0,01	0,02	0,16
10	10	POTÁSSIO	CRESC.	3,25	31,20	44,90	51,00	51,00	61,20	65,05	75,05	66,03	75,05	3,75	7,51	67,55
B	MINIMIZAR CONSUMO DE ADUBO															
11	1	MAIOR VALOR DE N	CRESC.	2,7	0,00	0,00	22,40	13,02	0,0000	3,6400	26,4695	27,6265	27,63	1,38	2,76	24,86
12	2	MAIOR VALOR DE P	CRESC.	2,7		0,25	28,46	15,01	3,10	1,56	34,71	36,31	36,31	1,82	3,63	32,68
13	3	MAIOR VALOR DE K	CRESC.	2,7	0,20	3,50	81,93	70,86	73,74	59,80	124,11	152,15	152,15	7,61	15,21	136,93
C	MINIMIZAR IMPACTO AO SOLO															
14	1	CE DAS ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO	DECR.	1,62	36,98	108,00	582,02	495,36	389,22	408,69	886,12	774,25	886,12	44,31	88,61	797,51
15	2	RAS DAS ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO	DECR.	1,62	0,01	1,04	2,70	3,00	2,75	3,29	6,08	4,82	6,08	0,3040	0,6079	5,4711
16	3	MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO	CRESC.	2,16	23,80	20,65	22,80	27,30	24,18	24,25	22,55	25,43	27,30	1,37	2,73	24,57
17	4	C SOLO	CRESC.	2,16	13,83	12,00	13,25	15,88	14,05	14,10	13,10	14,78	15,88	0,79	1,59	14,29
18	5	P SOLO	CRESC.	2,16	7,98	3,25	2,25	3,00	3,63	4,88	6,25	3,00	7,98	0,40	0,80	7,18
19	6	RAS SOLO	DECR.	2,16	0,02	0,04	0,14	0,18	0,14	0,17	0,11	0,15	0,18	0,00918	0,01836	0,16528
20	7	PST DO SOLO	DECR.	2,16	0,33	0,73	2,77	3,22	2,53	2,81	1,98	2,80	3,22	0,16	0,32	2,90
21	8	COBRE EM SOLOS	DECR.	2,16	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,04	0,04	0,0018	0,0036	0,0322
22	9	ZINCO EM SOLOS	DECR.	2,16	0,33	0,07	0,11	0,05	0,05	0,02	0,07	0,03	0,33	0,0166	0,0333	0,2995
D	MINIMIZAR POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS															
23	1	CE PERCOLADOS	DECR.	1,08	186,63	145,73	232,50	162,63	210,74	214,67	358,05	286,23	358,05	17,90	35,81	322,25
24	2	COLIFORMES TOTAIS	DECR.	1,08	1,70E+04	6,99E+03	0,00E+00	5,00E+01	1,64E+03	1,21E+03	5,00E+01	1,10E+02	1,70E+04	5,00E+02	1,00E+03	1,62E+04

Tabela 6.6b – Matriz de Decisão da Escolha dos Efluentes (continuação)

25	3	FÓSFORO TOTAL	DECR.	1,08	3,37	0,91	0,49	0,57	0,47	0,38	0,47	0,49	3,37	0,17	0,34	3,03
26	4	CLORETOS	DECR.	1,08	14,68	3,65	16,23	17,00	18,70	19,43	15,20	20,90	20,90	1,05	2,09	18,81
		VALORES ESTABELECIDOS PELA CETESB														
27	5	NITRATO	DECR.	2,7	2,50	3,91	4,71	5,91	5,85	5,61	9,06	9,96	9,96	0,50	1,00	8,96
28	6	FERRO	DECR.	1,08	0,59	0,23	1,03	0,11	0,11	0,09	0,34	0,14	1,03	0,05	0,10	0,93
29	7	NIQUEL	DECR.	1,08	0,63	0,57	0,62	0,50	0,64	0,71	0,60	0,63	0,71	0,04	0,07	0,64
30	8	COBRE	DECR.	1,08	0,07	0,10	0,36	0,09	0,06	0,12	0,41	0,12	0,41	0,02	0,04	0,37
31	9	ALUMÍNIO	DECR.	1,08	1,83	4,63	0,44	1,49	0,54	0,29	2,22	2,28	4,63	0,23	0,46	4,17
32	10	MANGANES	DECR.	1,08	0,005	0,004	0,008	0,002	0,005	0,007	0,006	0,007	0,01	0,0004	0,0008	0,00750
33	11	BARIO	DECR.	1,08	0,06	0,05	0,02	0,02	0,01	0,06	0,04	0,07	0,07	0,00360	0,00720	0,06480
34	12	COBALTO	DECR.	1,08	0,10	0,08	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,11	0,11	0,00546	0,01091	0,09819
35	13	ZINCO	DECR.	1,08	0,16	0,05	0,68	0,36	0,25	0,59	0,95	1,08	1,08	0,05395	0,10790	0,97110
36	14	CHUMBO	DECR.	1,08	0,45	1,21	0,67	0,66	0,99	0,67	0,99	2,04	2,04	0,10188	0,20376	1,83384
37	15	CADMIO	DECR.	1,08	0,07	0,04	0,03	0,05	0,06	0,05	0,04	0,07	0,07	0,00358	0,00716	0,06444
38	16	MOLIBDENIO	DECR.	1,08	1,16	0,80	0,23	0,57	0,00	0,00	0,00	0,00	1,16	0,05790	0,11580	1,04220
		E														
		MINIMIZAR RISCO À SAÚDE PÚBLICA														
		PADRÃO OMS														
		<i>E COLI</i>														
39	1	PADRÃO CALIFÓRNIA	DECR.	3,79	0,00E+00	1,03E+03	1,04E+06	5,21E+05	7,14E+04	6,37E+03	4,73E+06	7,91E+04	4,73E+06	5,00E+02	1,00E+03	4,50E+06
		COLIFORMES TOTAIS														
40	2	DBO	DECR.	3,25	2,70E+04	3,30E+03	9,41E+06	4,71E+06	1,13E+05	1,45E+04	4,82E+06	3,04E+05	9,41E+06	5,00E+02	1,00E+03	8,94E+06
41	3	SS	DECR.	2,7	16,67	16,67	62,67	41,34	34,00	20,00	70,33	178,00	178,00	8,90	17,80	160,20
42	4	NITROGÊNIO TOTAL	DECR.	2,7	36,00	13,00	68,00	117,50	73,00	167,00	82,00	37,00	167,00	8,35	16,70	150,30
43	5	DQO	DECR.	2,7	0,000	0,000	22,400	13,020	0,000	3,640	26,470	27,627	27,63	1,38	2,76	24,86
44	6		DECR.	2,7	35,33	24,61	155,43	95,49	59,55	35,55	152,67	289,67	289,67	14,48	28,97	260,70
		F														
		MINIMIZAR PROBLEMA COM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO														
		CORROSÃO/INCRUSTAÇÃO														
		ENTUPIMENTO														
45	1	SS	DECR.	0,54	36,00	13,00	68,00	117,50	73,00	167,00	82,00	37,00	167,00	8,35	16,70	150,30
46	2	pH (valor fora da faixa recomendada)	DECR.	0,54	0,15	0,00	0,46	0,63	0,60	0,81	0,77	0,00	0,81	0,041	0,081	0,730
47	3	SD	DECR.	0,54	8,00	39,00	262,00	191,00	158,00	86,00	478,00	385,00	478,00	23,90	47,80	430,20
48	4	FE	DECR.	0,54	0,71	0,74	0,56	0,55	0,30	0,56	0,49	0,59	0,74	0,04	0,07	0,67

Em estudos de Silva e Silva (2004), foi concluído que o tratamento T1 era o que produzia percolados com maiores valores de nitrato, o que significaria um desempenho pior em minimizar os impactos às águas subterrâneas. Todavia isto não ocorreu em estudos de Máximo (2005) e nos estudos do projeto de pesquisa em irrigação ornamental, conforme visto na matriz de decisão da escolha dos efluentes. Além disso, nesta matriz consideram-se outros parâmetros de qualidade dos percolados, o que faria que o desempenho em T1 neste critério não fosse prejudicial na análise multiobjetivo. Mesmo assim, o T3 aparece melhor que T1 em pelo menos 2 métodos.

O tratamento T3 (efluente primário) é considerado como um dos mais representativos de riscos à saúde pública, e mesmo assim foi considerado melhor pela análise multicritério. Uma das justificativas desses resultados, como já dito, é a alta produtividade desse tratamento. Pode ser que os pesos dos critérios, ou seja, preferências estabelecidas no SRF (método de determinação de pesos utilizado) estejam superestimadas. Contudo deve-se apreciar que já era previsto a introdução de sistemas de tratamento para adequação ao reúso em irrigação, que pode mitigar os riscos à saúde pública; e que os outros efluentes também apresentam riscos à saúde pública mas à não produtividade. Nenhum efluente encontra-se enquadrado nos padrões de reúso recomendados tanto pela OMS (1989) e muito menos pelos padrões da Califórnia (Crites e Tchobanoglous, 1998).

Em 3º e 4º lugar disputam os tratamentos T4 (efluente secundário) e T7 (efluente UASB). O tratamento T4 apresenta produtividade mediana, assim como riscos à saúde pública quando comparado aos outros métodos. De uma forma geral, esse tratamento apresenta em todos os critérios considerados desempenho mediano. O tratamento T7 apresenta alta salinidade, refletindo em impactos aos solo, águas subterrâneas e sistemas de irrigação. Porém, também apresenta alta produtividade que foi a responsável pelo desempenho desta alternativa.

O tratamento T8 (efluente lagoas alta taxa) ficou em 5º lugar nos três métodos. Apesar de apresentar certa produtividade, este apresenta impactos ao solo devido à alta salinidade, aos sistemas de irrigação devido ao alto teor de sólidos, à saúde pública devido à concentrações de *E. coli*, às águas subterrâneas devido à qualidade dos percolados e principalmente pela concentração de nitratos nos percolados.

Os tratamentos T5 e T6 disputam o 7º e 8º lugares. Estes apresentaram produtividades inferiores à todos os outros melhores colocados; grande potencial de degradação das águas subterrâneas, impactos ao solo e menores impactos à saúde pública.

Apesar de causarem menores impactos, o T5 e T6 não apresentam boa produtividade e a diminuição dos impactos não compensa a falta de produtividade por serem poucos expressivos.

O tratamento T2 (água do Lago Paranoá) apresentou piores resultados nos três métodos utilizados, pois, apesar de representar pouco risco à saúde pública, não aumenta a produtividade e ainda causa alguns impactos ao solo, à águas subterrâneas e aos sistemas de irrigação, mesmo que menores.

Talvez o tratamento T2 apresentaria melhores resultados se fosse utilizado com adubação mineral do solo, assim como T1, mas assim perder-se-ia a oportunidade de utilizar uma alternativa para o destino das águas residuárias municipais e o aproveitamento dos nutrientes presentes.

Como resultados desta etapa (etapa 2), teve-se que as melhores alternativas que foram analisadas na etapa 3 (etapa seguinte) são: efluente primário, efluente de UASB, efluente secundário e efluente de lagoa de alta taxa.

6.3 - RESULTADOS DA ESCOLHA DOS EFLUENTES COMBINADOS COM SISTEMAS/OPERAÇÕES DE TRATAMENTO PARA REÚSO

A definição das alternativas desta etapa, conforme já dito, foi realizada estabelecendo-se combinações entre os 4 melhores efluentes da etapa 2 e 4 combinações de operações de tratamento de águas para reúso.

Para a formulação das combinações de tratamento, foi feita uma pré-análise de apenas métodos de desinfecção. A matriz de decisão desta pré-análise é mostrada na Tabela 6.7. Os resultados desta pré-análise são mostrados na Tabela 6.8.

A pré-análise dos métodos de desinfecção foi importante para se estabelecer combinações dos sistemas de tratamento apenas com métodos previamente selecionados.

Esta estabeleceu que os melhores métodos de desinfecção foram: UV, cloro gasoso e Ozonização. Os métodos CP e Topsis apresentaram apenas como preferência o Cloro Gasoso.

Isso demonstra a preferência pelo método de desinfecção por cloro gasoso que ficou em 2º em dois outros métodos.

Tabela 6.7 – Matriz de Decisão da pré-análise de métodos de Desinfecção(*)

Características	Cloro Gasoso	Hipocloritos	Dióxido de Cloro	UV	Ozônio
Custo de Implantação (R\$/hab)	4,315	5,55	46,83	21,98	18,11
Custo de operação (R\$/m³)	0,018	0,078	0,108	0,034	0,091
Eficiência de desinfecção	3	3	3	3	3
Aplicabilidade a ETÉs	2	2	2	4	2
Geração de subprodutos	1	1	2	3	3
Pureza do desinfetante	3	1	2	3	3
Toxicidade à vida aquática	1	1	1	2	1
Grau mínimo de tratamento	2	2	2	1	1
Corrosividade	1	1	1	2	1
Riscos operacionais	1	1	1	3	2

(*) originada das Tabelas 3.8 e 3.9 do Capítulo 3.

Tabela 6.8 – Resultados da pré-análise de métodos de Desinfecção

ORDENAÇÃO	ELECTRE 3	COMPROMISE PROGRAMMING	PROMETHEE 2	TOPSIS	AHP
1ª OPÇÃO	UV	COLORO GASOSO	UV	COLORO GASOSO	UV
2ª OPÇÃO	COLORO GASOSO E OZONIO		COLORO GASOSO		OZÔNIO
3ª OPÇÃO			OZÔNIO		DIÓXIDO DE CLORO E CLORO GASOSO
4ª OPÇÃO	HIPOCLORITO E DIÓXIDO DE CLORO		HIPOCLORITO		
5ª OPÇÃO			DIÓXIDO DE CLORO		HIPOCLORITO

Após as combinações de sistemas de tratamento feitas, estabeleceram-se novamente os pesos dos critérios, pelo SRF, incluindo os critérios de custos de implantação e operação/manutenção dos sistemas de tratamento. A Tabela 6.9 mostra os pesos dos critérios desta etapa 3 (escolha dos efluentes combinados com sistemas/operações de tratamento) que foram determinados pelo SRF – Método do Jogo de Cartas.

Tabela 6.9 – Pesos dos Critérios na escolha das combinações efluentes e sistemas de tratamento

Número	Critério	Peso
1	<i>E. coli</i>	7,1
2	Coliformes Totais	6,1
3	DBO	5,1
4	SS qualidade	5,1
5	Nitrogênio Total	5,1
6	DQO	5,1
7	SS irrigação	1
8	Ferro irrigação	1
9	Custos de Implantação	7,1
10	Custos de Operação	7,1
11	Altura do caule	7,1
12	Diâmetro do caule	7,2
13	Número de Folhas	7,2
14	Número de Flores	7,2
15	CE águas de irrigação	3,1
16	RAS Águas de Irrigação	3,1
17	RAS Solo	4,1
18	PST Solo	4,1
19	Coliformes Totais Percolados	2
20	Nitrato Percolados	5,1
	Soma	100

A matriz de decisão, que considera todas as alternativas e critérios, da etapa 3 que é a escolha dos efluentes combinados com os sistemas de tratamento é mostrada na Tabela 6.10. Nesta, ainda podem ser vistos os limiares de preferência, indiferença e veto e a preferência dos critérios.

Após aplicação da análise multicritério na matriz de decisão de efluentes e sistemas de tratamento, utilizando três métodos diferentes, obtiveram-se resultados que apontam preferências comuns. Os resultados da etapa 3 (escolha de efluentes e sistemas de tratamento) são mostrados na Figura 6.8.

Tabela 6.10 – Matriz de decisão da etapa 3: escolha do efluente e sistemas de tratamento

CRITÉRIOS		PREFERÊNCIA	PESOS	ALTERNATIVAS							
				T3	T4	T7	T8	T3F	T4F	T7F	T8F
MINIMIZAR RISCO À SAÚDE PÚBLICA											
PADRÃO OMS											
1	<i>E COLI</i> (NMP.100mL ⁻¹)	DECRESCENTE	7,1	1,04E+06	5,21E+05	4,73E+06	7,91E+04	8,00E+05	4,03E+05	3,66E+06	6,12E+04
PADRÃO CALIFÓRNIA											
2	COLIFORMES TOTAIS (NMP.100mL ⁻¹)	DECRESCENTE	6,1	9,41E+06	4,71E+06	4,82E+06	3,04E+05	6,81E+06	3,41E+06	3,48E+06	2,20E+05
3	DBO (mg.L ⁻¹)	DECRESCENTE	5,1	63	41	70	178	31	21	35	89
4	SS (mg.L ⁻¹)	DECRESCENTE	5,1	68	118	82	37	17	29	21	9
5	NITROGÊNIO TOTAL (mg.L ⁻¹)	DECRESCENTE	5,1	22	13	26	28	11	7	13	14
6	DQO (mg.L ⁻¹)	DECRESCENTE	5,1	155	95	153	290	78	48	76	145
MINIMIZAR PROBLEMA COM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO											
7	SS (mg.L ⁻¹)	DECRESCENTE	1	68	118	82	37	17	29	21	9
8	FE (mg.L ⁻¹)	DECRESCENTE	1	0,557	0,553	0,489	0,585	0,139	0,138	0,122	0,146
CUSTOS DE TRATAMENTO											
9	CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO (R\$.m ⁻³)	DECRESCENTE	7,1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,143	0,143	0,143	0,143
10	CUSTOS DE OPERAÇÃO (R\$.m ⁻³)	DECRESCENTE	7,1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,098	0,098	0,098	0,098
PRODUTIVIDADE											
11	ALTURA DO CAULE (cm)	CRESCENTE	7,1	28,8	27,0	27,8	29,3	28,8	27,0	27,8	29,3
12	DIAMETRO DO CAULE (cm)	CRESCENTE	7,2	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
13	NUMERO DE FOLHAS (unidade)	CRESCENTE	7,2	62,5	52,6	69,7	60,1	62,5	52,6	69,7	60,1
14	NUMERO DE FLORES (unidade)	CRESCENTE	7,2	7,9	4,6	6,8	7,4	7,9	4,6	6,8	7,4
IMPACTOS AO SOLO											
15	CE ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO (µS/cm)	DECRESCENTE	3,1	582	495	886	774	582	495	886	774
16	RAS DAS ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO	DECRESCENTE	3,1	2,70	3,00	6,08	4,82	2,70	3,00	6,08	4,82
17	RAS SOLO	DECRESCENTE	4,1	0,14	0,18	0,11	0,15	0,14	0,18	0,11	0,15
18	PST DO SOLO	DECRESCENTE	4,1	2,77	3,22	1,98	2,80	2,77	3,22	1,98	2,80
IMPACTOS ÀS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS											
19	COLIFORMES TOTAIS DOS PERCOLADOS (NMP.100mL ⁻¹)	DECRESCENTE	2	0	50	50	110	0	50	50	110
20	NITRATO DOS PERCOLADOS (mg.L ⁻¹)	DECRESCENTE	5,1	4,7	5,9	9,1	10,0	4,7	5,9	9,1	10,0

Tabela 6.10b – Matriz de decisão da etapa 3: escolha do efluente e sistemas de tratamento (continuação)

CRITÉRIOS		PREFERÊNCIA	PESOS	ALTERNATIVAS							
MINIMIZAR RISCO À SAÚDE PÚBLICA				T3U	T4U	T7U	T8U	T3O	T4Oz	T7OZ	T8OZ
PADRÃO OMS											
1	<i>E coli</i> (NMP.100mL ⁻¹)	decrecente	7,1	5,18E+03	2,60E+03	2,37E+04	3,96E+02	2,59E+05	1,30E+05	1,18E+06	1,98E+04
PADRÃO CALIFÓRNIA											
2	COLIFORMES TOTAIS (NMP.100mL ⁻¹)	decrecente	6,1	9,41E+03	4,71E+03	4,82E+03	3,04E+02	2,35E+06	1,18E+06	1,20E+06	7,60E+04
3	DBO (mg.L ⁻¹)	decrecente	5,1	63	41	70	178	47	31	53	134
4	SS (mg.L ⁻¹)	decrecente	5,1	68	118	82	37	68	118	82	37
5	NITROGÊNIO TOTAL (mg.L ⁻¹)	decrecente	5,1	22,4	13,0	26,5	27,6	22,4	13,0	26,5	27,6
6	DQO (mg.L ⁻¹)	decrecente	5,1	155	95	153	290	39	24	38	72
MINIMIZAR PROBLEMA COM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO											
7	SS (mg.L ⁻¹)	decrecente	1	68	117,5	82	37	68	117,5	82	37
8	Fe (mg.L ⁻¹)	decrecente	1	0,557	0,553	0,489	0,585	0,557	0,553	0,489	0,585
CUSTOS DE TRATAMENTO											
9	CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO (R\$.m ⁻³)	decrecente	7,1	0,0815	0,0815	0,0815	0,0815	0,0621	0,0621	0,0621	0,0621
10	CUSTOS DE OPERAÇÃO (R\$.m ⁻³)	decrecente	7,1	0,0340	0,0340	0,0340	0,0340	0,0910	0,0910	0,0910	0,0910
PRODUTIVIDADE											
11	ALTURA DO CAULE (cm)	crescente	7,1	28,8	27,0	27,8	29,3	28,8	27,0	27,8	29,3
12	DIAMETRO DO CAULE (cm)	crescente	7,2	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
13	NUMERO DE FOLHAS (unidade)	crescente	7,2	62,5	52,6	69,7	60,1	62,5	52,6	69,7	60,1
14	NUMERO DE FLORES (unidade)	crescente	7,2	7,9	4,6	6,8	7,4	7,9	4,6	6,8	7,4
IMPACTOS AO SOLO											
15	CE ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO (µS/cm)	decrecente	3,1	582	495	886	774	582	495	886	774
16	RAS DAS ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO	decrecente	3,1	2,70	3,00	6,08	4,82	2,70	3,00	6,08	4,82
17	RAS SOLO	decrecente	4,1	0,14	0,18	0,11	0,15	0,14	0,18	0,11	0,15
18	PST DO SOLO	decrecente	4,1	2,77	3,22	1,98	2,80	2,77	3,22	1,98	2,80
IMPACTOS ÀS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS											
19	COLIFORMES TOTAIS DOS PERCOLADOS (NMP.100mL ⁻¹)	decrecente	2	0	50	50	110	0	50	50	110
20	NITRATO DOS PERCOLADOS (mg.L ⁻¹)	decrecente	5,1	4,7	5,9	9,1	10,0	4,7	5,9	9,1	10,0

Tabela 6.10c – Matriz de decisão da etapa 3: escolha do efluente e sistemas de tratamento (continuação)

CRITÉRIO		PREFERÊNCIA	PESOS		ALTERNATIVAS						
			T3CL	T4CL	T7CL	T8CL	T3FU	T4FU	T7FU	T8FU	
MINIMIZAR RISCO À SAÚDE PÚBLICA											
PADRÃO OMS											
1	E COLI (NMP.100mL ⁻¹)	decrecente	7,1	2,59E+05	1,30E+05	1,18E+06	1,98E+04	4,00E+03	2,01E+03	1,83E+04	3,06E+02
PADRÃO CALIFÓRNIA											
2	COLIFORMES TOTAIS (NMP.100mL ⁻¹)	decrecente	6,1	2,35E+06	1,18E+06	1,20E+06	7,60E+04	6,81E+03	3,41E+03	3,48E+03	2,20E+02
3	DBO (mg.L ⁻¹)	decrecente	5,1	63	41	70	178	31	21	35	89
4	SS (mg.L ⁻¹)	decrecente	5,1	68	118	82	37	17	29	21	9
5	NITROGÊNIO TOTAL (mg.L ⁻¹)	decrecente	5,1	5,6	3,3	6,6	6,9	11,2	6,5	13,2	13,8
6	DQO (mg.L ⁻¹)	decrecente	5,1	155	95	153	290	78	48	76	145
MINIMIZAR PROBLEMA COM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO											
7	SS (mg.L ⁻¹)	decrecente	1	68	118	82	37	17	29	21	9
8	FE (mg.L ⁻¹)	decrecente	1	0,557	0,553	0,489	0,585	0,139	0,138	0,122	0,146
CUSTOS DE TRATAMENTO											
9	CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO (R\$.m ⁻³)	decrecente	7,1	0,0124	0,0124	0,0124	0,0124	0,2244	0,2244	0,2244	0,2244
10	CUSTOS DE OPERAÇÃO (R\$.m ⁻³)	decrecente	7,1	0,0180	0,0180	0,0180	0,0180	0,1323	0,1323	0,1323	0,1323
PRODUTIVIDADE											
11	ALTURA DO CAULE (cm)	crecente	7,1	28,8	27,0	27,8	29,3	28,8	27,0	27,8	29,3
12	DIAMETRO DO CAULE (cm)	crecente	7,2	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
13	NUMERO DE FOLHAS (unidade)	crecente	7,2	62,5	52,6	69,7	60,1	62,5	52,6	69,7	60,1
14	NUMERO DE FLORES (unidade)	crecente	7,2	7,9	4,6	6,8	7,4	7,9	4,6	6,8	7,4
IMPACTOS AO SOLO											
15	CE ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO (µS/cm)	decrecente	3,1	582	495	886	774	582	495	886	774
16	RAS DAS ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO	decrecente	3,1	2,70	3,00	6,08	4,82	2,70	3,00	6,08	4,82
17	RAS SOLO	decrecente	4,1	0,14	0,18	0,11	0,15	0,14	0,18	0,11	0,15
18	PST DO SOLO	decrecente	4,1	2,77	3,22	1,98	2,80	2,77	3,22	1,98	2,80
IMPACTOS ÀS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS											
19	COLIFORMES TOTAIS DOS PERCOLADOS (NMP.100mL ⁻¹)	decrecente	2	0	50	50	110	0	50	50	110
20	NITRATO DOS PERCOLADOS (mg.L ⁻¹)	decrecente	5,1	4,7	5,9	9,1	10,0	4,7	5,9	9,1	10,0

Tabela 6.10d – Matriz de decisão da etapa 3: escolha do efluente e sistemas de tratamento (continuação)

CRITÉRIO		PREFERÊNCIA	PESOS	ALTERNATIVAS							
MINIMIZAR RISCO À SAÚDE PÚBLICA				T3FOZ	T4FOZ	T7FOZ	T8FOZ	T3FCL	T4FCL	T7FCL	T8FCL
PADRÃO OMS											
1	<i>E coli</i> (NMP.100mL ⁻¹)	decrecente	7,1	2,00E+05	1,01E+05	9,15E+05	1,53E+04	2,00E+05	1,01E+05	9,15E+05	1,53E+04
PADRÃO CALIFÓRNIA											
2	COLIFORMES TOTAIS (NMP.100mL ⁻¹)	decrecente	6,1	1,70E+06	8,52E+05	8,71E+05	5,49E+04	1,70E+06	8,52E+05	8,71E+05	5,49E+04
3	DBO (mg.L ⁻¹)	decrecente	5,1	24	16	26	67	31	21	35	89
4	SS (mg.L ⁻¹)	decrecente	5,1	17	29	21	9	17	29	21	9
5	NITROGÊNIO TOTAL (mg.L ⁻¹)	decrecente	5,1	11,2	6,5	13,2	13,8	2,8	1,6	3,3	3,5
6	DQO (mg.L ⁻¹)	decrecente	5,1	19	12	19	36	78	48	76	145
MINIMIZAR PROBLEMA COM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO											
7	SS (mg.L ⁻¹)	decrecente	1	17	29	21	9	17	29	21	9
8	Fe (mg.L ⁻¹)	decrecente	1	0,139	0,138	0,122	0,146	0,139	0,138	0,122	0,146
CUSTOS DE TRATAMENTO											
9	CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO (R\$.m ⁻³)	decrecente	7,1	0,2050	0,2050	0,2050	0,2050	0,1553	0,1553	0,1553	0,1553
10	CUSTOS DE OPERAÇÃO (R\$.m ⁻³)	decrecente	7,1	0,1893	0,1893	0,1893	0,1893	0,1163	0,1163	0,1163	0,1163
PRODUTIVIDADE											
11	ALTURA DO CAULE (cm)	crecente	7,1	28,8	27,0	27,8	29,3	28,8	27,0	27,8	29,3
12	DIAMETRO DO CAULE (cm)	crecente	7,2	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
13	NUMERO DE FOLHAS (unidade)	crecente	7,2	62,5	52,6	69,7	60,1	62,5	52,6	69,7	60,1
14	NUMERO DE FLORES (unidade)	crecente	7,2	7,9	4,6	6,8	7,4	7,9	4,6	6,8	7,4
IMPACTOS AO SOLO											
15	CE ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO (µS/cm)	decrecente	3,1	582	495	886	774	582	495	886	774
16	RAS DAS ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO	decrecente	3,1	2,70	3,00	6,08	4,82	2,70	3,00	6,08	4,82
17	RAS SOLO	decrecente	4,1	0,14	0,18	0,11	0,15	0,14	0,18	0,11	0,15
18	PST DO SOLO	decrecente	4,1	2,77	3,22	1,98	2,80	2,77	3,22	1,98	2,80
IMPACTOS ÀS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS											
19	COLIFORMES TOTAIS DOS PERCOLADOS (NMP.100mL ⁻¹)	decrecente	2	0	50	50	110	0	50	50	110
20	NITRATO DOS PERCOLADOS (mg.L ⁻¹)	decrecente	5,1	4,7	5,9	9,1	10,0	4,7	5,9	9,1	10,0

Tabela 6.10e – Matriz de decisão da etapa 3: escolha do efluente e sistemas de tratamento (continuação)

	CRITÉRIO	PREFERÊNCIA	PESOS	LIMIARES			
				MÁXIMO	INDIFERENÇA	PREFERÊNCIA	VETO
MINIMIZAR RISCO À SAÚDE PÚBLICA							
PADRÃO OMS							
1	E coli (NMP.100mL ⁻¹)	decrecente	7,1	4,73E+06	5,00E+02	1,00E+03	4,50E+06
PADRÃO CALIFÓRNIA							
2	COLIFORMES TOTAIS (NMP.100mL ⁻¹)	decrecente	6,1	9,41E+06	5,00E+02	1,00E+03	8,94E+06
3	DBO (mg.L ⁻¹)	decrecente	5,1	178	9	18	160
4	SS (mg.L ⁻¹)	decrecente	5,1	118	6	12	106
5	NITROGÊNIO TOTAL (mg.L ⁻¹)	decrecente	5,1	27,6	1,4	2,8	24,9
6	DQO (mg.L ⁻¹)	decrecente	5,1	290	14	29	261
MINIMIZAR PROBLEMA COM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO							
7	SS (mg.L ⁻¹)	decrecente	1	118	6	12	106
8	Fe (mg.L ⁻¹)	decrecente	1	0,585	0,029	0,059	0,527
CUSTOS DE TRATAMENTO							
9	CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO (R\$.m ⁻³)	decrecente	7,1	0,1429	0,0071	0,0143	0,1286
10	CUSTOS DE OPERAÇÃO (R\$.m ⁻³)	decrecente	7,1	0,0983	0,0049	0,0098	0,0884
PRODUTIVIDADE							
11	ALTURA DO CAULE (cm)	crescente	7,1	29,3	1,5	2,9	26,4
12	DIAMETRO DO CAULE (cm)	crescente	7,2	0,7	0,0	0,1	0,7
13	NUMERO DE FOLHAS (unidade)	crescente	7,2	69,7	3,5	7,0	62,7
14	NUMERO DE FLORES (unidade)	crescente	7,2	7,9	0,4	0,8	7,1
IMPACTOS AO SOLO							
15	CE ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO (µS/cm)	decrecente	3,1	886	44	89	798
16	RAS DAS ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO	decrecente	3,1	6,08	0,30	0,61	5,47
17	RAS SOLO	decrecente	4,1	0,18	0,01	0,02	0,17
18	PST DO SOLO	decrecente	4,1	3,22	0,16	0,32	2,90
IMPACTOS ÀS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS							
19	COLIFORMES TOTAIS DOS PERCOLADOS (NMP.100mL ⁻¹)	decrecente	2	110	6	11	99
20	NITRATO DOS PERCOLADOS (mg.L ⁻¹)	decrecente	5,1	10,0	0,5	1,0	9,0

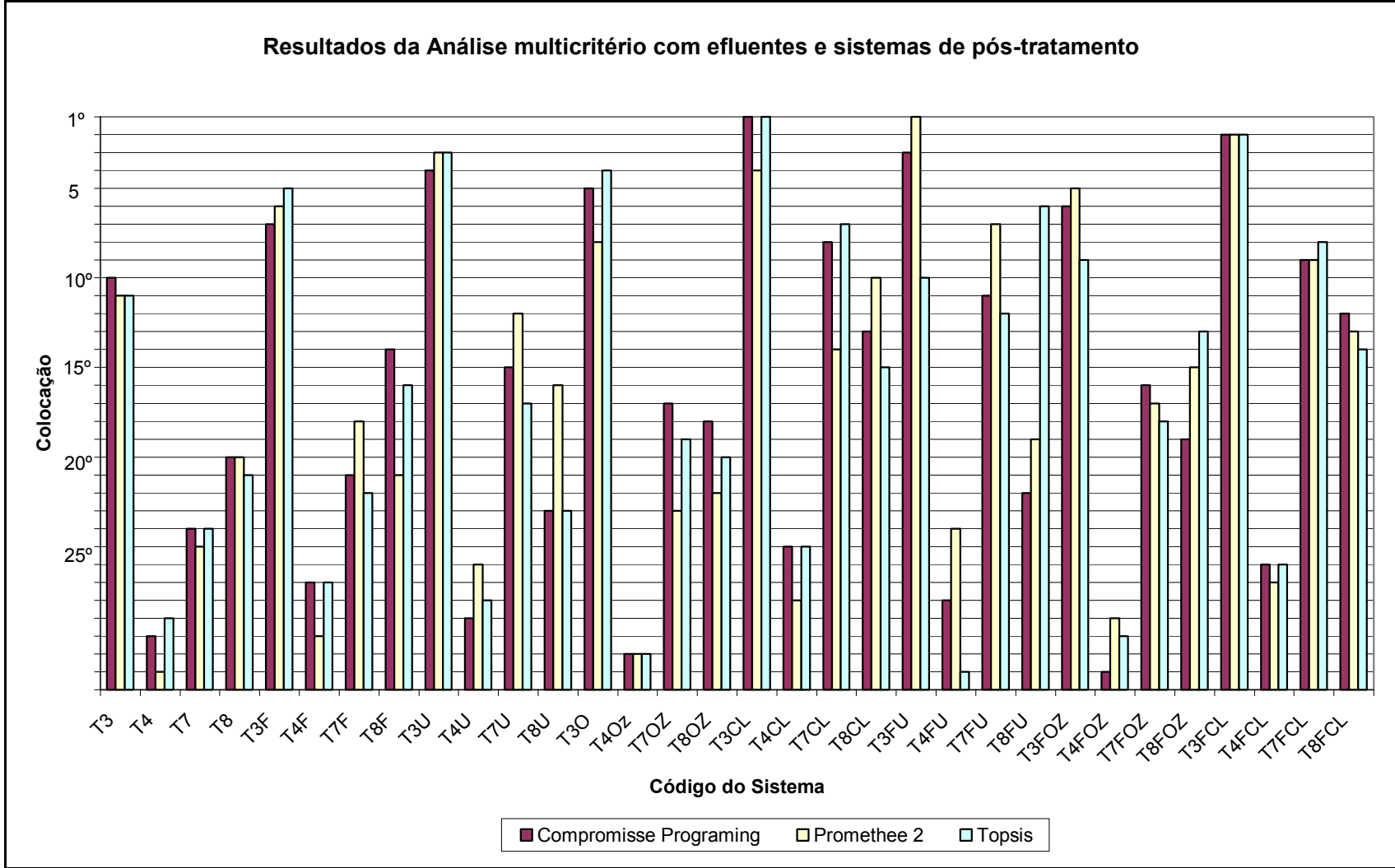


Figura 6.9 – Resultados da análise multicritério na escolha de efluentes combinados com sistemas de tratamento.

Os resultados obtidos pelo *Compromise Programming* (CP) mostraram como alternativas preferenciais (1) efluente primário + cloração, (2) efluente primário + filtração e cloração, (3) efluente primário + desinfecção por radiação UV, (4) efluente primário + filtração e desinfecção por radiação UV e (5) efluente primário + ozonização.

Os resultados obtidos pelo Promethee 2 mostraram como alternativas melhores colocadas: (1) efluente primário + filtração e desinfecção por UV, (2) efluente primário + filtração e cloração, (3) efluente primário + desinfecção por UV, (4) efluente primário e cloração e (5) efluente primário + filtração e ozonização.

Já o Topsis mostrou como preferenciais (1) efluente primário + cloração, (2) efluente primário + filtração e cloração, (3) efluente primário + desinfecção por UV, (4) efluente primário + ozonização e (5) efluente primário com desinfecção.

Percebe-se a clara preferência pelo efluente primário, confirmando resultados da etapa 2, e ainda mais nesta etapa que está sendo inserido os sistemas de tratamento, que contribuem com a minimização dos riscos à saúde pública. Deve-se lembrar que essas eficiências são teóricas, e que na prática pode-se obter eficiências maiores e conseqüentemente menores riscos à saúde pública.

Considerando os resultados dos três métodos, o efluente primário com filtração e cloração mostra-se como alternativa que mais se aproxima do ideal. Isso confirma os apontamentos da literatura especializada, onde a filtração diminuiria as concentrações de sólidos suspensos, removeria protozoários e helmintos e poderia provocar a inativação de vírus e a cloração seria eficiente na desinfecção dos efluentes além da oxidação da matéria orgânica.

Outras alternativas seriam efluente primário com cloração, com radiação UV, filtração e UV e ozonização. Entretanto, como estes resultados só ratificaram o efluente primário, para não haver contestações e os resultados serem mais abrangentes, foram feitas na etapa 4 (item 6.4) duas matrizes, na qual a segunda considera também os outros efluentes selecionados na etapa 2, justamente para se ter maiores alternativas no caso de uma aplicação real.

6.4 - RESULTADOS DA ESCOLHA DOS EFLUENTES COMBINADOS COM SISTEMAS DE TRATAMENTO E SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

Nesta etapa do trabalho, foram concebidas duas matrizes finais de decisão para o sistema completo. Isso foi feito porque na etapa 3 os resultados indicaram como alternativa o T3 (efluente primário) combinado com alguns sistemas de tratamento. Isto limitaria os resultados e no caso de haver a necessidade de utilização de outro efluente devido a outros motivos, como, por exemplo, a distância do local de irrigação da estação de tratamento de esgotos, alternativas de sistemas de reúso sem o efluente primário poderiam ser selecionadas. O fato de se utilizar outros efluentes na matriz de decisão, resultará em sugestões diferentes de sistemas de reúso em irrigação para cada tipo de efluente. Ou seja, para cada efluente se terá uma combinação de sistemas de tratamento e sistemas de irrigação.

A primeira matriz de decisão considera as cinco melhores alternativas da etapa 3 e 4 tipos de sistemas de irrigação. A segunda matriz de decisão considera as duas melhores alternativas para cada efluente obtidas na etapa 3 e 4 sistemas de irrigação.

Os resultados da atribuição de pesos aos critérios da etapa 4 pelo SRF são mostrados na Tabela 6.11. A matriz de decisão 1 (5 melhores da etapa 3 e mais 4 sistemas de irrigação: $5 \times 4 = 20$) é mostrada na Tabela 6.12. A matriz de decisão 2 (2 melhores alternativas de cada efluente da etapa 3 e 4 sistemas de irrigação: $8 \times 4 = 32$) é mostrada na Tabela 6.13.

Após aplicação da análise multicritério nas duas matrizes de decisão de efluentes, sistemas de tratamento e sistemas de irrigação, utilizando cinco métodos diferentes, obteve-se resultados que apontam prioridades análogas. Os resultados da matriz 1, da etapa 4 (escolha de efluentes + sistemas de tratamento + sistemas de irrigação) são mostrados na Figura 6.9. Já os resultados da matriz 2, da etapa 4 (escolha de efluentes + sistemas de tratamento + sistemas de irrigação) são mostrados na Figura 6.10

Tabela 6.11 – Pesos dos critérios da etapa 4: escolha do efluente, sistema de tratamento e sistema de irrigação

Nº CRITÉRIO	OBJETIVOS/CRITÉRIOS	MATRIZ 1 PESO	MATRIZ 2 PESO
MINIMIZAÇÃO DE RISCOS À SAÚDE PÚBLICA			
1	E COLI	7,52	4,96
2	COLIFORMES TOTAIS	6,45	4,25
3	DBO	5,38	3,55
4	SS QUALIDADE	5,38	3,55
5	NITROGÊNIO TOTAL	5,38	3,55
6	DQO	5,38	3,55
MINIMIZAÇÃO DE PROBLEMAS AOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO			
7	SS IRRIGAÇÃO	1,08	0,71
8	FERRO IRRIGAÇÃO	1,08	0,71
MINIMIZAÇÃO DE CUSTOS DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO			
9	CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO TRATAMENTO	7,52	4,96
10	CUSTOS DE OPERAÇÃO TRATAMENTO	7,52	4,96
PRODUTIVIDADE			
11	ALTURA DO CAULE	NÃO SERÃO CONSIDERADOS, POIS SÃO IGUAIS NO T3	4,96
12	DIAMETRO DO CAULE		4,96
13	NÚMERO DE FOLHAS		4,96
14	NÚMERO DE FLORES		4,96
MINIMIZAÇÃO DE IMPACTOS AO SOLO			
15	CE ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO		2,13
16	RAS ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO		2,13
17	RAS SOLO		2,84
18	PST SOLO		2,84
MINIMIZAÇÃO DE IMPACTOS À ÁGUAS SUBTERRÂNEAS			
19	COLIFORMES TOTAIS PERCOLADOS		1,42
20	NITRATO PERCOLADOS		3,55
FLEXIBILIDADE OPERACIONAL DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO			
21	ADAPTAÇÃO À TOPOGRAFIA	1,08	0,71
22	RESTRIÇÕES RELATIVAS À TAXA DA APLICAÇÃO	1,08	0,71
EFICIÊNCIA NA IRRIGAÇÃO			
23	EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA	2,15	1,42
CUSTOS DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO			
24	CUSTOS	7,52	4,96
IMPACTO ÀS CULTURAS			
25	SENSIBILIDADE DA CULTURA AO MOLHAMENTO	3,23	2,13
IMPACTOS À SAÚDE PÚBLICA DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO			
26	FORMAÇÃO DE AEROSSÓIS	7,52	4,96
27	FORMAÇÃO DE ODORES	6,45	4,26
28	EXPOSIÇÃO AO PÚBLICO	7,53	4,96
IMPLANTAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO			
29	FACILIDADES DE INSTALAÇÃO	4,3	2,13
30	SUSCEPTIBILIDADE AO ENTUPIAMENTO	6,45	4,26

Tabela 6.12 – Matriz de Decisão número 1: 5 melhores alternativas da etapa 3 e 4 sistemas de irrigação.

Nº	CRITÉRIOS	PREF.	PESO	LIMIARES			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
				I	P	V	T3FCLAS	T3CLAS	T3UAS	T3FUAS	T3OAS	T3FCLGO	T3CLGO	T3UGO	T3FUGO	T3OGO
1	<i>E coli</i>	DECR.	7,52	5,00E+02	1,00E+03	4,50E+06	2,00E+05	2,59E+05	5,18E+03	4,00E+03	2,59E+05	2,00E+05	2,59E+05	5,18E+03	4,00E+03	2,59E+05
2	COLIFORMES TOTAIS	DECR.	6,45	5,00E+02	1,00E+03	8,94E+06	1,70E+06	2,35E+06	9,41E+03	6,81E+03	2,35E+06	1,70E+06	2,35E+06	9,41E+03	6,81E+03	2,35E+06
3	DBO	DECR.	5,38	9	18	160	31	63	63	31	47	31	63	63	31	47
4	SÓLIDOS SUSPENSOS	DECR.	5,38	6	12	106	17	68	68	17	68	17	68	68	17	68
5	NITROGÊNIO TOTAL	DECR.	5,38	1	3	25	2,8	5,6	22,4	11,2	22,4	2,8	5,6	22,4	11,2	22,4
6	DQO	DECR.	5,38	14	29	261	78	155	155	78	39	78	155	155	78	39
7	SÓLIDOS ENTUPIMENTO	DECR.	1,08	6	12	106	17	68	68	17	68	17	68	68	17	68
8	FERRO IRRIGAÇÃO	DECR.	1,08	0,03	0,06	0,53	0,14	0,56	0,56	0,14	0,56	0,14	0,56	0,56	0,14	0,56
9	CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO	DECR.	7,52	0,007	0,014	0,129	0,155	0,012	0,081	0,224	0,062	0,155	0,012	0,081	0,224	0,062
10	TRATAMENTO	DECR.	7,52	0,005	0,010	0,088	0,116	0,018	0,034	0,132	0,091	0,116	0,018	0,034	0,132	0,091
21	CUSTOS DE OPERAÇÃO	DECR.	7,52	0,005	0,010	0,088	0,116	0,018	0,034	0,132	0,091	0,116	0,018	0,034	0,132	0,091
21	ADAPTAÇÃO À TOPOGRAFIA	CRESC	1,08	0,1	1	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
22	RESTRICÇÕES RELATIVAS À TAXA DA APLICAÇÃO	CRESC	1,08	0,1	1	5	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3
23	EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA	CRESC	2,15	0,1	1	5	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
24	CUSTOS	CRESC	7,52	0,1	1	5	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
25	SENSIBILIDADE DA CULTURA AO MOLHAMENTO	CRESC	3,23	0,1	1	5	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
26	FORMAÇÃO DE AEROSSÓIS	CRESC	7,52	0,1	1	5	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3
27	FORMAÇÃO DE ODORES	CRESC	6,45	0,1	1	5	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
28	EXPOSIÇÃO AO PÚBLICO	CRESC	7,53	0,1	1	5	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3
29	FACILIDADES DE INSTALAÇÃO	CRESC	4,3	0,1	1	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
30	SUSCEPTIBILIDADE AO ENTUPIMENTO	CRESC	6,45	0,1	1	5	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2

Tabela 6.12b – Matriz de Decisão número 1: 5 melhores alternativas da etapa 3 e 4 sistemas de irrigação (continuação).

Nº	CRITÉRIOS	PREF.	PESO	LIMIARES			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
				I	P	V	T3FCLSS	T3CLSS	T3USS	T3FUSS	T3OSS	T3FCLMA	T3CLMA	T3UMA	T3FUMA	T3OMA
1	E coli	DECR.	7,52	5,00E+02	1,00E+03	4,50E+06	2,00E+05	2,59E+05	5,18E+03	4,00E+03	2,59E+05	2,00E+05	2,59E+05	5,18E+03	4,00E+03	2,59E+05
2	COLIFORMES TOTAIS	DECR.	6,45	5,00E+02	1,00E+03	8,94E+06	1,70E+06	2,35E+06	9,41E+03	6,81E+03	2,35E+06	1,70E+06	2,35E+06	9,41E+03	6,81E+03	2,35E+06
3	DBO	DECR.	5,38	9	18	160	31	63	63	31	47	31	63	63	31	47
4	SÓLIDOS SUSPENSOS	DECR.	5,38	6	12	106	17	68	68	17	68	17	68	68	17	68
5	NITROGÊNIO TOTAL	DECR.	5,38	1	3	25	2,8	5,6	22,4	11,2	22,4	2,8	5,6	22,4	11,2	22,4
6	DQO	DECR.	5,38	14	29	261	78	155	155	78	39	78	155	155	78	39
7	SÓLIDOS ENTUPIIMENTO	DECR.	1,08	6	12	106	17	68	68	17	68	17	68	68	17	68
8	FERRO IRRIGAÇÃO	DECR.	1,08	0,03	0,06	0,53	0,14	0,56	0,56	0,14	0,56	0,14	0,56	0,56	0,14	0,56
9	CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO TRATAMENTO	DECR.	7,52	0,007	0,014	0,129	0,155	0,012	0,081	0,224	0,062	0,155	0,012	0,081	0,224	0,062
10	CUSTOS DE OPERAÇÃO TRATAMENTO	DECR.	7,52	0,005	0,010	0,088	0,116	0,018	0,034	0,132	0,091	0,116	0,018	0,034	0,132	0,091
21	ADAPTAÇÃO À TOPOGRAFIA	CRESC	1,08	0,1	1	5	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
22	RESTRICÇÕES RELATIVAS À TAXA DA APLICAÇÃO	CRESC	1,08	0,1	1	5	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
23	EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA	CRESC	2,15	0,1	1	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
24	CUSTOS SENSIBILIDADE DA	CRESC	7,52	0,1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	CULTURA AO MOLHAMENTO	CRESC	3,23	0,1	1	5	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3
26	FORMAÇÃO DE AEROSSÓIS	CRESC	7,52	0,1	1	5	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2
27	FORMAÇÃO DE ODORES	CRESC	6,45	0,1	1	5	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
28	EXPOSIÇÃO AO PÚBLICO	CRESC	7,53	0,1	1	5	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2
29	FACILIDADES DE INSTALAÇÃO	CRESC	4,3	0,1	1	5	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
30	SUSCEPTIBILIDADE AO ENTUPIIMENTO	CRESC	6,45	0,1	1	5	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3

Tabela 6.13 – Matriz de Decisão número 2: 2 melhores alternativas de cada efluente da etapa 3 e 4 sistemas de irrigação

Nº	Critérios	Pref.	Peso	Limiares			1	2	3	4	5	6	7	8
				I	P	V								
1	E coli	Decr.	4,96	5,00E+02	1,00E+03	4,50E+06	2,59E+05	2,00E+05	9,15E+05	1,18E+06	1,98E+04	1,53E+04	1,30E+05	1,01E+05
2	Coliformes totais	Decr.	4,25	5,00E+02	1,00E+03	8,94E+06	2,35E+06	1,70E+06	8,71E+05	1,20E+06	7,60E+04	5,49E+04	1,18E+06	8,52E+05
3	DBO	Decr.	3,55	9	18	160	63	31	35	70	178	89	41	21
4	Sólidos Suspensos	Decr.	3,55	6	12	106	68	17	21	82	37	9	118	29
5	Nitrogênio total	Decr.	3,55	1	3	25	5,6	2,8	3,3	6,6	6,9	3,5	3,3	1,6
6	DQO	Decr.	3,55	14	29	261	155	78	76	153	290	145	95	48
7	Sólidos suspensos	Decr.	0,71	6	12	106	68	17	21	82	37	9	118	29
8	Ferro irrigação	Decr.	0,71	0,03	0,06	0,53	0,56	0,14	0,12	0,49	0,59	0,15	0,55	0,14
9	Custos de implantação tratamento	Decr.	4,96	0,007	0,014	0,129	0,012	0,155	0,155	0,012	0,012	0,155	0,012	0,155
10	Custos de operação tratamento	Decr.	4,96	0,005	0,010	0,088	0,018	0,116	0,116	0,018	0,018	0,116	0,018	0,116
11	Altura do caule	Cresc.	4,96	1,47	2,93	26,37	29	29	28	28	29	29	27	27
12	Diâmetro do caule	Cresc.	4,96	0,04	0,07	0,66	0,70	0,70	0,73	0,73	0,74	0,74	0,67	0,67
13	Número de folhas	Cresc.	4,96	3,5	7,0	62,7	63	63	70	70	60	60	53	53
14	Número de flores	Cresc.	4,96	0,4	0,8	7,1	7,9	7,9	6,8	6,8	7,4	7,4	4,6	4,6
15	Ce águas de irrigação	Decr.	2,13	44	89	798	582	582	886	886	774	774	495	495
16	RAS águas de irrigação	Decr.	2,13	0,3	0,6	5,5	2,7	2,7	6,1	6,1	4,8	4,8	3,0	3,0
17	RAS solo	Decr.	2,84	0,009	0,018	0,165	0,14	0,14	0,11	0,11	0,15	0,15	0,18	0,18
18	PST solo	Decr.	2,84	0,16	0,32	2,90	2,77	2,77	1,98	1,98	2,80	2,80	3,22	3,22
19	Coliformes totais percolados	Decr.	1,42	5,5	11,0	99,0	0	0	50	50	110	110	50	50
20	Nitrato percolados	Decr.	3,55	0,5	1,0	9,0	4,7	4,7	9,1	9,1	10,0	10,0	5,9	5,9
21	Adaptação à topografia	Cresc.	0,71	0,1	1	5	3	3	3	3	3	3	3	3
22	Restrições relativas à taxa da aplicação	Cresc.	0,71	0,1	1	5	4	4	4	4	4	4	4	4
23	Eficiência do uso da água	Cresc.	1,42	0,1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1
24	Custos	Cresc.	4,96	0,1	1	5	2	2	2	2	2	2	2	2
25	Sensibilidade da cultura ao molhamento	Cresc.	2,13	0,1	1	5	2	2	2	2	2	2	2	2
26	Formação de aerossóis	Cresc.	4,96	0,1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1
27	Formação de odores	Cresc.	4,26	0,1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1
28	Exposição ao público	Cresc.	4,96	0,1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1
29	Facilidades de instalação	Cresc.	2,13	0,1	1	5	2	2	2	2	2	2	2	2
30	Susceptibilidade ao entupimento	Cresc.	4,26	0,1	1	5	4	4	4	4	4	4	4	4

Tabela 6.13b – Matriz de Decisão número 2: 2 melhores alternativas de cada efluente da etapa 3 e 4 sistemas de irrigação (continuação)

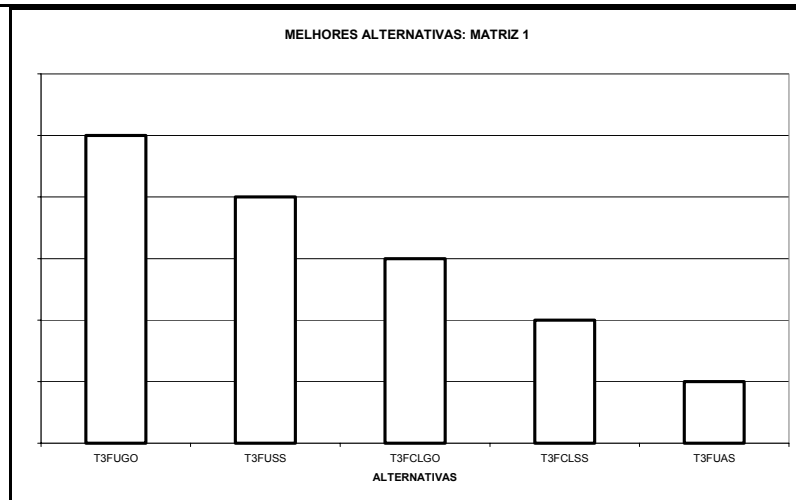
Nº	Critérios	Pref.	Peso	Limiares			9	10	11	12	13	14	15	16
				I	P	V	T3CLGO	T3FCLGO	T7FCLGO	T7CLGO	T8CLGO	T8FCLGO	T4CLGO	T4FCLGO
1	<i>E coli</i>	Decr.	4,96	5,0E+02	1,0E+03	4,5E+06	2,6E+05	2,0E+05	9,2E+05	1,2E+06	2,0E+04	1,5E+04	1,3E+05	1,0E+05
2	Coliformes Totais	Decr.	4,25	5,0E+02	1,0E+03	8,9E+06	2,4E+06	1,7E+06	8,7E+05	1,2E+06	7,6E+04	5,5E+04	1,2E+06	8,5E+05
3	DBO	Decr.	3,55	9	18	160	63	31	35	70	178	89	41	21
4	SS qualidade	Decr.	3,55	6	12	106	68	17	21	82	37	9	118	29
5	Nitrogênio Total	Decr.	3,55	1	3	25	5,6	2,8	3,3	6,6	6,9	3,5	3,3	1,6
6	DQO	Decr.	3,55	14	29	261	155	78	76	153	290	145	95	48
7	SS irrigação	Decr.	0,71	6	12	106	68	17	21	82	37	9	118	29
8	Ferro irrigação	Decr.	0,71	0,03	0,06	0,53	0,56	0,14	0,12	0,49	0,59	0,15	0,55	0,14
9	Custos de Implantação Tratamento	Decr.	4,96	0,007	0,014	0,129	0,012	0,155	0,155	0,012	0,012	0,155	0,012	0,155
10	Custos de Operação Tratamento	Decr.	4,96	0,005	0,010	0,088	0,018	0,116	0,116	0,018	0,018	0,116	0,018	0,116
11	Altura do caule	Cresc.	4,96	1,47	2,93	26,37	29	29	28	28	29	29	27	27
12	Diâmetro do caule	Cresc.	4,96	0,04	0,07	0,66	0,70	0,70	0,73	0,73	0,74	0,74	0,67	0,67
13	Número de Folhas	Cresc.	4,96	3,5	7,0	62,7	63	63	70	70	60	60	53	53
14	Número de Flores	Cresc.	4,96	0,4	0,8	7,1	7,9	7,9	6,8	6,8	7,4	7,4	4,6	4,6
15	CE águas de irrigação	Decr.	2,13	44	89	798	582	582	886	886	774	774	495	495
16	RAS Águas de Irrigação	Decr.	2,13	0,3	0,6	5,5	2,7	2,7	6,1	6,1	4,8	4,8	3,0	3,0
17	RAS Solo	Decr.	2,84	0,009	0,018	0,165	0,14	0,14	0,11	0,11	0,15	0,15	0,18	0,18
18	PST Solo	Decr.	2,84	0,16	0,32	2,90	2,77	2,77	1,98	1,98	2,80	2,80	3,22	3,22
19	Coliformes Totais Percolados	Decr.	1,42	5,5	11,0	99,0	0	0	50	50	110	110	50	50
20	Nitrato percolados	Decr.	3,55	0,5	1,0	9,0	4,7	4,7	9,1	9,1	10,0	10,0	5,9	5,9
21	Adaptação à topografia	Cresc.	0,71	0,1	1	5	3	3	3	3	3	3	3	3
22	Restrições relativas à taxa da aplicação	Cresc.	0,71	0,1	1	5	3	3	3	3	3	3	3	3
23	Eficiência do uso da água	Cresc.	1,42	0,1	1	5	2	2	2	2	2	2	2	2
24	custos	Cresc.	4,96	0,1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1
25	Sensibilidade da cultura ao molhamento	Cresc.	2,13	0,1	1	5	3	3	3	3	3	3	3	3
26	Formação de aerossóis	Cresc.	4,96	0,1	1	5	3	3	3	3	3	3	3	3
27	Formação de odores	Cresc.	4,26	0,1	1	5	2	2	2	2	2	2	2	2
28	Exposição ao público	Cresc.	4,96	0,1	1	5	3	3	3	3	3	3	3	3
29	Facilidades de instalação	Cresc.	2,13	0,1	1	5	2	2	2	2	2	2	2	2
30	Susceptibilidade ao entupimento	Cresc.	4,26	0,1	1	5	2	2	2	2	2	2	2	2

Tabela 6.13c – Matriz de Decisão número 2: 2 melhores alternativas de cada efluente da etapa 3 e 4 sistemas de irrigação (continuação)

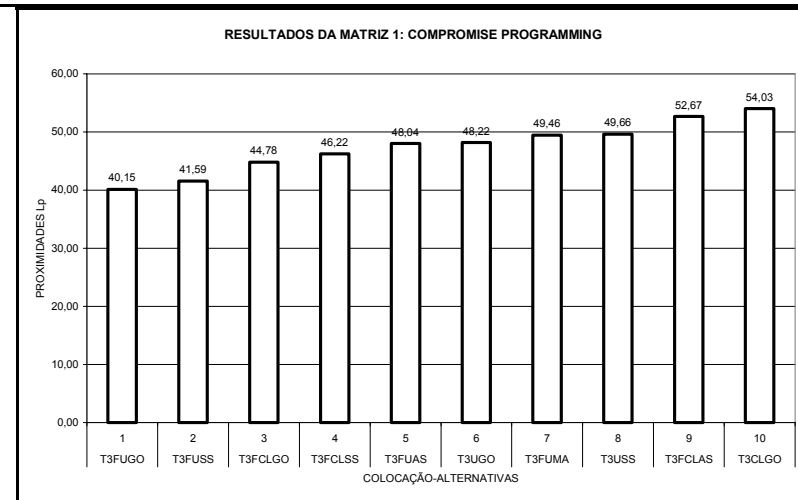
Nº	Critérios	Pref.	Peso	Limiares			17	18	19	20	21	22	23	24
				I	P	V								
1	<i>E coli</i>	Decr.	4,96	5,E+02	1,E+03	4,E+06	3,E+05	2,E+05	9,E+05	1,E+06	2,E+04	2,E+04	1,E+05	1,E+05
2	Coliformes Totais	Decr.	4,25	5,E+02	1,E+03	9,E+06	2,E+06	2,E+06	9,E+05	1,E+06	8,E+04	5,E+04	1,E+06	9,E+05
3	DBO	Decr.	3,55	9	18	160	63	31	35	70	178	89	41	21
4	Sólidos Suspensos	Decr.	3,55	6	12	106	68	17	21	82	37	9	118	29
5	Nitrogênio Total	Decr.	3,55	1	3	25	5,6	2,8	3,3	6,6	6,9	3,5	3,3	1,6
6	DQO	Decr.	3,55	14	29	261	155	78	76	153	290	145	95	48
7	Sólidos entupimento	Decr.	0,71	6	12	106	68	17	21	82	37	9	118	29
8	Ferro irrigação	Decr.	0,71	0,03	0,06	0,53	0,56	0,14	0,12	0,49	0,59	0,15	0,55	0,14
9	Custos de Implantação Tratamento	Decr.	4,96	0,007	0,014	0,129	0,012	0,155	0,155	0,012	0,012	0,155	0,012	0,155
10	Custos de Operação Tratamento	Decr.	4,96	0,005	0,010	0,088	0,018	0,116	0,116	0,018	0,018	0,116	0,018	0,116
11	Altura do caule	Cresc.	4,96	1,47	2,93	26,37	29	29	28	28	29	29	27	27
12	Diâmetro do caule	Cresc.	4,96	0,04	0,07	0,66	0,70	0,70	0,73	0,73	0,74	0,74	0,67	0,67
13	Número de Folhas	Cresc.	4,96	3,5	7,0	62,7	63	63	70	70	60	60	53	53
14	Número de Flores	Cresc.	4,96	0,4	0,8	7,1	7,9	7,9	6,8	6,8	7,4	7,4	4,6	4,6
15	CE águas de irrigação	Decr.	2,13	44	89	798	582	582	886	886	774	774	495	495
16	RAS Águas de Irrigação	Decr.	2,13	0,3	0,6	5,5	2,7	2,7	6,1	6,1	4,8	4,8	3,0	3,0
17	RAS Solo	Decr.	2,84	0,009	0,018	0,165	0,14	0,14	0,11	0,11	0,15	0,15	0,18	0,18
18	PST Solo	Decr.	2,84	0,16	0,32	2,90	2,77	2,77	1,98	1,98	2,80	2,80	3,22	3,22
19	Coliformes Totais Percolados	Decr.	1,42	5,5	11,0	99,0	0	0	50	50	110	110	50	50
20	Nitrato Percolados	Decr.	3,55	0,5	1,0	9,0	4,7	4,7	9,1	9,1	10,0	10,0	5,9	5,9
21	Adaptação à topografia	Cresc.	0,71	0,1	1	5	2	2	2	2	2	2	2	2
22	Restrições relativas à taxa da aplicação	Cresc.	0,71	0,1	1	5	2	2	2	2	2	2	2	2
23	Eficiência do uso da água	Cresc.	1,42	0,1	1	5	2	2	2	2	2	2	2	2
24	Custos do sistema de irrigação	Cresc.	4,96	0,1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1
25	Sensibilidade da cultura ao molhamento	Cresc.	2,13	0,1	1	5	4	4	4	4	4	4	4	4
26	Formação de aerossóis	Cresc.	4,96	0,1	1	5	4	4	4	4	4	4	4	4
27	Formação de odores	Cresc.	4,26	0,1	1	5	2	2	2	2	2	2	2	2
28	Exposição ao público	Cresc.	4,96	0,1	1	5	4	4	4	4	4	4	4	4
29	Facilidades de instalação	Cresc.	2,13	0,1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1
30	Susceptibilidade ao entupimento	Cresc.	4,26	0,1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabela 6.13d – Matriz de Decisão número 2: 2 melhores alternativas de cada efluente da etapa 3 e 4 sistemas de irrigação (continuação)

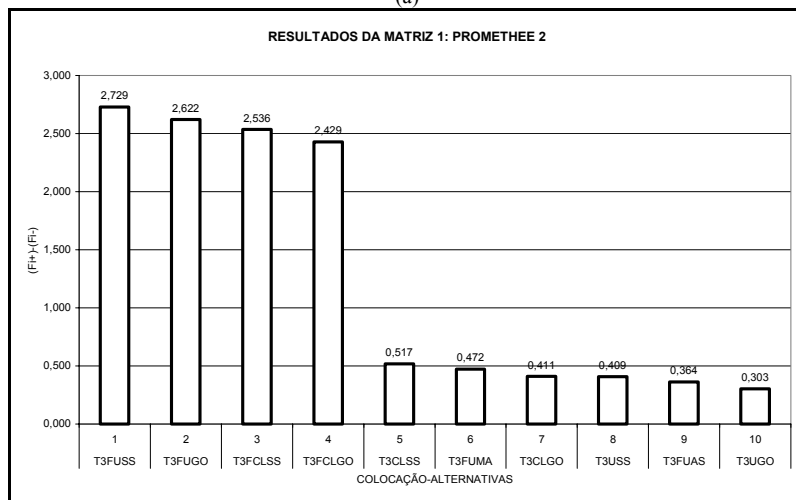
Nº	Critérios	Pref.	Peso	Limiares			25	26	27	28	29	30	31	32
				I	P	V	T3CLMA	T3FCLMA	T7FCLMA	T7CLMA	T8CLMA	T8FCLMA	T4CLMA	T4FCLMA
1	E coli	Decr.	4,96	5,E+02	1,E+03	4,E+06	3,E+05	2,E+05	9,E+05	1,E+06	2,E+04	2,E+04	1,E+05	1,E+05
2	Coliformes Totais	Decr.	4,25	5,E+02	1,E+03	9,E+06	2,E+06	2,E+06	9,E+05	1,E+06	8,E+04	5,E+04	1,E+06	9,E+05
3	DBO	Decr.	3,55	9	18	160	63	31	35	70	178	89	41	21
4	Sólidos Suspensos	Decr.	3,55	6	12	106	68	17	21	82	37	9	118	29
5	Nitrogênio Total	Decr.	3,55	1	3	25	5,6	2,8	3,3	6,6	6,9	3,5	3,3	1,6
6	DQO	Decr.	3,55	14	29	261	155	78	76	153	290	145	95	48
7	Sólidos entupimentos	Decr.	0,71	6	12	106	68	17	21	82	37	9	118	29
8	Ferro irrigação	Decr.	0,71	0,03	0,06	0,53	0,56	0,14	0,12	0,49	0,59	0,15	0,55	0,14
9	Custos de Implantação Tratamento	Decr.	4,96	0,007	0,014	0,129	0,012	0,155	0,155	0,012	0,012	0,155	0,012	0,155
10	Custos de Operação Tratamento	Decr.	4,96	0,005	0,010	0,088	0,018	0,116	0,116	0,018	0,018	0,116	0,018	0,116
11	Altura do caule	Cresc.	4,96	1,47	2,93	26,37	29	29	28	28	29	29	27	27
12	Diâmetro do caule	Cresc.	4,96	0,04	0,07	0,66	0,70	0,70	0,73	0,73	0,74	0,74	0,67	0,67
13	Número de Folhas	Cresc.	4,96	3,5	7,0	62,7	63	63	70	70	60	60	53	53
14	Número de Flores	Cresc.	4,96	0,4	0,8	7,1	7,9	7,9	6,8	6,8	7,4	7,4	4,6	4,6
15	CE águas de irrigação	Decr.	2,13	44	89	798	582	582	886	886	774	774	495	495
16	RAS Águas de Irrigação	Decr.	2,13	0,3	0,6	5,5	2,7	2,7	6,1	6,1	4,8	4,8	3,0	3,0
17	RAS Solo	Decr.	2,84	0,009	0,018	0,165	0,14	0,14	0,11	0,11	0,15	0,15	0,18	0,18
18	PST Solo	Decr.	2,84	0,16	0,32	2,90	2,77	2,77	1,98	1,98	2,80	2,80	3,22	3,22
19	Coliformes Totais Percolados	Decr.	1,42	5,5	11,0	99,0	0	0	50	50	110	110	50	50
20	Nitrato Percolados	Decr.	3,55	0,5	1,0	9,0	4,7	4,7	9,1	9,1	10,0	10,0	5,9	5,9
21	Adaptação à topografia	Cresc.	0,71	0,1	1	5	3	3	3	3	3	3	3	3
22	Restrições relativas à taxa da aplicação	Cresc.	0,71	0,1	1	5	3	3	3	3	3	3	3	3
23	Eficiência do uso da água	Cresc.	1,42	0,1	1	5	2	2	2	2	2	2	2	2
24	custos	Cresc.	4,96	0,1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1
25	Sensibilidade da cultura ao molhamento	Cresc.	2,13	0,1	1	5	3	3	3	3	3	3	3	3
26	Formação de aerossóis	Cresc.	4,96	0,1	1	5	2	2	2	2	2	2	2	2
27	Formação de odores	Cresc.	4,26	0,1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1
28	Exposição ao público	Cresc.	4,96	0,1	1	5	2	2	2	2	2	2	2	2
29	Facilidades de instalação	Cresc.	2,13	0,1	1	5	2	2	2	2	2	2	2	2
30	Susceptibilidade ao entupimento	Cresc.	4,26	0,1	1	5	3	3	3	3	3	3	3	3



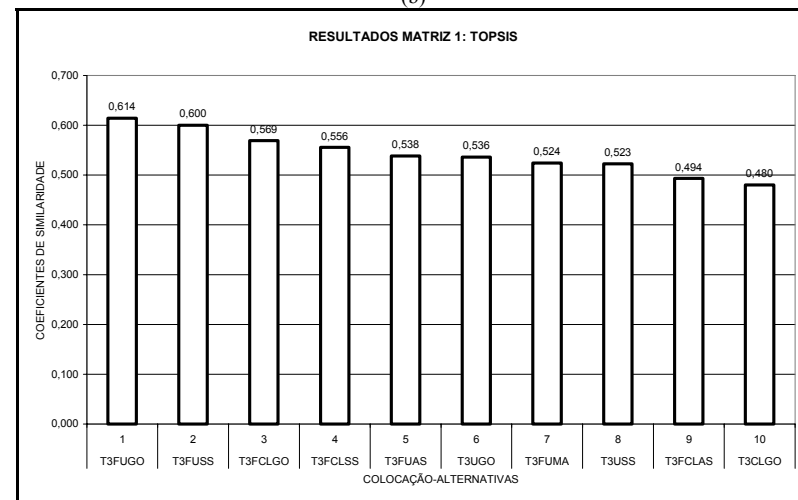
(a)



(b)

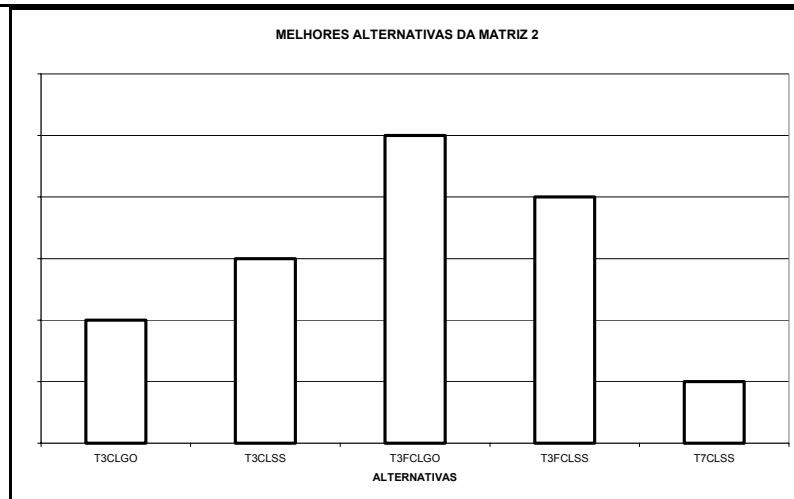


(c)

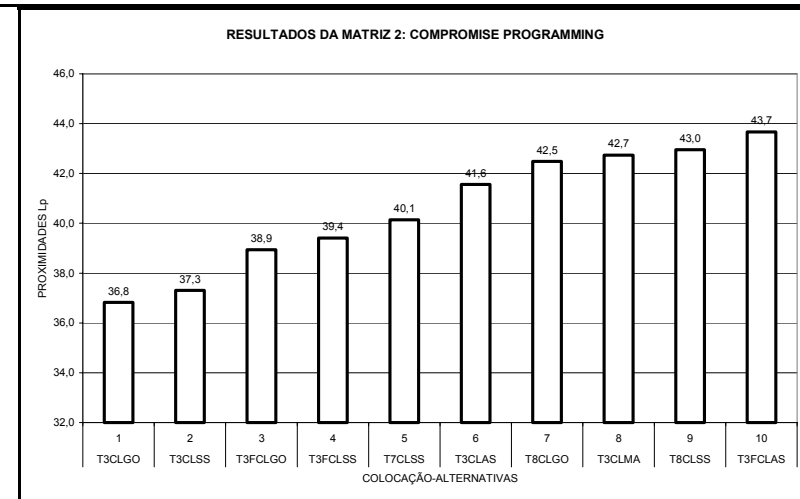


(d)

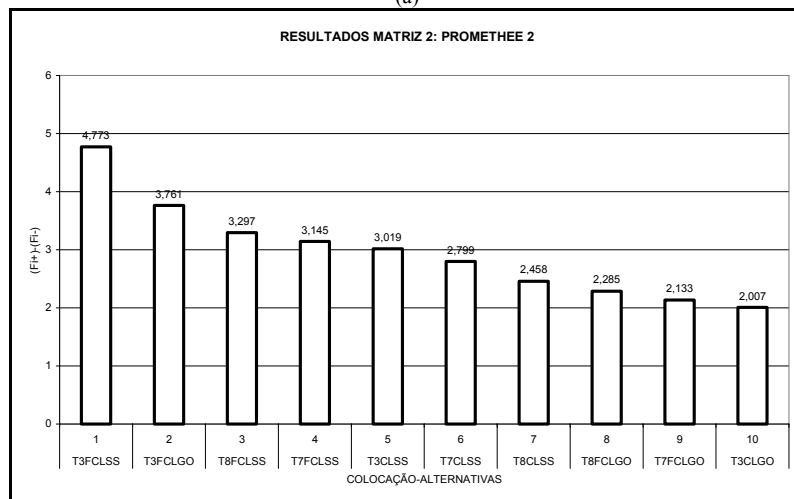
Figura 6.10 – Resultados da matriz 1 da escolha de efluentes, sistemas de tratamento e sistemas de irrigação
 (a) resultados gerais; (b) resultados do CP (c) resultados do Promethee 2 (d) resultados do Topsis



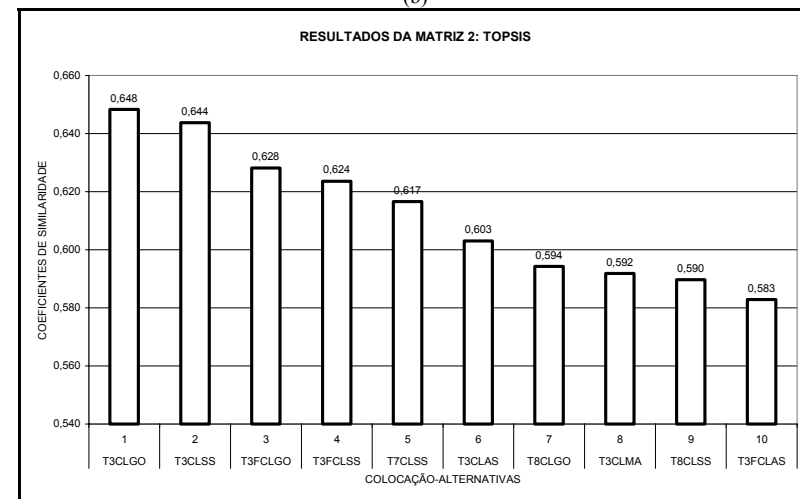
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 6.11 – Resultados da matriz 2 da escolha de efluentes, sistemas de tratamento e sistemas de irrigação
 (a) resultados gerais; (b) resultados do CP (c) resultados do Promethee 2 (d) resultados do Topsis

Os resultados entre o CP e o Topsis foram idênticos. Os resultado do Promethee 2 diferem um pouco, mas de forma geral apontam para as mesmas alternativas e pode-se chegar a conclusões significativas.

Os resultados gerais da matriz 1 apontam as cinco melhores alternativas como sendo (1) T3FUGO – efluente primário seguido de filtração e desinfecção UV com irrigação por gotejamento, (2) T3FUSS – efluente primário com filtração e desinfecção UV com irrigação sub-superficial, (3) T3FCLGO – efluente primário com filtração e cloração e irrigação por gotejamento (4) T3FCLSS – efluente primário com filtração e cloração e irrigação sub-superficial e (5) T3FUAS – efluente primário com filtração e desinfecção UV e irrigação por aspersão.

Esses resultados referem-se à melhores alternativas considerando todos os critérios e na possibilidade de se poder dispor de todos esses efluentes. Percebe-se que apesar de ter sido eleito o efluente primário, possibilitando a produtividade, os tratamentos para adequação ao reúso em irrigação paisagística são rigorosos e principalmente os sistemas de irrigação minimizam quaisquer risco à saúde pública. Os problemas de manutenção e operacionais serão maiores, mas, para que se possa realizar tal prática, deve-se assegurar que os riscos de contaminação são mínimos.

Para não se ter dúvidas quanto à viabilidade econômica dessas alternativas, estudos sobre a economia de fertilizantes e gastos com operação e manutenção dos sistemas de tratamento e irrigação devem ser feitos, pois nesta análise os dados referentes aos custos de sistemas de irrigação foram comparativos. Entretanto, considerações sobre a diminuição de poluição de corpos receptores, diminuição de gastos com água potável são alguns dos fatores que devem ser considerados.

Os resultados gerais da matriz 2 apontam as cinco melhores alternativas como sendo (1) T3FCLGO, (2) T3FCLSS, (3) T3CLSS, (4) T3CLGO e (5) T7CLSS. Esses resultados confirmam a preferência de T3 sobre os demais efluentes, a necessidade de tratamento para adequação para aplicações de reúso e que o sistema de irrigação deve impedir o contato das águas de irrigação com terceiros.

Para cada efluente, as duas melhores combinações de sistemas de tratamento e sistemas de irrigação foram:

(1) efluente primário: FCLGO – filtração, cloração e irrigação por gotejamento e FCLSS – filtração cloração e irrigação sub-superficial. Observa-se que o efluente primário necessita de tratamento com filtração e a desinfecção é importante, pois o efluente contém maiores concentrações de organismos patogênicos.

(2) efluente secundário: FCLSS – filtração, cloração e irrigação sub-superficial e CLSS – cloração e irrigação sub-superficial (CP e Topsis) e CLSS - cloração e irrigação sub-superficial e CLGO - cloração e gotejamento (Promethee 2). Nota-se que a exigência de tratamento diminui, onde algumas alternativas sem a filtração são propostas. Isto é devido ao fato que o T4 já possui menores concentrações de organismos patogênicos representando menores risco de contaminação.

(3) efluente UASB: CLSS – cloração e irrigação sub-superficial e CLGO – cloração e irrigação por gotejamento. Neste caso, também há a necessidade de desinfecção mas a exigência de filtração diminui. Sistemas de irrigação com pouco contato com terceiros são evidenciados.

(4) efluente da lagoa de alta taxa: CLGO – cloração e irrigação por gotejamento e CLSS – cloração e irrigação sub-superficial (CP e Topsis) e FCLSS – filtração, cloração e irrigação sub-superficial e CLSS – cloração e irrigação sub-superficial. Nota-se novamente a necessidade de filtração, possivelmente devido à concentração de algas nos efluentes de lagoas de estabilização, e os sistemas de irrigação também sem contato com o público.

7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo principal da presente pesquisa foi o de sintetizar os resultados obtidos em estudos piloto e, por meio da análise multiobjetivo e multicritério, propor alternativas de sistemas de reúso de água sendo compostos de efluente, sistema de tratamento e sistema de irrigação.

Deve-se salientar que os dados dos efluentes foram obtidos em experimento, mas os dados dos sistemas de tratamento e dos sistemas de irrigação são dados teóricos obtidos na literatura especializada, mas que servem de indicativo da preferência das alternativas estudadas.

Dentre as principais conclusões deste trabalho, tem-se que:

Os efluentes que mantêm restrições com relação à salinidade e à toxicidade pelo sódio são do reator UASB e da Lagoa de Alta Taxa. Os efluentes que têm restrições com a alteração da capacidade de infiltração no solo são secundário, terciário, de lagoa de alta taxa e de reator UASB. O efluente de reator UASB mantém restrições de uso devido ao pH e à concentrações de Nitrogênio. Todavia nenhum efluente tem algum tipo de restrição severa com relação aos parâmetros de águas de irrigação.

Todos os “tratamentos” apresentaram alta eficiência, quando considerados como sistemas de polimento, com relação a coliformes totais, *E coli* (100%) e fósforo total. A remoção de DBO e cloretos pode ser considerada insuficiente. A eficiência negativa de nitratos deve-se à conversão da amônia, em muitos casos até 100% (nitrificação do efluente).

Com relação aos oligoelementos nas águas percoladas, os parâmetros que ultrapassaram as recomendações da CETESB (2005) foram: ferro, níquel, alumínio, cromo, cobalto, chumbo, cádmio e molibdênio.

A aplicação de efluentes no solo alterou a sua granulometria proporcionando decréscimos nas porcentagens de argila de 67% em até 24%. Com relação às concentrações recomendados pela CETESB (2005) no solo, inicialmente todos os tratamentos

apresentavam valores de cobre e zinco superiores aos limites recomendados dos valores de prevenção. No final dos ciclos, somente a unidade de cultivo irrigada com água + NPK ainda apresentava valores de zinco acima dos limites recomendados de valores de prevenção, indicando que a adubação mineral pode ter ocasionado isso.

Com relação à biometria das plantas, nos parâmetros altura do caule, diâmetro do caule, número de folhas, número de botões e número de flores as unidades de cultivo que apresentaram maior crescimento foram as irrigadas com água + NPK, efluente primário e efluente de reator UASB. Os piores crescimentos foram nas unidades de cultivo irrigadas com água do lago Paranoá, efluente secundário e efluente terciário.

O método de Simos revisado (Jogo de Cartas), por meio do *software* SRF, se mostrou uma maneira alternativa de atribuição de pesos nas análises multicritério, por ser uma maneira indireta de atribuição de pesos, contando apenas com as preferências e sem a atribuição por vezes errada de valores.

A etapa de seleção de efluentes teve o tratamento T3 (efluente primário) com melhores resultados, no sentido de se aproximar da alternativa ideal, ficando em 1º nos métodos *Compromise Programming* (CP) e Topsis; e em 2º no método Promethee 2. Inversamente, o tratamento T1 (água + NPK) ficou em 1º no Promethee 2 e em segundo nos métodos CP e Topsis.

O tratamento T3 (efluente primário) é considerado como um dos mais representativos de riscos à saúde pública, e mesmo assim, foi estimado o melhor. Uma das justificativas desses resultados, como já dito, é devido a alta produtividade desse tratamento.

Pode ser que as quantidades de critérios relacionados ao objetivo de maximização da produtividade tenham influenciado a atribuição de pesos, ou as preferências estabelecidas no Jogo de Cartas (método de determinação de pesos utilizado) estejam demasiadas.

Contudo deve-se apreciar que já era previsto a consideração de sistemas de tratamento para adequação ao reúso em irrigação, que pode mitigar os riscos à saúde pública; e que os outros efluentes também apresentam riscos à saúde pública, mas não a mesma produtividade.

Nenhum efluente encontra-se enquadrado nos padrões de reúso recomendados tanto pela OMS (1989) e muito menos pelos padrões da Califórnia (Crites e Tchobanoglous, 1998).

Em 3º e 4º lugar ficaram os tratamentos T4 (efluente secundário) e T7 (efluente UASB). O tratamento T4 apresenta produtividade mediana, assim como riscos à saúde pública quando comparado aos outros métodos. O tratamento T7 apresenta alta salinidade refletindo em impactos ao solo, águas subterrâneas e sistemas de irrigação. Porém, também apresenta alta produtividade que foi a responsável pelo desempenho razoável desta alternativa.

O tratamento T8 (efluente de lagoas de alta taxa) ficou em 5º lugar nos três métodos. Apesar de apresentar certa produtividade, este apresenta impactos ao solo devido à alta salinidade, aos sistemas de irrigação devido ao alto teor de sólidos, à saúde pública pelos indicadores de contaminação como *E coli*, às águas subterrâneas devido à qualidade dos percolados e principalmente pela concentração de nitratos nos percolados.

Na etapa de seleção de efluentes combinados com sistemas de irrigação, o efluente primário com filtração e cloração mostra-se como alternativa que mais se aproxima do ideal. Isso confirma os apontamentos da literatura especializada, onde a filtração diminui as concentrações de sólidos suspensos, remove protozoários e helmintos e pode provocar a inativação de vírus; e a cloração é eficiente na desinfecção dos efluentes além da oxidação da matéria orgânica. Pode ser que seja inviável a operação de filtração de efluentes primários, e, portanto, outras alternativas devem ser consideradas. Outras opções seriam efluente primário com cloração, com radiação UV, filtração e UV e ozonização.

Os resultados gerais da matriz 1, onde se considera as melhores alternativas globais, apontam as cinco melhores alternativas como sendo (1) T3FUGO – efluente primário seguido de filtração e desinfecção UV com irrigação por gotejamento, (2) T3FUSS – efluente primário com filtração e desinfecção UV com irrigação sub-superficial, (3) T3FCLGO – efluente primário com filtração e cloração e irrigação por gotejamento (4) T3FCLSS – efluente primário com filtração e cloração e irrigação sub-superficial e (5) T3FUAS – efluente primário com filtração e desinfecção UV e irrigação por aspersão.

Esses resultados referem-se às melhores alternativas considerando todos os critérios e na possibilidade de se poder dispor de todos esses efluentes. Percebe-se que, apesar de ter sido

eleito o efluente primário, possibilitando a produtividade, os tratamentos para adequação ao reúso em irrigação paisagística são rigorosos e principalmente os sistemas de irrigação minimizam quaisquer risco à saúde pública. Os problemas de manutenção e operacionais serão maiores, mas para que se possa realizar tal prática deve-se assegurar que os riscos de contaminação sejam mínimos.

Para cada efluente, as duas melhores combinações de sistemas de tratamento e sistemas de irrigação foram:

(1) efluente primário: FCLGO – filtração, cloração e irrigação por gotejamento e FCLSS – filtração cloração e irrigação sub-superficial. Observa-se que o efluente primário necessita de tratamento com filtração e a desinfecção é importante, pois este contém maiores concentrações de organismos patogênicos.

(2) efluente primário diluído com terciário: FCLSS – filtração cloração e irrigação sub-superficial e CLSS – cloração e irrigação sub-superficial (CP e Topsis) e CLSS - cloração e irrigação sub-superficial e CLGO - cloração e gotejamento (Promethee 2). Nota-se que a exigência de tratamento diminui, onde algumas alternativas sem a filtração são propostas. Isto é devido ao fato de que o T4 já possui menores concentrações de organismos patogênicos representando menores risco de contaminação.

(3) efluente UASB: CLSS – cloração e irrigação sub-superficial e CLGO – cloração e irrigação por gotejamento. Neste caso, também há a necessidade de desinfecção mas a exigência de filtração diminui. Sistemas de irrigação com pouco contato com terceiros são evidenciados.

(4) efluente da lagoa de alta taxa: CLGO – cloração e irrigação por gotejamento e CLSS – cloração e irrigação sub-superficial (CP e Topsis) e FCLSS – filtração, cloração e irrigação sub-superficial e CLSS – cloração e irrigação sub-superficial. Nota-se novamente a necessidade de filtração, possivelmente devido à concentração de algas nos efluentes de lagoas de estabilização, e os sistemas de irrigação também sem contato com o público.

As recomendações para que trabalhos posteriores possam ser realizados com melhores resultados são:

Propor uma nova maneira, ou elaborar um índice de avaliação de produtividade das flores, visto que a beleza não necessariamente depende dos tamanhos e dimensões.

Fazer a análise multicritério com os métodos ELECTRE 3 e AHP, visto que são métodos importantes e conceituados.

Propor matrizes mais simples que possam representar todos as características dos efluentes, mas sem que se necessite de tantos dados e com menores número de critérios.

Realizar consulta a especialistas para confirmar a preferência entre os critérios que foram encontrados na literatura. Esta consulta também servirá para verificar se os critérios analisados permanecem ou podem ser desconsiderados dependendo do nível de importância. Montar um banco de dados para que estas preferências possam ser usadas em outros casos, se foram equivalentes.

Fazer o levantamento de custos dos sistemas de irrigação, para que os critérios deste sejam mais refinados.

Considerar a distância entre o local de irrigação e o local de produção de efluentes na decisão de escolha de efluentes em cada canteiro de irrigação.

Realizar experimentos com cultivo das culturas no solo, em unidades de tamanhos semelhantes às reais, para confirmação de resultados aqui apresentados. Fazer os experimentos com as melhores alternativas apresentadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adin, A.; Sacks, M. “Dripper-clogging factors in wastewater irrigation.” *Journal of the Irrigation and Drainage*. v. 117, n. 6, p. 813-826, 1991.
- Al-Lahham, O., El Assi, N. M. e Fayyad, M. (2003). “Impact of treated wastewater irrigation on quality attributes and contamination of tomato fruit.” *Agricultural Water Management*, **61** (51-62).
- Andrade, C. L. T. “Seleção do sistema de irrigação”. *Circular Técnica nº 14*. Ministério da Agricultura, pecuária e abastecimento. Sete Lagoas, MG.
- Andreoli, C. V.; Pegorini, E. S.; Tamanini, C. R. (2005). “Parâmetros para normatização do reúso agrícola.” *Anais do Workshop: Uso e Reúso de Águas de Qualidade Inferior: Realidades e Perspectivas*, Campina Grande, PB.
- APHA/AWWA/WPCF (1999). *Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, 20a edition, Washington, DC, EUA.
- Asano, T.; Leong, L. Y. C.; Rigby, M. G.; Sakaji, R. H. (1992). “Evaluation of the California wastewater reclamation criteria using enteric virus monitoring data.” *Water Science and Technology*, **26**, 1513 – 1524.
- Asano, T. e Levine, A. D. (1996). “Wastewater reclamation and reuse: past, present and future.” *Water Science and Technology*, **33**, 1-14.
- Ayers, R.S.; Westcot, D.W. *Water quality for agriculture*. FAO irrigation and drainage paper, 29, Rev.1, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1985. Disponível em: <http://www.fao.org/DOCREP/003/T0234E/T0234E00.htm#TOC> em 20/10/2006 à 18:00 horas.
- Barbosa, P. S. F. (1997). “O emprego da Análise multiobjetivo no Gerenciamento dos Recursos Hídricos Brasileiros.” *Água em revista, Revista Técnica*, Informação do CPRM, Ano V, **8**.
- Bastos, R. K. X.; Bevilacqua, P. D.; Nunes, F. L.; Soeiro, G. P.; Silva, C. V.; Freitas, A. S. (2002). “Avaliação do tratamento de esgotos sanitários em lagoas de estabilização tendo em vista a utilização do efluente na agricultura e piscicultura.” *Anais do XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, Cancun, México.
- Bastos, R. K. X. (2003). *Utilização de Esgotos Sanitários em Irrigação e Piscicultura*. Curso Pré-Congresso Nacional de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville, SC.

- Bernardo, S. (1989). *Manual de Irrigação*. 5ª edição. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 596p.
- Blumenthal, U. J. Strauss, M. Mara, D. D., Caincross, S. (1989) “Generalized modelo of the effect of different control measures in reducing health risks from waste reuse”. *Water Science and Technology*. V. 21, n. 6-7, p. 567-577.
- Blumenthal, U. J.; Peasey, A.; Ruiz-Palacios, G.; Mara, D. D. (2000). “Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture: recommended revisions based on new research evidence.” *WELL Study*, **68**, London.
- Bond, W. J. (1998). Effluent irrigation an environmental challenge for soil science. *Australian Journal of Soil Research*. V.36, p. 543-545.
- Brasil. Lei nº 9.433 – 8 jan. (1997) Institui a política nacional de recursos hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. *Diário Oficial da União*. Brasília, Seção 1, 9 jan, 470p.
- Brasil (2005a). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357. Dispõe sobre a classificação dos corpos d’água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. *Diário Oficial da União*, Brasília, 18 mar 2005.
- Brasil (2005b). Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Projeto de Lei nº 5296/2005: diretrizes para os serviços públicos de saneamento básico e política nacional de saneamento básico PNS. Brasília: Ministério das Cidades, 2005. 270p.
- Brasil (2006a). Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº 54 – 28 nov. 2005. Estabelece modalidades, diretrizes para a prática do reúso direto não potável de água e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 9 mar 2006.
- Brasil (2006b). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 375. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*. Brasília, 19 ago 2006.
- Brega Filho, D. & Mancuso, P. C. S. (2003). “O Conceito de Reúso da Água”. In: Mancuso, P. C. S. & Santos, H. F. *Reúso da Água*. Barueri:Manole. Cap. 2, p 21-36.
- Caesb, (2005). SIESG – *Sistema de Informação em Esgoto*. CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal, Brasília, DF, Brasil.
- Carneiro, G.A.; Barbosa, R.F.M.; Souza, M.A.A. (2000) Uma metodologia para seleção de processos de tratamento de águas residuárias municipais e sua aplicação a um estudo

- de caso no Distrito Federal. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, Brasil, **5** (1/2) 68-75.
- Cetesb – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. (2005). Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea no Estado de São Paulo. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. *DECISÃO DE DIRETORIA Nº 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005*.
- Chernicharo, A. L. C.; Florêncio, L.; Bastos, R. K. X.; Piveli, R. P.; von Sperling, M.; Monteggia, L. O. (2006) “Tratamento de esgotos e produção de efluentes adequados a diversas modalidades de reúso da água”. In: *Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários*. Florêncio, L. (coordenadora). PROSAB 4 – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. Rio de Janeiro, RJ.
- Cohon, J. L.; Marks, D. H. (1975). “A Review and Evaluation of Multiobjective Programming Techniques”. *Water Resources Planning and Management*. 122(6). p. 403-413.
- Coraucci, B. F. (2005). “Reuso das águas de esgoto sanitário: desenvolvimento de tecnologia de aplicação agrícola.” *Relatório Interno do PROSAB 4*, PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico, Unicamp, Campinas, SP.
- Cordeiro, E. de A.; Vieira, G. H. S.; Mantovani, E. C. (2003) Principais causas de obstrução de gotejadores e possíveis soluções. *Boletim técnico n. 6 ISSN 1518-9953*. Universidade Federal de Viçosa/Departamento de Engenharia Agrícola. Viçosa, MG.
- Costa e Silva, A. C.; Florio, E. R. A. (2005). “Experiência da SABESP em reúso.” *Anais do Workshop: Uso e Reúso de Águas de Qualidade Inferior: Realidades e Perspectivas*, Campina Grande, PB.
- Crites, R., Tchobanoglous, G. *Small and decentralized wastewater management systems* Series in Water Resources and Environmental Engineering, Mc Graw-Hill:New York, 1998, 1084 p.
- Crook, J. (1993). “Critérios de qualidade da água para reúso”. *Revista DAE – SABESP*, **174**, 10 – 18.
- Dehghanisani, H.; Yamamoto, T.; Rasiah, V.; Inoue, M.; Keshavarz, (2003) A Control of clogging in microirrigation using wastewater in Tohaku, Japan. ASAE Meeting. Mich.: ASAE, (Paper n. 032027).
- Duckstein, L.; e Opricovic, S. (1980) “Multiobjective Optimization in River Basin Development”. *Water Resources Research*, v.16, n. 1, p. 14-20.

- Embrapa (2006). *Métodos de irrigação*. Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_2ed/imetodos.htm em 30 de novembro de 2007.
- Felizatto, M. R. (2000). *Reúso de água em piscicultura no Distrito Federal: potencial para pós-tratamento de águas residuárias associado à produção de pescado*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília; DF.
- Felizatto, M. R. (2001). “ETE CAGIF: Projeto integrado de tratamento avançado e reúso direto de águas residuárias.” *Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*; João Pessoa, PB.
- Fetter, C. W. (1993) “Contaminant hydrogeology”. *Macmillan Publishing Company*. New York. 457p.
- Florêncio, L.; Aisse, M.M.; Bastos, R. K. X.; Piveli, R. P. (2006) Utilização de Esgotos Sanitários – Marcos Conceituais e Regulatórios. *In Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários*. PROSAB 4. Recife, PE.
- Foster, S. S. D. & Hirata, R. C. A. (1988) *Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data*. CEPIS/PAHO/WHO. 78p.
- Friedel, J. K.; Langer, T.; Siebe, C.; Stahr, K. (2000). Effects of long-term wastewater irrigation on soil organic matter, soil microbial biomass and its activities in central Mexico. *Biology and Fertility Soils*, v. 31, p 414-421.
- Generino, R. C. M. (2006). *Contribuição da abordagem multicritério na seleção de alternativas de reúso de água: aplicação em um caso de irrigação agrícola e paisagística no Distrito Federal*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Programa de pós-graduação em Saúde Pública, São Paulo, SP, 181 p.
- Gobbetti, L. E. C.; e Barros, M. T. L. (1993) Análise Multiobjetivo Aplicada ao Planejamento de Sistemas de Recursos Hídricos. *In: Anais do X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Gramado, Rio Grande do Sul, Brasil: ABRH, p. 317-326.
- Gobetti, L.; Braga, B. (1997). “Gerenciamento dos recursos hídricos.” *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*, Ed. Universidade, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre.
- Goicoechea, A.; Hansen, D. R.; e Duckstein, L. (1982) *Multiobjective Decision Analysis with Engineering and Business Applications*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons.

- Gomes, L. F. A. M.; Araya, M. C.G.; Garignano, C. (2004) *Tomada de Decisões em Cenários Complexos – Introdução aos métodos discretos do Apoio Multicritério à Decisão*. São Paulo Pioneira Thomson Learning.
- Goncalves, R. F. (2003). *Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismo patogênicos e substâncias nocivas. Aplicações para fins produtivos como agricultura, aquacultura e hidroponia*. PROSAB 3 – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. Vitória, ES.
- Guerrero, L. G.; Manuel, J. O.; e Sanz, J. A. (2003). “Tratamientos de regeneración de aguas residuales depuradas para la ecarga de acuíferos. filtración granular y sistemas integrados de membranas.” *Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: países mediterráneos*, @IGME, Madrid, 759 – 766.
- Harada, A. L. e Cordeiro Netto, O. M. (1997). Metodologia para a Seleção de Soluções de Coleta, Tratamento e Disposição de Esgotos em Condomínios no Distrito Federal. *In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. ABRH. Vitória, ES, Brasil, p. 69-76, Novembro 97.
- Harada, A. L. e Cordeiro Netto, O. M. (1999). Análise Multicritério Aplicada a Sistemas de Esgotamento Sanitário no Distrito Federal. *In: Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, ABES. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Hespanhol, I. (2002). “Potencial de reúso de água no Brasil – Agricultura, Industria, Municípios, Recarga de Aquíferos.” *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 7.
- Hespanhol, I. (2003). "Documento suporte para elaboração da minuta da resolução sobre reúso de água no Brasil." *Resolução sobre Reuso de Água*, Grupo Técnico de Reúso de Água – GT Reúso, Câmara Técnica de Ciência e tecnologia, Conselho Nacional de Recursos Hídricos, São Paulo. 83 p.
- Hills, D. J.; Tajrishy, M. A.; Tchobanoglous, G. The influence of filtration on ultraviolet disinfection of secondary effluent for microirrigation. *Transactions of the ASAE*. v. 43, n. 6, p. 1499-1505, 2000.
- Kirby, M.R., (2001). “A Methodology for Technology Identification, Evaluation, and Selection in Conceptual and Preliminary Aircraft Design”. Tese de Doutorado. Georgia Institute of Technology. 233p. EUA.
- Lai, Y., Liu, T. E.; Hwang, C. (1994). TOPSIS for MODM. *European Journal of Operational Reserch*. p486 - 500. North Holland.

- Lavrador Filho, J. (1987). *Contribuição para o entendimento do reúso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil*. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica de São Paulo, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Ludovice, M.L.; Neder, K.D.; e Pinto, M. T. (2000) *Relatório parcial de pesquisa do projeto em lagoas de alta taxa*, PROSAB –FINEP- CAESB, Brasília, DF, Brasil.
- Machado, B. C. (2006). *Avaliação da Qualidade dos Efluentes das Lagoas de Estabilização em Série da Estação de Tratamento de Esgoto de Samambaia – DF para o Cultivo de Tilápia (Oreochromis niloticus)*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 126 p.
- Máximo, C. C. (2005). *Avaliação do Emprego de Efluentes Sanitários Tratados na Irrigação Ornamental no Distrito Federal*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF, 122 p.
- Máximo, C. C. e Souza M. A. A. (2004). “Reúso de água no Distrito Federal.” *Anais III Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste*, 20-22; Goiânia.
- Melo, H. N. S. (2005). “Tratamento de Esgotos Sanitários e Uso Produtivo dos Efluentes em Fertirrigação e Hidroponia” *Relatório Interno do PROSAB 4*, PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. UFRN, Natal, RN.
- Mendonça, F. C.; Lima, V. L. A. de.; Kato, M. T.; Filho, B. C.; Silveira, S. B.; Bastos, S. K. X.; Bastos, R. .K. X.; Van Haandel, A. (2003). “Aspectos técnicos relacionados aos sistemas de irrigação com esgotos sanitários tratados.” *Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura*, Rio de Janeiro, ABES, RiMa, PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, 256 p.
- Metcalf & Eddy, Inc. (1991). *Wastewater Engineering – Treatment, Disposal and Reuse*. 3ª edição. McGraw-Hill. 1334 p.
- Militão, K. (2005). “Cidade das Flores”. *Jornal da Comunidade*, 13 a 19 de agosto de 2005, coluna sobre paisagismo, C7.
- Montazar, A. & Behbahani, S. M. (2007). “Development of an optimised irrigation system selection model using analytical hierarchy process”. *Biosystems Engineering* 98 155 – 165.
- Montes, C. R.; Fonseca, A. F.; Melfi, A. J.; Gloaguen, T.; Mendonça, F. C.; Pivelli, R. P.; Herpin, U.; Santos, A. P. R.; Forti, M. C.; Lucas, Y.; Mounier, S.; Carvalho, A.; Almeida, V. V.; Cardinali, C. G.; Steffen, T.; e Monteiro, R. C. (2004). “Agricultural

- use of stabilization pond effluent: a case study in the city of lins (sp, brazil).” *Anais do XII International Meeting of International Humic Substances Society*, São Pedro, SP, 3p.
- Montes, C. R.; Kato, M. T.; Souza, M. A. A.; Coraucci, B. F.; Marques, J. J. (2006). “Irrigação com esgotos tratados: Impactos no Solo e Aquíferos”. in *Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários*. Florêncio, M. L. (coordenadora). PROSAB 4 – Programa de pesquisas em saneamento básico. Recife, PE.
- Mota, S. (2000). *Reúso de águas – A experiência da Universidade do Ceará*, Fortaleza, CE. 276 p.
- Mota, S. (2005). “Utilização de esgotos domésticos tratados em irrigação e avaliação de seus impactos sanitários e sobre o solo e as plantas cultivadas.” *Relatório Interno do PROSAB 4*, PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. UFC, Fortaleza, CE.
- Mota, S.; Fonseca, A. F.; Stefanutti, R.; Volschan Jr, I.; Naval, L. (2006). “Irrigação com esgotos sanitários e efeitos nas plantas”. In: *Tratamento e utilização de esgotos sanitários*. Florêncio, M. L. (coordenadora). PROSAB 4 – Programa de pesquisas em saneamento básico. Recife, PE.
- Nakazato, C. D. (2005). *Efeitos da Equalização de Fluxos sobre o Desempenho da Estação de Tratamento de Esgotos Brasília Norte – ETEB Norte*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação MTARH.DM - 90/05, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 151 p.
- Naval, L. P. (2005). “Reúso de águas de esgoto para produção de biomassa para produção de álcool.” *Relatório Interno do PROSAB 4*, PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico, UFT, Palmas, TO.
- Novacap (2002). *Manual de Jardinagem e Produção de Mudas do DPJ*. Brasília, DF. 134p.
- Piveli, R. P. (2005). “Avaliação da Toxicidade de Efluente de Lagoa Facultativa Clorado e dos Impactos Sobre o Solo em Sistema de Fertirrigação.” *Relatório Interno do PROSAB 4*, PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico, USP, São Paulo, SP.
- Roy, B., (1985). *Methodologie Multicriterie d'aide a la decision*, Economica, Paris.

- Roy, B., Figueira, J., 1998. Determination des poids des criteres dans les methodes du type ELECTRE avec la technique de Simos révisée. Université Paris – Dauphine, Document du LAMSADE 109.
- Sagi, G.; Paz, E.; Ravina, I.; Schischa, A.; Marcu, A.; Yechiely, Z. (1995). Clogging of drip irrigation systems by colonial protozoa and sulfur bacteria. *In: International Microirrigation Congress, 5.*, Orlando. Proceeding St. Joseph: ASAE, 1995. p. 250-254.
- Sampaio, C. S. (1999) *Perda de carga em tubulações comerciais conduzindo águas residuárias de bovinocultura e suinocultura*. Tese de Doutorado. Viçosa: UFV. 158p.
- Santos, I. de J. (2000). *Reúso de água no Distrito Federal: Estudo da potencialidade do aproveitamento de esgotos sanitários*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF. 139 p.
- Santos, H. F. (2003). “Custos dos sistemas de reúso de água”. In: Mancuso, P. C. S. & Santos, H. F. *Reúso da Água*. Barueri:Manole. Cap. 12, p 434-438.
- Schmidt, A. M. A. (1995). *Processo de Apoio À Tomada De Decisão Abordagens: AHP E Macbeth*. Universidade Federal de Santa Catarina (Departamento de Engenharia de Produção E Sistemas) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis.
- Shuval, H. I. (1987). “Wastewater reuse for irrigation: evolution of health standards.” *Water Quality Bulletin*, **12**, 69 – 90.
- Silva e Silva, A. N. (2004). *Reúso de água no Distrito Federal: verificação dos efeitos da irrigação com efluentes de estações de tratamento de esgotos no cultivo da Dália Anã Sortida (Dahlia pinnata)*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília; DF. 193 p.
- Skalka, J. M.; Bouyssou, D.; Vallée, D. (1992). ELECTRE III et IV – Aspects Méthodologiques et Guide D’Utilisation. Paris, France: LAMSADE, Université de Paris – Dauphine.
- Soares, A. A.; Batista, R. O.; Souza, J. A. A. de. (2005). “Aspectos técnicos da irrigação com águas de qualidade inferior.” *Anais do Workshop: Uso e Reuso de Águas de Qualidade Inferior: Realidades e Perspectivas*, Campina Grande, PB.
- Souza, M. A. A. (1992) *Methodology for Selection of Wastewater Treatment Processes*, PhD Thesis. Birmingham, UK: Dep. Civil Eng., The University of Birmingham.

- Souza, M. A. A. (1997a). “Reúso de Água”. Programa de Educação continuada em tecnologia apropriada e saneamento para professores universitários. *Original Reprográfico*. CEPIS – centro panamericano de Ingeniería Sanitária y Ciências del Ambiente. OPS – Organização pan-americana de saúde. 10p.
- Souza, M. A. A. (1997b) Metodología de Analisis de Decisiones para Seleccionar Alternativas de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales. *Hojas de Divulgación Técnica*. Lima, Peru: CEPIS - Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, n. 68, p. 1-6.
- Souza, M. A. A. (2004). “A imposição ambiental como fator indutor da implantação do reúso da água” *In: Anais do III Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste*. ABRH. Goiânia, GO. Brasil.
- Souza, M. A. A. (2006). “Reúso de água em irrigação ornamental no Distrito Federal: avaliando esgotos sanitários tratados em estudos com dália anã sortida”. *Relatório Técnico Consolidado para a Finatec*. Brasília, DF. 70p.
- Trentin, C. V. (2005) *Diagnóstico voltado ao planejamento do uso da águas residuárias para irrigação, nos cinturões verdes da região metropolitana de Curitiba-PR*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 112 p.
- U.S. Environmental Protection Agency. (1992). *Guidelines for water reuse - Technical Report*. EPA/625/R - 92/004, Washington, D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2006). *Land Treatment of Municipal Wastewater Effluents*. EPA/625/R-06/016. Cincinnati, Ohio.
- Vincke, P. (1982). *Multicriteria Decision-Aid*. Chichester, England, UK: John Wiley & Sons, Inc.
- Volschan Junior, I. (2005). “Reuso Agrícola de Esgotos Sanitários Tratados Segundo Diferentes Processos e Graus de Tratamento.” *Relatório Interno do PROSAB 4*, PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- WEF – Water Environment Federation & AWWA – American Water Works Association. (1998). *Using Reclaimed water to Augment Potable Water Resources*. Special publication. USA. 357p.
- WHO – World Health Organization (1989). Health guidelines for use of wastewater in agriculture and aquaculture. *Technical Report Series, 778*. Geneva.
- WHO – World Health Organization (2006a). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. *Volume 2: Wastewater use in agriculture*. Geneva. 213p.

- WHO – World Health Organization (2006b). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. *Volume 3: Wastewater and excreta use in aquaculture*. Geneva. 149p.
- Zeleny, M. (1973) Compromise Programming. In: Cochrane, J. L.; e Zeleny, M. eds. *Multiple Criteria Decision Making*. Columbia, USA: University of South Carolina Press, p. 263-301.

APÊNDICES

APÊNDICE 1A – ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO NO 1º CICLO

Resultados obtidos para águas de irrigação no primeiro ciclo realizadas no Laboratório LAA-UnB

Parâmetro	Unidade de Medida	Tratamento T2			Tratamento T3			Tratamento T5		
		N	M	DP	N	M	DP	N	M	DP
Temperatura	°C	3	22,3	2,1	3	22,5	1,8	3	23,3	2,1
pH	-	3	7,8	1,0	3	6,9	0,3	3	6,6	0,5
Condutividade de Elétrica	µS/cm	3	86,5	1,4	3	562,7	32,8	3	322,0	15,1
STD	mg/L	3	60,7	2,4	3	386,7	23,2	3	220,0	9,8
Colif. Totais	NMP/100 mL	3	3,11E+03	4,02E+03	3	2,58E+07	1,54E+07	3	3,18E+05	1,63E+05
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	3	2,97E+02	4,59E+02	3	2,93E+06	2,48E+06	3	2,00E+05	0,00E+00
DQO	mg/L	3	14,5	7,8	3	228,3	20,8	3	53,3	10,4
Fósforo Total	mg/L	3	0,25	0,0	3	28,46	1,5	3	3,10	2,4
Ortofosfato	mg/L	3	0,04	0,0	3	34,33	8,2	3	1,12	0,6
Amônia	mg/L N	2	0,16	0,1	2	46,78	7,1	2	0,42	0,2
Nitrato	mg/L N	2	1,05	0,1	2	3,10	0,6	2	3,55	0,2
Nitrito	mg/L N	1	1,0	-	1	10,0	-	1	<1,0	-
Cloreto	mg/L Cl ⁻	1	5,6	-	1	44,2	-	1	34,6	-

N = número de amostras; M = média aritmética exceto para coli e pH (média geométrica); DP = desvio padrão; todos os valores são baseados em médias das triplicatas de amostras com 90% de significância.

Resultados obtidos para águas de irrigação no primeiro ciclo, realizadas no Laboratório LAA-UnB (continuação)

Parâmetro	Unidade de Medida	Tratamento T6			Tratamento T7			Tratamento T8		
		N	M	DP	N	M	DP	N	M	DP
Temperatura	°C	3	22,7	2,0	3	22,0	2,0	3	21,2	2,3
PH		3	6,53	0,4	3	6,47	0,2	3	7,41	0,3
Cond. Elétrica	µS/cm	3	340,0	12,1	3	1161,0	54,0	3	835,0	108,1
STD	mg/L	3	235,67	15,0	3	784,67	29,5	3	573,33	75,1
Colif. Totais	NMP/100 mL	3	1,80E+04	4,93E+04	3	1,41E+07	7,07E+06	3	5,50E+05	8,2E+05
<i>E. Coli</i>	NMP/100 mL	3	3,71E+03	1,39E+04	3	1,41E+07	7,07E+06	3	9,48E+04	1,2E+05
DQO	mg/L	3	30,0	7,1	3	220,0	32,8	3	355,0	57,7
Fósforo Total	mg/L	3	1,56	0,7	3	34,71	13,3	3	36,31	2,8
Ortofosfato	mg/L	3	0,21	0,2	3	40,93	3,7	3	40,93	2,8
Amônia	mg/L N	2	0,58	0,3	2	108,50	16,3	2	31,88	21,7
Nitrato	mg/L N	2	3,75	1,3	2	3,05	2,3	2	3,45	1,1
Nitrito	mg/L N	1	1,0		1	6,0		1	<1,0	
Cloreto	mg/L Cl ⁻	1	36,5		1	87,5		1		

N = número de amostras; M = média aritmética exceto para coli e pH (média geométrica); DP = desvio padrão; todos os valores são baseados em médias das triplicatas de amostras com 90% de significância.

Resultados obtidos para águas de irrigação no 1º ciclo de cultivo dos exames de metais e nutrientes realizados nos Laboratórios LG-UnB e LQAA-UnB

Metais (mg/L)	Tratamento T2			Tratamento T3			Tratamento T5		
	N	Média	D.P.	N	Média	D.P.	N	Média	D.P.
Sr	4	0,024	0,004	4	0,038	0,001	4	0,043	0,015
Ti	4	0,056	0,085	4	0,116	0,148	4	0,141	0,169
Ca	4	5,425	2,510	4	9,116	5,314	4	8,817	3,169
Mg	4	3,282	5,385	4	4,308	3,463	4	6,927	8,388
Fé	4	0,220	0,411	4	0,452	0,728	4	0,112	0,131
Ni	4	0,013	0,026	4	0,073	0,065	4	0,062	0,093
Cu	4	0,045	0,078	4	0,131	0,228	4	0,222	0,429
Al	4	6,160	12,109	4	8,414	13,559	4	15,929	21,374
Cr	4	0,014	0,027	4	0,033	0,035	4	0,017	0,019
Mn	4	0,109	0,208	4	0,078	0,089	4	0,040	0,045
Ba	4	0,016	0,014	4	0,032	0,034	4	0,021	0,020
Co	4	0,050	0,086	4	0,076	0,118	4	0,131	0,166
Zn	4	0,203	0,243	4	1,600	2,836	4	0,111	0,152
Pb	4	0,671	1,222	4	2,627	2,815	4	1,587	1,767
Cd	4	0,011	0,011	4	0,026	0,035	4	0,017	0,021
P	4	0,044	0,082	4	5,653	3,522	4	0,530	0,211
Na	4	21,096	16,026	4	56,080	112,159	4	53,77	107,550
K	4	6,605	7,337	4	160,661	117,320	4	145,080	125,821

Nota: N = número de amostras; Média = média aritmética exceto para coli e pH (média geométrica); D.P. = desvio padrão.

Resultados obtidos para águas de irrigação no 1º ciclo de cultivo dos exames de metais e nutrientes realizados nos Laboratórios LG-UnB e LQAA-UnB (continuação)

Metais (mg/L)	Tratamento T6			Tratamento T7			Tratamento T8		
	N	Média	D.P.	N	Média	D.P.	N	Média	D.P.
Sr	4	0,043	0,018	4	0,058	0,005	4	0,071	0,012
Ti	4	0,077	0,138	4	0,016	0,021	4	0,273	0,313
Ca	4	9,240	4,801	4	10,263	3,543	4	14,471	5,089
Mg	4	2,673	4,480	4	2,500	0,202	4	16,014	14,961
Fé	4	0,181	0,288	4	0,334	0,479	4	0,462	0,572
Ni	4	0,082	0,085	4	0,014	0,029	4	0,054	0,062
Cu	4	0,220	0,420	4	0,221	0,411	4	0,074	0,046
Al	4	7,404	14,063	4	0,193	0,386	4	25,153	29,410
Cr	4	0,034	0,038	4	0,006	0,011	4	0,022	0,021
Mn	4	0,058	0,082	4	0,042	0,033	4	0,076	0,063
Ba	4	0,028	0,037	4	0,020	0,019	4	0,037	0,022
Co	4	0,072	0,119	4	0,013	0,024	4	0,241	0,269
Zn	4	1,525	2,877	4	0,192	0,282	4	2,668	4,953
Pb	4	1,513	2,727	4	0,137	0,171	4	3,179	3,662
Cd	4	0,025	0,036	4	0,016	0,019	4	0,011	0,011
P	4	0,136	0,186	4	8,250	0,662	4	8,500	1,202
Na	4	56,089	112,153	4	119,246	238,454	4	130,759	261,477
K	4	117,196	112,158	4	245,874	249,011	4	300,296	285,406

Nota: N = número de amostras; M = média aritmética exceto para coli e pH (média geométrica); DP = desvio padrão.

APÊNDICE 1B – ÁGUAS PERCOLADAS DO 1º CICLO.

Resultados obtidos para águas percoladas no primeiro ciclo realizadas em 27/10/2004

Parâmetros	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
pH	7,03	7,18	7,23	7,4	7,19	7,42	6,99
Condutividade Elétrica (dS/m)	207,3	230,8	116	190,5	190,9	191,8	192,5
Coliformes Totais (NMP/100mL)	1,40E+04	0,00E+00	0,00E+00	3,17E+03	2,33E+03	0,00E+00	
<i>E. Coli</i> (NMP/100mL)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
DQO (mg/L)	8	25	<faixa	13	<faixa	<faixa	5
Fósforo Total (mg/L)	0,33	0,22	0,24	0,30	0,33	0,38	0,21
Fósforo Reativo - Ortofosfato (mg/L)	0,02	0,10	0,01	0,03	0,03	0,09	0,02
Amônia	0,08	0,24	0,04	0,11	0,10	0,09	0,01
Nitrato	8,10	4,40	9,30	9,00	9,30	14,60	12,50
Nitrito	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

APÊNDICE 1C – ANÁLISE DE SOLOS NO 1º CICLO

Análise do solo utilizado na construção das unidades de cultivo – Laboratório: LS

GRANULOMETRIA (g/Kg)	Valor	COMPLEXO SORTIVO	Valor
Areia Grossa	9	Cálcio (mE/100mL)	0,3
Areia Fina	107	Magnésio (mE/100mL)	0,2
Silte	209	Potássio (mE/100mL)	0,14
Argila	675	Sódio (mE/100mL)	0,02
GRADIENTE TEXTURAL	Valor	Valor S (mE/100mL)	0,66
Argila Natural (g/Kg)	7	Alumínio (mE/100mL)	0
Grau de Floculação (%)	99	Acidez Total (H + Al) (mE/100mL)	3,4
Condutividade Hidráulica (cm/h)	34,45	Valor T ou C.T.C. (mE/100mL)	4,06
Densidade Real (%)	1,5	Saturação de Alumínio (% Al)	0
Densidade Aparente (%)	0,89	Saturação de Bases (% V)	16
Porosidade Total (%)	41	Carbono Orgânico - C (g/Kg)	11,1
Umidade (0,01 MPa)	36,20%	Matéria Orgânica - MO (g/Kg)	19,1
Umidade (0,033 MPa)	29,60%	Nitrogênio (g/Kg)	2,6
Umidade (1,5 MPa)	17,50%	Relação C/N (sem umidade)	4
Condutividade Elétrica (umhos/cm)	0	Fósforo (mg/dm ³)	0,5
EC a 25°C Ext. Saturação (dS/m)	44		
pH - H ₂ O 1:2,5	4,9		
pH - KCl 1:1	4,9		

Resultados de fertilidade para amostras de solos no primeiro ciclo – Laboratório: LS

PARÂMETRO	UNIDADE DE MEDIDA	Tratamento T1		Tratamento T2		Tratamento T3		Tratamento T4	
		I-1	I-11	I-1	I-11	I-1	I-11	I-1	I-11
		Cálcio	mE/100 ml	1,60	2,40	1,60	1,90	1,60	2,60
Magnésio	mE/100 ml	0,20	0,60	0,20	0,20	0,20	0,60	0,20	0,60
Potássio	mE/100 ml	0,14	0,18	0,14	0,08	0,14	0,23	0,14	0,30
Sódio	mE/100 ml	0,10	0,03	0,10	0,09	0,10	0,50	0,10	0,47
Valor S	mE/100 ml	2,04	3,21	2,04	2,27	2,04	3,93	2,04	3,77
Alumínio	mE/100 ml	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
Acidez Total	mE/100 ml	4,30	3,40	4,30	4,00	4,30	3,20	4,30	3,40
Valor T (CTC)	mE/100 ml	6,34	6,61	6,34	6,27	6,34	7,13	6,34	7,17
Sat. Alumínio	% Al	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sat. de Bases	% V	32,00	49,00	32,00	36,00	32,00	55,00	32,0	53,00
Carb. Orgânico	g/Kg	11,10	6,90	11,10	6,50	11,10	7,70	11,1	6,40
Mat. Orgânica	g/Kg	19,10	11,90	19,10	11,20	19,10	13,20	19,1	11,00
Fósforo	mg/dm ³	0,50	5,00	0,50	2,00	0,50	1,00	0,50	1,00
pH	-	4,90	6,10	4,90	5,90	4,9	6,5	4,9	6,4

Nota: Os códigos são de identificação das amostras (I-1 = referente à coleta de 26 /07/2004; I-11 = referente à coleta de 10 /11/2004)

Fertilidade para amostras de solos no primeiro ciclo – Laboratório: LS (continuação)

PARÂ-METRO	UNIDADE DE MEDIDA	Tratamento T5		Tratamento T6		Tratamento T7		Tratamento T8	
		I-1	I-11	I-1	I-11	I-1	I-11	I-1	I-11
Cálcio	mE/100 ml	1,60	0,30	1,60	2,90	1,60	1,90	1,60	2,20
Magnésio	mE/100 ml	0,20	0,10	0,20	0,60	0,20	0,20	0,20	0,40
Potássio	mE/100 ml	0,14	0,20	0,14	0,40	0,14	0,24	0,14	0,33
Sódio	mE/100 ml	0,10	0,20	0,10	0,47	0,10	0,12	0,10	0,35
Valor S	mE/100 ml	2,04	0,80	2,04	4,37	2,04	2,46	2,04	3,28
Alumínio	mE/100 ml	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00
Acidez Total	mE/100 ml	4,30	4,60	4,30	3,40	4,30	3,70	4,30	3,20
Valor T (CTC)	mE/100 ml	6,34	5,40	6,34	7,77	6,34	6,16	6,34	6,48
Sat. Alumínio	% Al	0,00	11,00	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00
Sat. de Bases	% V	32,00	15,00	32,00	56,00	32,00	40,00	32,00	51,00
Carb.Orgânico	g/Kg	11,10	7,10	11,10	7,20	11,10	6,10	11,10	6,50
Mat. Orgânica	g/Kg	19,10	12,20	19,10	12,40	19,10	10,50	19,10	11,20
Fósforo	mg/dm ³	0,50	3,50	0,50	6,50	0,50	6,00	0,50	3,00
pH	-	4,9	4,7	4,90	6,10	4,90	5,90	4,90	6,30

Os códigos são de identificação das amostras (I-1 = 26 /07/2004; I-11 = 10 /11/2004)

Amostras de solos obtidos no laboratório LQAA para o primeiro ciclo de cultivo

PARÂME-TRO	UNID. MED.	Tratamento T1		Tratamento T2		Tratamento T3		Tratamento T4	
		I-1	I-11	I-1	I-11	I-11	I-11	I-1	I-11
pH CaCl2	-	4,69	5,49	4,69	5,21	4,69	5,37	4,69	5,92
pH água	-	4,66	6,133	4,66	5,97	4,66	5,91	4,66	6,38
Ma.Org.	%	0,108	0,139	0,108	0,017	0,108	0,143	0,108	0,104
Ca	g/Kg	15,563	0,290	15,563	0,205	15,563	0,253	15,563	0,329
Mg	g/Kg	4,895	0,036	4,895	0,026	4,895	0,034	4,895	0,046
Fe	g/Kg	34,683	0,085	34,683	0,056	34,683	0,100	34,683	0,047
Cu	g/Kg	0,769	0,0006	0,7693	0,002	0,769	0,0006	0,769	0,0006
Al	g/Kg	6,777	0,001	6,777	0,0009	6,777	0,0008	6,777	0,0007
Mn	g/Kg	27,389	0,023	27,389	0,025	27,389	0,013	27,389	0,020
Zn	g/Kg	2,316	0,002	2,316	0,002	2,316	0,009	2,316	0,0009
P	g/Kg	2,249	0,004	2,249	0,002	2,249	0,005	2,249	0,003

Resultados de solo do laboratório LQAA-UnB para o 1º ciclo de cultivo (continuação)

PARÂMETRO	UNID. MED.	Tratamento T5		Tratamento T6		Tratamento T7		Tratamento T8	
		I-1	I-11	I-1	I-11	I-1	I-11	I-1	I-11
pH CaCl2	-	4,69	5,41	4,69	5,51	4,69	4,94	4,69	5,65
pH água	-	4,66	5,87	4,66	6,06	4,66	5,08	4,66	6,21
Mat.Or.	%	0,108	0,098	0,108	0,105	0,108	0,080	0,108	0,129
Ca	g/Kg	15,563	0,176	15,563	0,251	15,563	0,176	15,563	0,234
Mg	g/Kg	4,895	0,034	4,895	0,028	4,895	0,022	4,895	0,022
Fe	g/Kg	34,683	0,042	34,683	0,079	34,683	0,07	34,683	0,079
Cu	g/Kg	0,7693	0,0006	0,769	0,0004	0,769	0,0005	0,769	0,0005
Al	g/Kg	6,777	0,001	6,777	0,009	6,777	0,002	6,777	0,003
Mn	g/Kg	27,389	0,024	27,389	0,016	27,389	0,018	27,389	0,016
Zn	g/Kg	2,316	0,0004	2,316	0,0004	2,316	0,0004	2,316	0,002
P	g/Kg	2,249	0,002	2,249	0,002	2,249	0,003	2,249	0,004

(*) Nota: Os códigos são de identificação das amostras (I-1 = referente à coleta de 26 /07/2004; I-11 = referente à coleta de 10 /11/2004)

APÊNDICE 1D – RESULTADOS DAS ANÁLISES EM PLANTAS 1º CICLO

Resultados dos exames realizados para amostras de plantas (folhas) no final do primeiro ciclo pelo laboratório LS (*)

PARÂMETRO	UNID. MED.	Tratamento T1	Tratamento T2	Tratamento T3	Tratamento T4
N	%	3,40	3,20	3,80	3,65
P	%	0,19	0,16	0,21	0,17
K	%	1,71	1,41	2,20	2,20
Ca	%	2,60	2,75	1,80	2,13
Mg	%	1,08	1,06	0,79	1,03
S	%	0,20	0,20	0,20	0,10
B	ppm	89,6 (**)	38,3	27,9	30,5
Cu	ppm	11,0	12,0	8,5	7,6
Mn	ppm	26,6	21,3	18,2	20,5
Zn	ppm	27,3	18,8	20,3	16,5
Na	ppm	469	469	564	466

(*) Nota: exames realizados em amostras coletadas no final do primeiro ciclo, código da amostragem I-11 realizada em 10/11/2004.

(**) Nota: resultados sob suspeita.

Resultados dos exames realizados para amostras de plantas (folhas) no final do primeiro ciclo pelo laboratório LS (*) - (continuação)

PARÂMETRO	UNID. MED.	Tratamento T5	Tratamento T6	Tratamento T7	Tratamento T8
N	%	2,05	4,05	3,20	3,65
P	%	0,13	0,17	0,13	0,15
K	%	2,10	2,44	2,39	2,44
Ca	%	2,30	2,02	2,14	1,85
Mg	%	1,26	0,79	0,81	0,79
S	%	0,20	0,20	0,20	0,20
B	ppm	27,9	28,1	21,2	22,1
Cu	ppm	12,9	8,3	6,9	8,7
Mn	ppm	18,2	29,8	18,4	22,6
Zn	ppm	17,0	16,1	15,9	12,7
Na	ppm	1284 (**)	504	544	524

(*) Nota: exames realizados em amostras coletadas no final do primeiro ciclo, código da amostragem I-11 realizada em 10/11/2004.

(**) Nota: resultados sob suspeita.

Resultados dos exames biométricos realizados nas plantas no primeiro ciclo (médias das medidas)

PARÂMETRO	Altura das Plantas	Número de Folhas	Diâmetro de caule	Número de botões	Número de Flores	
UNIDADE DE MEDIDA	cm	Unidade	cm	unidade	unidade	
<i>Tratamento T1</i>	<i>1 (**)</i>	4,3	15,2	0,2856	0	0
	<i>2</i>	8,82	32,92	0,344	1,44	0,12
	<i>3</i>	10,38	41	0,4164	2,68	0,56
	<i>4</i>	18,76	48,72	0,5424	1,2	0,76
	<i>5</i>	22,5	89	0,46	1,5	0,5
<i>Tratamento T2</i>	<i>1</i>	4,56	15,76	0,32	0	0
	<i>2</i>	4,84	18,56	0,3018	0,16	0,04
	<i>3</i>	6,1	22,6	0,3232	0,52	0,04
	<i>4</i>	10,72	30,32	0,3996	1,24	0,12
	<i>5</i>	14,64	38,6	0,4644	2,28	0,6
<i>Tratamento T3</i>	<i>1</i>	3,86	13,68	0,2616	0	0
	<i>2</i>	4,46	18,96	0,2654	0,32	0
	<i>3</i>	7,02	29,44	0,3692	0,96	0,16
	<i>4</i>	20,6	81,96	0,5852	4,6	1,68
	<i>5</i>	18,32	69,66	0,5313	4,37	0,93
<i>Tratamento T4</i>	<i>1</i>	4,44	14,84	0,3184	0	0
	<i>2</i>	6,14	19,08	0,328	0,16	0
	<i>3</i>	6,22	24,4	0,3368	0,8	0,08
	<i>4</i>	15,28	51,76	0,5444	2,88	0,6
	<i>5</i>	19,84	58,56	0,6136	4,64	0,96
<i>Tratamento T5</i>	<i>1</i>	4,18	14	0,2964	0	0
	<i>2</i>	4,24	15,88	0,2696	0,12	0
	<i>3</i>	5,58	21,28	0,336	0,48	0,08
	<i>4</i>	13,36	40,08	0,4768	1,72	0,72
	<i>5</i>	15,63	46,15	0,4728	2,87	0,91
<i>Tratamento T6</i>	<i>1</i>	4,84	14,64	0,3376	0	0
	<i>2</i>	5,14	14,32	0,2944	0,08	0
	<i>3</i>	5,96	19,12	0,3344	0,36	0,04
	<i>4</i>	13,2	40,72	0,494	2,24	0,68
	<i>5</i>	16,96	50,56	0,5112	3,12	0,8
<i>Tratamento T7</i>	<i>1</i>	4,84	15,36	0,3026	0	0
	<i>2</i>	6,1	23,36	0,3032	0,68	0
	<i>3</i>	7,78	34,04	0,408	2,08	0,36
	<i>4</i>	16,2	55,68	0,5716	3,56	1,64
	<i>5</i>	20,64	97,64	0,6308	7,72	1,4
<i>Tratamento T8</i>	<i>1</i>	4,4	15,12	0,296	0	0
	<i>2</i>	5,42	20,36	0,3094	0,28	0
	<i>3</i>	6,06	27,52	0,3804	1,28	0,12
	<i>4</i>	15,8	63,32	0,5552	3,32	1,48
	<i>5</i>	18,68	63,4	0,6748	4,88	1,4

(*) Nota: referem-se às amostragens cujos códigos são mostrados na Tabela 2.

(**) Nota: número da repetição do tratamento (nº da unidade experimental).

APÊNDICE 2A – ÁGUAS PERCOLADAS NO 2º CICLO

Resultados obtidos para águas percoladas no segundo ciclo (laboratório LAA-UnB)

Parâmetro	Unidade de Medida	Tratamento T1			Tratamento T2			Tratamento T3			Tratamento T4		
		N	M	DP	N	M	DP	N	M	DP	N	M	DP
pH	-	2	6,48	0,15	3	6,79	0,3	3	6,75	0,4	3	6,8	0,4
CE	mS/cm	2	190,9	0,14	3	163,83	41,3	3	312,60	171,8	3	218,7	133,8
STD	mg/L	1	130,0	-	1	85,00		1	134,00		1	116,0	
Colif.Totais	NMP/100mL	1	0	-	2	6,9E+03	9,8E+03	2	0	0	2	0	0
<i>E. Coli</i>	NMP/100mL	1	0	-	2	0	0	2	0	0	2	0	0
DQO	mg/L	2	3,70	0,42	1	8,00		3	10,90	12,6	1	0,5	
Fósforo T.	mg/L	3	3,37	1,58	3	1,49	1,7	3	0,76	0,8	3	0,9	0,5
Ortofosfato	mg/L	3	0,11	0,06	3	0,06	0,1	3	0,10	0,1	3	0,1	0,1
Amônia	mg/L N	1	0,01	-	3	0,03	0,0	3	0,08	0,1	3	0,1	0,0
Nitrato	mg/L N	3	4,95	2,90	3	3,57	4,0	3	9,63	10,0	3	8,2	4,4
Nitrito	mg/L N	3	1,00	1,41	3	1,00	1,0	3	1,33	1,2	3	1,7	2,1
Cloreto	mg/L Cl	2	14,55	6,15	2	3,70	1,8	2	26,85	15,8	2	28,4	17,8

N = número de amostras; M = média aritmética exceto para *E. coli* e pH (geométrica); DP = desvio padrão.

Resultados obtidos para águas percoladas no segundo ciclo (laboratório LAA- UnB) (continuação.)

Parâmetro	Unid.	Tratamento T5			Tratamento T6			Tratamento T7			Tratamento T8		
		N	M	DP	N	M	DP	N	M	DP	N	M	DP
pH	-	3	6,82	0,5	3	6,77	0,4	3	6,80	0,5	3	6,71	0,2
CE	mS/cm	3	268,17	110,0	3	281,97	138,2	3	520,60	486,9	3	439,8	281,4
STD	mg/L	1	150,00	-	1	146,00	-	1	198,00	-	1	260,0	-
Colif. Totais	NMP/100mL	2	1,59E+03	2,24E+03	2	1,17E+03	1,65E+03	2	0	0	1	0	-
<i>E. coli</i>	NMP/100mL	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0
DQO	mg/L	3	6,40	6,1	3	6,65	0,9	3	3,55	0,6	3	3,07	2,5
Fósforo Total	mg/L	3	0,64	0,5	3	0,43	0,2	3	0,56	0,2	3	0,76	0,9
Ortofosfato	mg/L	3	0,04	0,0	3	0,05	0,0	3	0,10	0,0	3	0,06	0,0
Amônia	mg/L	3	0,01	0,1	3	0,09	0,0	3	0,03	0,0	3	0,01	0,0
Nitrato	mg/L	3	8,17	2,7	3	7,00	4,8	3	12,30	3,3	3	17,33	9,0
Nitrito	mg/L	3	0,33	0,6	3	1,33	1,5	3	3,00	4,4	3	2,00	2,6
Cloreto	mg/L	2	31,40	19,2	2	33,65	18,9	1	22,80	-	1	32,20	-

Nota: N = número de amostras; M = média aritmética exceto para coli e pH (média geométrica); DP = desvio padrão.

Resultados para metais e nutrientes obtidos para águas percoladas no segundo ciclo (laboratório LQAA-UnB e LG-UnB) em mg/L

PARÂMETRO	Tratamento T1			Tratamento T2			Tratamento T3			Tratamento T4		
	N	Média	D.P.	N	Média	D.P.	N	Média	D.P.	N	Média	D.P.
Sr	4	0,039	0,023	5	0,033	0,021	5	0,041	0,029	5	0,023	0,015
Ti	4	0,008	0,011	5	0,019	0,043	5	0,0074	0,010	5	0,010	0,023
Ca	4	16,915	5,681	5	12,843	3,601	5	20,274	6,567	5	13,368	5,949
Mg	4	4,441	1,159	5	2,809	0,997	5	6,281	2,665	5	4,527	3,027
Fe	4	1,516	1,070	5	0,246	0,382	5	2,057	2,516	5	0,058	0,068
Ni	4	0,056	0,057	5	0,059	0,132	5	0,103	0,108	5	0,219	0,409
Cu	4	0,073	0,038	5	0,116	0,081	5	0,092	0,066	5	0,076	0,072
Al	4	0,613	0,251	5	0,231	0,327	5	0,889	1,069	5	0,170	0,215
Cr	4	0,201	0,094	5	0,012	0,012	5	0,193	0,233	5	0,016	0,033
Mn	4	0,004	0,003	5	0,008	0,011	5	0,012	0,015	5	0,003	0,005
Ba	4	0,047	0,009	5	0,023	0,011	5	0,049	0,033	5	0,034	0,030
Co	4	0,016	0,023	5	0,025	0,022	5	0,024	0,026	5	0,034	0,045
Zn	4	0,312	0,088	5	0,100	0,076	5	0,109	0,083	5	0,235	0,158
Pb	4	0,304	0,207	5	0,072	0,161	5	0,087	0,156	5	0,185	0,263
Cd	4	0,015	0,015	5	0,009	0,012	5	0,012	0,026	5	0,027	0,029
P	4	0,397	0,334	5	0,002	0,004	5	0,629	0,780	5	0,044	0,066

N = número de amostras; Média = média aritmética; D.P. = desvio padrão; LD = limite de detecção do método.

Resultados obtidos para metais e nutrientes em águas percoladas no segundo ciclo (Laboratório LQAA-UnB e LG-UnB) em mg/L (continuação)

PARÂMETRO	Tratamento T5			Tratamento T6			Tratamento T7			Tratamento T8		
	N	Média	D.P.	N	Média	D.P.	N	Média	D.P.	N	Média	D.P.
Sr	5	0,063	0,043	5	0,041	0,025	4	0,033	0,0195	5	0,032	0,030
Ti	5	<LD	-	5	<LD	-	4	0,002	0,004	5	0,007	0,012
Ca	5	15,036	9,764	5	13,807	8,041	4	22,581	13,085	5	15,96	9,393
Mg	5	3,940	2,464	5	3,551	2,068	4	8,847	5,186	5	6,198	4,391
Fe	5	0,069	0,154	5	0,031	0,045	4	0,456	0,441	5	0,024	0,044
Ni	5	0,041	0,092	5	<LD	-	4	0,031	0,001	5	0,058	0,026
Cu	5	0,160	0,218	5	0,048	0,066	4	0,156	0,009	5	0,139	0,136
Al	5	0,111	0,103	5	0,043	0,067	4	0,146	0,101	5	0,164	0,153
Cr	5	<LD	-	5	0,0006	0,0009	4	0,005	0,008	5	0,016	0,024
Mn	5	0,0002	0,0004	5	0,005	0,007	4	0,004	0,002	5	0,004	0,004
Ba	5	0,018	0,024	5	0,023	0,022	4	0,006	0,037	5	0,063	0,048
Co	5	0,0006	0,0009	5	0,003	0,005	4	0,032	0,001	5	0,031	0,014
Zn	5	0,062	0,079	5	0,042	0,056	4	0,352	0,308	5	0,113	0,157
Pb	5	<LD	-	5	0,072	0,161	4	0,238	0,001	5	1,243	0,556
Cd	5	<LD	-	5	<LD	-	4	0,014	0,012	5	0,022	0,030
P	5	0,017	0,039	5	<LD	-	4	0,017	0,003	5	0,028	0,051

N = número de amostras; Média = média aritmética; D.P. = desvio padrão; LD = limite de detecção do método

APÊNDICE 2B – ANÁLISE DE SOLOS NO 2º CICLO

Resultados de fertilidade para amostras de solo no segundo ciclo – Laboratório: LS

PARÂMETRO	UNIDADE DE MEDIDA	Tratamento T1		Tratamento T2		Tratamento T3		Tratamento T4	
		I-11	II-6	I-11	II-6	I-11	II-6	I-11	II-6
Cálcio	mE/100 ml	2,40	2,60	1,90	2,30	1,90	2,70	2,20	2,10
Magnésio	mE/100 ml	0,60	1,10	0,20	0,70	0,20	1,00	0,40	0,70
Potássio	mE/100 ml	0,18	0,12	0,08	0,08	0,24	0,09	0,33	0,13
Sódio	mE/100 ml	0,03	0,04	0,09	0,07	0,12	0,09	0,35	0,21
Valor S	mE/100 ml	3,21	3,86	2,27	3,15	2,46	3,88	3,28	3,14
Alumínio	mE/100 ml	0,00	0,00	0,10	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00
Acidez Total	mE/100 ml	3,40	3,20	4,00	3,70	3,70	3,40	3,20	3,70
Valor T (CTC)	mE/100 ml	6,61	7,06	6,27	6,85	6,16	7,28	6,48	6,84
Sat. Alumínio	% Al	0,00	0,00	4,00	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00
Sat. de Bases	% V	49,00	55,00	36,00	46,00	40,00	53,00	51,00	46,00
Carb. Orgânico	g/Kg	6,90	12,30	6,50	10,50	6,10	11,10	6,50	14,50
Mat. Orgânica	g/Kg	11,90	21,20	11,20	18,10	10,50	19,10	11,20	24,90
Fósforo	mg/dm ³	5,00	20,50	2,00	10,00	6,00	7,00	3,00	10,00
pH	-	6,10	6,10	5,90	6,00	5,90	6,10	6,30	6,00

Nota: Os códigos são de identificação das amostras (I-11 = referente à coleta de 10 /11/2004; II-6 = referente à coleta de 11 /03/2005)

Resultados de fertilidade para amostras de solo no segundo ciclo – Laboratório: LS (continuação)

PARÂMETRO	UNIDADE DE MEDIDA	Tratamento T5		Tratamento T6		Tratamento T7		Tratamento T8	
		I-11	II-6	I-11	II-6	I-11	II-6	I-11	II-6
Cálcio	mE/100 ml	2,60	2,20	2,40	1,70	0,30	1,90	2,90	1,80
Magnésio	mE/100 ml	0,60	1,30	0,60	0,40	0,10	0,70	0,60	0,80
Potássio	mE/100 ml	0,23	0,13	0,30	0,16	0,20	0,13	0,40	0,21
Sódio	mE/100 ml	0,50	0,30	0,47	0,10	0,20	0,18	0,47	0,20
Valor S	mE/100 ml	3,93	3,93	3,77	2,36	0,80	2,91	4,37	3,01
Alumínio	mE/100 ml	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00
Acidez Total	mE/100 ml	3,20	3,20	3,40	4,00	4,60	3,70	3,40	3,40
Valor T (CTC)	mE/100 ml	7,13	7,13	7,17	6,36	5,40	6,61	7,77	6,41
Sat. Alumínio	% Al	0,00	0,00	0,00	0,00	11,00	0,00	0,00	0,00
Sat. de Bases	% V	55,00	55,00	53,00	37,00	15,00	44,00	56,00	47,00
Carb. Orgânico	g/Kg	7,70	14,20	6,40	12,70	7,10	13,20	7,20	13,00
Mat. Orgânica	g/Kg	13,20	24,40	11,00	21,80	12,20	22,70	12,40	22,40
Fósforo	mg/dm ³	1,00	10,00	1,00	12,00	3,50	18,00	6,50	8,00
pH	-	6,5	6,7	6,4	5,8	4,7	5,9	6,10	5,90

Nota: Os códigos são de identificação das amostras (I-11 = referente à coleta de 10 /11/2004; II-6 = referente à coleta de 11 /03/2005)

Resultados para amostras de solos obtidos no laboratório LQAA para o segundo ciclo de cultivo

PARÂMETRO	UNID. MED.	Tratamento T1		Tratamento T2		Tratamento T3		Tratamento T4	
		I-11	II-6	I-11	II-6	I-11	II-6	I-11	II-6
		pH CaCl2	-	5,49	6,28	5,21	5,14	5,37	6,34
pH água	-	6,133	6,79	5,97	6,45	5,91	6,95	6,38	6,53
Mat. Org.	%	0,139	0,195	0,017	0,172	0,143	0,149	0,104	0,126
Ca	g/Kg	0,290	0,345	0,205	0,253	0,253	0,372	0,329	0,354
Mg	g/Kg	0,036	0,088	0,026	0,08	0,034	0,122	0,046	0,125
Fe	g/Kg	0,085	0,034	0,056	0,031	0,100	0,035	0,047	0,029
Cu	g/Kg	0,0006	0,001	0,002	0,0006	0,0006	0,0007	0,0006	0,0008
Al	g/Kg	0,001	0,003	0,0009	0,003	0,0008	0,002	0,0007	0,002
Mn	g/Kg	0,023	0,018	0,025	0,017	0,013	0,017	0,020	0,022
Zn	g/Kg	0,002	0,011	0,002	0,0009	0,009	0,001	0,0009	0,001
P	g/Kg	0,004	0,006	0,002	0,003	0,005	0,005	0,003	0,004

(*) Nota: Os códigos são de identificação das amostras (I-11 = referente à coleta de 10 /11/2004; II-6 = referente à coleta de 11 /03/2005)

**Resultados para amostras de solo obtidos no laboratório LQAA-UnB para o segundo ciclo de cultivo
(continuação)**

PARÂMETRO	UNID. MED.	Tratamento T5		Tratamento T6		Tratamento T7		Tratamento T8	
		I-11	II-6	I-11	II-6	I-11	II-6	I-11	II-6
		pH CaCl2	-	5,41	6,43	5,51	5,96	4,94	5,93
pH água	-	5,87	6,92	6,06	6,43	5,08	6,60	6,21	6,67
Mat. Org.	%	0,098	0,079	0,105	0,033	0,080	0,105	0,129	0,109
Ca	g/Kg	0,176	0,357	0,251	0,255	0,176	0,339	0,234	0,254
Mg	g/Kg	0,034	0,131	0,028	0,07	0,022	0,112	0,022	0,083
Fe	g/Kg	0,042	0,024	0,079	0,045	0,07	0,035	0,079	0,026
Cu	g/Kg	0,0006	0,0006	0,0004	0,0008	0,0005	0,0007	0,0005	0,0004
Al	g/Kg	0,001	0,003	0,009	0,002	0,002	0,002	0,003	0,004
Mn	g/Kg	0,024	0,015	0,016	0,021	0,018	0,02	0,016	0,012
Zn	g/Kg	0,0004	0,0005	0,0004	0,002	0,0004	0,001	0,002	0,003
P	g/Kg	0,002	0,002	0,002	0,004	0,003	0,005	0,004	0,003

(*) Nota: Os códigos são de identificação das amostras (I-11 = referente à coleta de 10 /11/2004; II-6 = referente à coleta de 11 /03/2005)

APÊNDICE 2C – RESULTADOS DAS ANÁLISES EM PLANTAS DO 2º CICLO.

Resultados dos exames realizados para amostras de plantas (folhas) no segundo ciclo de cultivo pelos laboratórios LQAA-UnB e LG-UnB (*).

PARÂMETRO	UNID. MED.	Tratamento T1	Tratamento T2	Tratamento T3	Tratamento T5	Tratamento T6	Tratamento T7
Fósforo	g/Kg	2,31	3,77	3,46	1,037	3,35	4,28
Enxofre	g/Kg	0,719	1,54	2,48	0,06	4,42	2,78
Cálcio	g/Kg	33,08	35,85	0,03	3,31	25,43	28,09
Potássio	g/Kg	13,49	13,99	13,57	14,50	18,9	23,61

(*) Nota: Exames realizados em amostras coletadas ao final do segundo ciclo de cultivo, em 11 de março de 2005 (amostra código II-6)

Resultados dos exames realizados para amostras de plantas (raízes) no segundo ciclo de cultivo pelos laboratórios LQAA-UnB e LG-UnB (*).

PARÂMETRO	UNID. MED.	Tratamento T1	Tratamento T2	Tratamento T3	Tratamento T5	Tratamento T6	Tratamento T7
Fósforo	g/Kg	1,07	1,11	1,02	1,00	1,24	1,51
Enxofre	g/Kg	0,21	0,215	0,15	0,155	0,02	0,41
Cálcio	mg/Kg	4,22	4,81	2,18	3,30	1,41	7,17
Potássio	g/Kg	6,28	6,70	9,24	8,86	11,61	11,44

(*) Nota: Exames realizados em amostras coletadas ao final do segundo ciclo de cultivo, em 11 de março de 2005 (amostra código II-6).

Resultados dos exames realizados para amostras de plantas (folhas) no final do segundo ciclo pelo laboratório LS (*)

PARÂMETRO	UNID. MED.	Tratamento T1	Tratamento T2	Tratamento T3	Tratamento T4
N	%	2,35	2,75	3,45	2,60
P	%	0,24	0,29	0,36	0,27
K	%	1,35	1,40	1,80	1,40
Ca	%	3,76	3,46	3,31	3,46
Mg	%	0,83	0,84	0,83	0,83
S	%	0,18	0,28	0,32	0,22
B	ppm	172,0	53,4	63,1	58,6
Cu	ppm	16,4	21,0	22,7	17,7
Mn	ppm	298	233	73	287
Zn	ppm	24,2	28,9	33,7	20,1
Na	ppm	7886	1635	1366	1127

(*) Nota: exames realizados em amostras coletadas no final do segundo ciclo, código da amostragem II-6 realizada em 11/13/2005.

Resultados dos exames realizados para amostras de plantas (folhas) no final do segundo ciclo pelo laboratório LS (*) - (continuação)

PARÂMETRO	UNID. MED.	Tratamento T5	Tratamento T6	Tratamento T7	Tratamento T8
N	%	2,50	2,45	2,75	2,45
P	%	0,28	0,29	0,29	0,25
K	%	1,99	2,19	2,04	1,50
Ca	%	3,16	3,32	3,43	3,41
Mg	%	0,83	0,83	0,83	0,83
S	%	0,23	0,28	0,20	0,20
B	ppm	48,8	55,5	55,0	52,2
Cu	ppm	19,2	19,2	17,7	16,0
Mn	ppm	84	252	369	248
Zn	ppm	26,3	30,7	17,4	15,0
Na	ppm	1097	908	948	809

Exames realizados em amostras coletadas no final do segundo ciclo, código da amostragem II-6 realizada em 11/13/2005.

Resultados dos exames biométricos realizados nas plantas durante o segundo ciclo (médias aritméticas das medidas) (*)

PARÂMETRO	Altura das Plantas	Número de Folhas	Diâmetro de caule	Número de botões	Número de Flores
UNIDADE DE MEDIDA	cm	unidade	cm	unidade	unidade
Tratamento T1	<i>1(**)</i>	4,62	6,00	0,27	0,00
	<i>2</i>	14,60	66,04	0,65	3,44
	<i>3</i>	36,00	105,96	0,96	7,08
	<i>4</i>	35,07	73,16	1,07	0,52
Tratamento T2	<i>1</i>	4,60	6,00	0,25	0,00
	<i>2</i>	10,86	30,72	0,39	1,20
	<i>3</i>	21,32	47,64	0,53	3,16
	<i>4</i>	14,01	20,28	0,53	0,12
Tratamento T3	<i>1</i>	4,38	6,00	0,25	0,00
	<i>2</i>	9,76	35,36	0,48	1,52
	<i>3</i>	26,20	74,00	0,73	6,32
	<i>4</i>	22,48	64,96	0,78	1,28
Tratamento T4	<i>1</i>	4,38	6,00	0,26	0,00
	<i>2</i>	10,68	36,64	0,49	1,00
	<i>3</i>	24,04	52,12	0,62	3,44
	<i>4</i>	22,38	40,11	0,73	0,72
Tratamento T5	<i>1</i>	4,32	6,00	0,26	0,00
	<i>2</i>	9,90	32,44	0,43	1,20
	<i>3</i>	23,12	44,64	0,62	3,36
	<i>4</i>	19,66	39,18	0,59	0,44
Tratamento T6	<i>1</i>	4,58	6,00	0,26	0,00
	<i>2</i>	8,94	27,28	0,38	0,76
	<i>3</i>	19,64	41,88	0,54	2,88
	<i>4</i>	16,76	31,93	0,56	0,60
Tratamento T7	<i>1</i>	4,32	6,00	0,25	0,00
	<i>2</i>	12,08	45,88	0,50	2,16
	<i>3</i>	30,84	91,96	0,84	10,24
	<i>4</i>	26,78	59,26	0,79	1,28
Tratamento T8	<i>1</i>	4,58	6,00	0,25	0,00
	<i>2</i>	13,12	49,52	0,51	1,92
	<i>3</i>	27,44	92,20	0,76	8,00
	<i>4</i>	25,95	61,06	0,82	0,88

(*) Nota: referem-se às amostragens cujos códigos são indicados na Tabela 3.

(**) Nota: número da repetição do tratamento (nº da unidade experimental).

APÊNDICE 3A – DADOS DE ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO NO 3º CICLO

Resultados obtidos para águas de irrigação no terceiro ciclo realizadas no Laboratório Soloquímica

Parâmetros	N	T1		T2		T3		T5	
		Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
Potássio (mg/L)	3	0,2	0,14	0,4	0,2	3,2	0,45	2,4	0,28
Sódio (mg/L)	3	0,1	0,05	1,06	0,15	11,33	4,16	12,66	5,50
Cálcio (mg/L)	3	7,1	12,29	7,66	12,42	8,4	13,18	8	12,66
Magnésio (mg/L)	3	0,2	0,2	0,53	0,50	1,76	1,55	0,4	0,4
Condutividade Elétrica (umnhos/cm)	3	50	0	150	50	650	50	450	150

Águas de irrigação no terceiro ciclo realizadas no Laboratório Soloquímica (continuação)

Parâmetros	N	T6		T7		T8	
		Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
Potássio (mg/L)	3	2,4	0,28	2,35	0,35	4	0,17
Sódio (mg/L)	3	12,7	5,50	20,66	19,34	24,66	7,02
Cálcio (mg/L)	3	8	12,66	8,33	13,23	10	12,29
Magnésio (mg/L)	3	0,4	0,4	0,26	0,25	1,23	1,07
Condutividade Elétrica (umnhos/cm)	3	450	150	550	217,94	800	100

Resultados obtidos para águas de irrigação no terceiro ciclo realizadas no Laboratório Bioanalítica

Parâmetro	Unid.	N	T1		T2		T3		T5	
			Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
Alcalinidade	mg/L	3	9,33	2,3	26,67	2,0	186,67	25,1	70,67	31,8
DBO	mg/L	3	16,67	12,5	16,67	16,7	62,67	26,1	34,00	1,7
DQO	mg/L	3	35,33	24,0	29,67	30,6	119,00	44,2	62,67	6,4
Cloretos	mg/L	3	5,60	1,3	10,13	4,4	40,53	6,4	49,87	11,0
Colif. Totais	NMP/100mL	3	2,70E+04	-	3,40E+03	-	1,22E+06	-	1,04E+04	6,18E+03
<i>E. coli</i>	NMP/100mL	3	-	-	1,40E+03	-	8,80E+04	-	7,13E+03	5,06E+03
Nitrato	mgN/L	3	<0,1	-	0,15	-	0,48	0,50	1,30	0,54
Nitrito	mgN/L	3	-	-	0,33	0,05	-	-	1,12	0,06
Sólidos Totais	mg/L	1	44,0	-	52,0	-	262,0	-	158,0	-
S.T. Dissolvidos	mg/L	1	8,0	-	39,0	-	330,0	-	231,0	-
S.T. Fixos	mg/L	1	36,0	-	32,0	-	126,0	-	40,0	-
S.T. Voláteis	mg/L	1	8,0	-	20,0	-	136,0	-	118,0	-

D.P. = desvio padrão, S.T. = Sólidos Totais.

Águas de irrigação no terceiro ciclo realizadas no Laboratório Bioanalítica (continuação)

Parâmetro	Unidade	N	T6		T7		T8	
			Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
Alcalinidade	mg/L	3	43,00	18,52	386,67	14,57	209,67	17,39
DBO	mg/L	3	20,00	6,93	70,33	28,50	178,00	130,23
DQO	mg/L	3	38,33	16,07	119,00	40,58	257,00	136,23
Cloretos	mg/L	3	45,87	8,78	71,73	2,01	78,93	27,96
Colif. Totais	NMP/100mL	3	1,27E+04	1,32E+04	1,78E+05	1,54E+05	1,81E+05	2,25E+05
C.T.	NMP/100mL	3	7,70E+03	8,91E+03	5,24E+04	7,60E+04	7,13E+04	9,72E+04
Nitrato	mgN/L	3	0,80	0,52	6,11	-	2,22	-
Nitrito	mgN/L	3	1,42	0,36	-	-	0,85	0,38
Sólidos Totais	mg/L	1	86,0	-	478,0	-	422,0	-
S.T. Dissolvidos	mg/L	1	253,0	-	560,0	-	385,0	-
S.T. Fixos	mg/L	1	28,0	-	170,0	-	212,0	-
S.T. Voláteis	mg/L	1	58,0	-	308,0	-	210,0	-

D.P. = desvio padrão, C.T. = Coliformes Termotolerantes, S.T. = Sólidos Totais.

Águas de irrigação no terceiro ciclo de cultivo dos exames de metais e nutrientes realizados no Laboratório LQAA-UnB

Metais (mg/L)	N	T1		T2		T3		T5	
		Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
Sr	4	0,0067	0,0055	0,01	0,0012	0,0232	0,0029	0,0177	0,0037
Ca	4	1,5538	0,3001	3,4309	0,2325	6,3589	0,3838	5,8357	3,6853
Mg	4	<L.D	-	0,3417	0,0697	1,2603	0,507	0,261	1,1275
Fe	4	1,259	0,512	1,11	0,29	0,517	1,0243	0,1745	0,108
Si	4	1,095	0,632	3,98	1,4475	1,839	0,338	4,818	16,925
Ni	4	<L.D	-	0,27	0,04	0,311	0,072	0,581	0,044
Al	4	<L.D	-	1,09	0	8,3	0	1,934	5,059
Mn	4	<L.D	-	<L.D	-	0,011	0	0,016	0,0001
P	4	<L.D	-	<L.D	-	4,3077	1,9942	<L.D	-
Na	4	<L.D	-	<L.D	-	33,68	0,698	33,695	6,4277
K	4	<L.D	-	<L.D	-	18,1767	1,7133	17,5	6,1967

N = número de amostras; M = média aritmética; LD = limite de detecção do método

Resultados obtidos para águas de irrigação no terceiro ciclo de cultivo dos exames de metais e nutrientes realizados no Laboratório LQAA-UnB (continuação)

Metais (mg/L)	N	T6		T7		T8	
		Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
Sr	4	0,0285	0,0036	0,0463	0,0168	0,0467	0,0167
Ca	4	6,422	0,4761	9,4915	2,19	11,9663	3,198
Mg	4	0,3355	0,0634	2,5823	0,2791	2,066	0,2255
Fe	4	<L.D	-	0,215	0,2141	0,8077	0,254
Si	4	10,13	0,0193	7,7345	2,2321	<L.D	-
Ni	4	<L.D	-	0,525	0,133	<L.D	-
Al	4	0,647	0,02	0,448	0,347	5,8765	3,546
Mn	4	<L.D	-	0,033	0,0129	0,0085	0,055
P	4	<L.D	-	5,037	0,302	4,7763	0,4473
Na	4	40,65	1,1103	65,77	18,92	78,893	3,79633
K	4	16,8733	1,7133	29,5367	6,8767	35,32	5,1667

N = número de amostras; M = média aritmética; LD = limite de detecção do método

APÊNDICE 3B – ÁGUAS PERCOLADAS DO 3º CICLO

Resultados obtidos para águas percoladas no terceiro ciclo (laboratório Soloquímica)

PARÂMETRO	N	T1		T2		T3		T4	
		Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
Potássio (mg/L)	3	0,1	0	0,1	0	0,1	0	0,2	0,1
Sódio (mg/L)	3	0,4	0,1	0,4	0,1	1,5	0,3	1,5	0,2
Cálcio (mg/L)	3	13,1	11,8	13	11,5	12,8	12,2	11,4	11,5
Magnésio (mg/L)	3	3,2	2,3	1,9	0,6	2,7	1,6	1,6	0,4
Condutividade Elétrica (mS/cm)	3	200	0	133,3	57,7	200	0	150	50

Resultados obtidos para águas percoladas no terceiro ciclo (laboratório Soloquímica) continuação

PARÂMETRO	N	T5		T6		T7		T8	
		Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
Potássio (mg/L)	3	0,1	0	0,1	0	0,2	0	0,1	0,1
Sódio (mg/L)	3	2	0,7	1,6	0,1	2	0,6	2,9	0,3
Cálcio (mg/L)	3	12,6	11,8	13,1	11,1	12,9	11,9	11,7	13
Magnésio (mg/L)	3	2,7	0,8	2,3	0,6	3,8	1,4	3	2,6
Condutividade Elétrica (Ω/cm)	3	100	100	166,7	57,7	250	50	200	0

Resultados obtidos para metais e nutrientes em águas percoladas no terceiro ciclo (Laboratório LQAA-UnB)

Metais (mg/L)	N	T1		T2		T3		T4	
		Média	D.P	Média	D.P	Média	D.P	Média	D.P
Sr	3	0,00975	0,00025	0,01	0,0087	0,01133	0,00123	0,00656	0,00132
Ti	3	<L.D	-	<L.D	-	<L.D	-	0,05883	0,00572
Ca	3	10,6783	0,51789	10,6307	4,88271	6,42448	0,31876	9,3475	2,9334
Mg	3	1,969	0,104	1,074	0,289	1,067	0,025	1,07	0,091
Fe	3	<L.D	-	0,4185	0,00919	<L.D	-	0,26588	0,22231
Ni	3	1,3599	0,1188	1,157	0,0958	1,7645	0,0071	1,2733	0,0817
Cu	3	0,106	0,008	0,096	0,005	0,777	0,002	0,134	0,006
Al	3	<L.D	-	12,1875	0,03536	<L.D	-	4,285	3,77891
Mn	3	0,01058	0,0035	<L.D	-	0,013	0,00164	<L.D	-
Ba	3	<L.D	-	<L.D	-	<L.D	-	<L.D	-
Co	3	0,1434	0,0106	0,1333	0,0018	0,1804	0,036	0,1769	0,0184
Zn	3	<L.D	-	<L.D	-	1,098	0	0,3646	0,0513
Pb	3	1,0483	0,3235	2,3163	1,6564	1,9367	0,2135	1,7933	0,363
Cd	3	0,0958	0,0385	0,0475	0	0,0753	0,0517	0,0865	0
Mo	3	0,3238	0,122	0,2319	0,0212	0,3308	0,0309	0,463	0,0211
CE (mS/cm)	3	124,611	2,006	120,082	1,709	162,066	2,17	123,921	2,053
Alcalinidade (mg/L)	3	25,883	1,58	41,125	0,156	39,75	0	30	0,375
pH	3	7,182	0,516	6,966	0,04	6,973	0	7,051	0,014
nitrogênio (mg/L) total	3	1,05	0	2,1	0	1,05	0	1,05	0

Legenda: N = nº de amostras; Média = média aritmética; D.P. = desvio padrão; LD = limite de detecção do método

Resultados obtidos para metais e nutrientes em águas percoladas no terceiro ciclo (Laboratório LQAA-UnB) continuação

Metais (mg/L)	N	T5		T6		T7		T8	
		Média	D.P	Média	D.P	Média	D.P	Média	D.P
Sr	3	0,01592	0,00265	0,00975	0	0,01017	0,00038	0,00417	0,00362
Ti	3	0,08767	0,02885	0,072	0,00745	0,07083	0,00604	0,111	0,04702
Ca	3	10,8925	0,04596	9,30417	0,89706	9,00625	0,47422	7,4275	3,62569
Mg	3	1,427	0,074	0,771	0,03	1,695	0,289	1,018	0,603
Fe	3	<L.D	-	<L.D	-	0,24175	0,04101	0,158	0
Ni	3	1,4133	0,0663	1,4258	0,0852	1,4499	0,0472	1,5324	0,0927
Cu	3	0,071	0,009	0,095	0,001	0,857	0,004	0,052	0,002
Al	3	<L.D	-	<L.D	-	5,375	1,80312	5,25	0
Mn	3	0,01588	0,00018	0,01525	0,00205	0,01517	0,00113	0,01733	0,00153
Ba	3	<L.D	-	<L.D	-	0,04983	0,0053	<L.D	-
Co	3	0,1793	0,0069	0,2042	0,0247	0,19	0,0116	0,2033	0,0354
Zn	3	<L.D	-	<L.D	-	1,753	0,057	0,275	0,07
Pb	3	1,9758	0,5197	1,9358	0,1611	1,925	0	2,8458	0,2697
Cd	3	0,1213	0,0245	0,106	0	0,1107	0,0085	0,1293	0,0371
Mo	3	0,5558	0,0294	0,5573	0,0073	0,5529	0,0408	0,6184	0,0465
CE (mS/cm)	3	160,642	1,283	139,952	1,623	204,672	1,277	197,683	1,158
Alcalinidade (mg/L)	3	32,525	0,453	38,438	0,187	30,7	0,715	37,25	0,781
pH	3	6,817	0,016	7,018	0,023	7,052	0,018	7,218	0,008
Nitrogênio (mg/L)	3	1,05	0	0	0	1,05	0	1,05	0

Legenda: N = n° de amostras; Média = média aritmética; D.P. = desvio padrão; LD = limite de detecção do método.

APÊNDICE 3C – ANÁLISE DE SOLOS NO 3º CICLO

Resultados de fertilidade para amostras de solo no terceiro ciclo – Laboratório: Soloquímica

Parâmetros	T1		T2		T3		T4	
	III-1	III-2	III-1	III-2	III-1	III-2	III-1	III-2
pH em Água (1,0;2,5)	5,9	5,8	5,8	5,6	5,7	5,6	5,7	5,5
Cálcio (mE/100mL)	2,1	1,9	2	1,6	1,4	1,5	1,6	0,9
Magnésio (mE/100mL)	1,1	1,7	1,4	0,5	0,8	0,7	0,9	0,5
Potássio (mE/100mL)	0,13	0,1	0,1	0,09	0,1	0,09	0,1	0,08
Sódio (mE/100mL)	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,08	0,07	0,16
Valor S (mE/100mL)	3,35	3,73	3,53	2,22	2,34	2,37	2,67	1,64
Alumínio (mE/100mL)	0	0	0	0	0	0	0	0
Acidez Total (H + Al) (mE/100mL)	3,4	3,7	3,7	3,4	3,7	3,4	3,7	4,3
Valor T ou C.T.C. (mE/100mL)	6,75	7,43	7,23	5,62	6,04	5,77	6,37	5,94
Saturação de Alumínio (% Al)	0	0	0	0	0	0	0	0
Saturação de Bases (% V)	50	50	49	40	39	41	42	28
Carbono Orgânico - C (g/Kg)	15	9,6	21,4	10,8	17,7	10,1	19,5	15,3
Matéria Orgânica - MO (g/Kg)	25,8	16,5	36,8	18,6	30,4	17,4	33,5	26,3
Fósforo (mg/dm ³)	1,2	0,5	1,1	0,5	1	0,5	1	0,5
R.A.S. (mE/100mL)	0,016	0,020	0,023	0,030	0,038	0,080	0,063	0,190
PST (%)	$\frac{0,296}{3}$	0,4038	0,4149	0,5338	0,6623	1,3865	1,0989	2,6936

Nota: Os códigos são de identificação das amostras (III-1 = referente à coleta de 11 /07/2005; III-2 = referente à coleta de 02 /09/2005)

**Resultados de fertilidade para amostras de solo no terceiro ciclo – Laboratório: Soloquímica
(continuação)**

Parâmetros	T5		T6		T7		T8	
	III-1	III-2	III-1	III-2	III-1	III-2	III-1	III-2
pH em Água (1,0;2,5)	5,6	5,9	5,6	6	5,8	5,9	5,9	5,4
Cálcio (mE/100mL)	1,8	2,2	1,8	0,3	2	2,4	2,2	0,6
Magnésio (mE/100mL)	1,1	0,6	1	0,8	1,5	0,9	1,2	0,4
Potássio (mE/100mL)	0,15	0,07	0,1	0,07	0,17	0,2	0,15	0,06
Sódio (mE/100mL)	0,12	0,09	0,08	0,14	0,1	0,16	0,13	0,09
Valor S (mE/100mL)	3,17	2,96	2,98	4,01	3,77	3,66	3,68	1,15
Alumínio (mE/100mL)	0	0	0	0	0	0	0	0
Acidez Total (H + Al) (mE/100mL)	3,4	3,4	3,4	3	3,7	3,2	3,2	4
Valor T ou C.T.C. (mE/100mL)	6,57	6,36	6,38	7,01	7,47	6,86	5,88	5,15
Saturação de Alumínio (% Al)	0	0	0	0	0	0	0	0
Saturação de Bases (% V)	48	47	47	57	50	53	53	22
Carbono Orgânico - C (g/Kg)	21,6	10,5	13,3	13,7	21,8	10,8	16,8	16
Matéria Orgânica - MO (g/Kg)	37,2	18,1	22,9	23,6	37,5	18,6	28,9	27,5
Fósforo (mg/dm ³)	1	0,5	1,4	0,5	1,3	0,5	1,4	0,5
R.A.S. (mE/100mL)	0,100	0,080	0,068	0,100	$\frac{0,07}{6}$	0,130	0,100	0,130
PST (%)	$\frac{1,826}{5}$	1,4151	1,2539	1,9971	$\frac{1,33}{87}$	2,3324	2,2109	1,7476

Nota: Os códigos são de identificação das amostras (III-1 = referente à coleta de 11 /07/2005; III-2 = referente à coleta de 02 /09/2005)

Resultados para amostras de solos obtidos no laboratório LQAA para o terceiro ciclo de cultivo

PARÂMETRO	N	T1		T2		T3		T4	
		M	DP	M	DP	M	DP	M	DP
pH CaCl2	2	5,434	0,254	5,357	0,117	5,812	0,230	5,930	0,969
pH água	2	5,707	0,336	5,472	0,761	6,360	0,444	6,542	0,714
Matéria Orgânica %	2	1,634	0,170	1,652	0,175	1,475	0,183	1,389	0,232
Acidez Potencial (Cmol/Kg)	2	3,412	1,351	3,463	0,815	2,937	0,962	3,209	2,750
Nitrato (mg/Kg)	2	44,957	62,141	3,032	0,992	10,757	3,524	7,983	8,608
Amonio (mg/Kg)	2	4,821	2,572	5,756	1,174	6,222	2,694	6,847	3,770
Ca (g/Kg)	2	0,294	0,012	0,287	0,002	0,344	0,023	0,548	0,125
Mg (g/Kg)	2	0,046	0,002	0,052	0,006	0,061	0,004	0,104	0,030
Fe (g/Kg)	2	0,080	0,016	0,085	0,032	0,079	0,018	0,069	0,025
Al (g/Kg)	2	0,009	0,009	0,005	0,004	0,003	0,001	0,004	0,004
Mn (g/Kg)	2	0,016	0,009	0,016	0,001	0,014	0,004	0,014	0,006
Zn (g/Kg)	2	0,001	0,000	<LD	<LD	<LD		<LD	
P (g/Kg)	2	0,002	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000	0,003	0,001

**Resultados para amostras de solos obtidos no laboratório LQAA para o terceiro ciclo de cultivo
(continuação)**

PARÂMETRO	N	T5		T6		T7		T8	
		M	DP	M	DP	M	DP	M	DP
pH CaCl2	2	5,518	0,095	5,937	0,408	5,550	0,199	5,660	0,453
pH água	2	6,108	0,558	5,937	0,868	6,013	0,457	6,107	0,508
Matéria Orgânica %	2	1,542	0,275	1,231	0,500	1,973	0,577	1,343	0,166
Acidez Potencial (Cmol/Kg)	2	3,497	0,765	3,226	0,897	3,413	1,631	3,430	2,136
Nitrato (mg/Kg)	2	9,487	5,712	ND		7,000	3,295	11,700	
Amonio (mg/Kg)	2	5,600	2,842	9,335	6,597	9,333	4,665	6,220	6,738
Ca (g/Kg)	2	0,174	0,141	0,312	0,220	0,299	0,054	0,348	0,026
Mg (g/Kg)	2	0,028	0,019	0,058	0,033	0,052	0,004	0,069	0,006
Fe (g/Kg)	2	0,083	0,011	0,070	0,016	0,073	0,025	0,095	0,025
Al (g/Kg)	2	0,002	0,001	0,008	0,007	0,002	0,001	0,010	0,005
Mn (g/Kg)	2	0,013	0,004	0,014	0,010	0,016	0,008	0,015	0,008
Zn (g/Kg)	2	<LD		<LD		<LD		<LD	
P (g/Kg)	2	0,002	0,000	0,002	0,000	0,003	0,001	0,003	0,001

APÊNDICE 3D – RESULTADOS DAS ANÁLISES EM PLANTAS 3º CICLO

Resultados dos exames realizados para amostras de plantas (raízes) no terceiro ciclo de cultivo pelo laboratório LQAA-UnB

Parâmetro	Tempo	Fósforo %		Enxofre %		Cálcio %		Potássio (mg/g)		Cobre (µg/ml)		Boro (µg/ml)	
		M	DP	M	DP	M	DP	M	DP	M	DP	M	DP
T1	Ti	0,21	0,073	0,024	0,119	0,56	0,002	3,84		4,76		165	
	Tf	0,14	0,003	0,02	0,003	0,34	0,103	31,2	0,98	0,003		48,06	
T2	Ti	0,21	0,073	0,024	0,119	0,56	0,002	3,84		4,76		165	
	Tf	0,16	0,004	0,03	0,013	0,41	0,008	44,9	0,92	2,86	0,263	15,95	3,39
T3	Ti	0,21	0,073	0,024	0,119	0,56	0,002	3,84		4,76		165	
	Tf	0,26	0,02	0,12	0,14	0,36	0,05	51	2,55	2,63	0	14,9	1,56
T4	Ti	0,21	0,073	0,024	0,119	0,56	0,002	3,84		4,76		165	
	Tf	0,13	0,003	0,06	0,02	0,36	0,047	51	0,56	3,23	0,588	5,56	1,308
T5	Ti	0,21	0,073	0,024	0,119	0,56	0,002	3,84		4,76		165	
	Tf	0,11	0,023	0,03	0,011	0,29	0,02	61,2	2,75	2,13	0	5,43	1,803
T6	Ti	0,21	0,073	0,024	0,119	0,56	0,002	3,84		4,76		165	
	Tf	0,102	0,001	0,03	0,021	0,28	0	65,05	2,93	2,52	1,26	21,2	13,86
T7	Ti	0,21	0,073	0,024	0,119	0,56	0,002	3,84		4,76		165	
	Tf	0,18	0,001	0	0,09	0,28	0,0001	75,05	32,9	1,25	1,26	5,6	13,86
T8	Ti	0,21	0,073	0,024	0,119	0,56	0,002	3,84		4,76		165	
	Tf	0,25	0,02	0,06	0,007	0,32	0,04	66,03	1,95	3,6	0	18,2	7,56

Nota: Os códigos são de identificação das amostras (Ti = referente à coleta de 11/07/2005; Tf = referente à coleta de 02 /09/2005).

Resultados dos exames realizados para amostras de plantas (folhas) no terceiro ciclo de cultivo pelo laboratório LQAA-UnB

Parâmetro	Tempo	Fósforo %		Enxofre %		Cálcio %		Potássio (mg/g)		Cobre (µg/ml)		Boro (µg/ml)	
		M	DP	M	DP	M	DP	M	DP	M	DP	M	DP
T1	Ti	0,18	0,15	0,45	0,02	2,65	1,29	4,05	0,07	6,93	0	118	0,68
	Tf	0,33	0,33	0,09	0,006	1,29	0,17	29,3	1,9	2,27	0,478	196	10,76
T2	Ti	0,18	0,15	0,45	0,02	2,65	1,29	4,05	0,07	6,93	0	118	0,68
	Tf	0,31	0	0,22	0,093	1,74	0,78	34,7	24,15	12,11	5,29	74,03	29,82
T3	Ti	0,18	0,15	0,45	0,02	2,65	1,29	4,05	0,07	6,93	0	118	0,68
	Tf	0,62	0,02	0,31	0,02	2,24	0,13	43,9	0	11,55	0,254	106	22,06
T4	Ti	0,18	0,15	0,45	0,02	2,65	1,29	4,05	0,07	6,93	0	118	0,68
	Tf	0,52	0	0,31	0,006	1,89	0,31	76,4	9,61	15,1	0,95	122	10,19
T5	Ti	0,18	0,15	0,45	0,02	2,65	1,29	4,05	0,07	6,93	0	118	0,68
	Tf	0,5	0	0,31	0,02	1,79	1,63	97,4	4,16	15,33	0,106	104	2,73
T6	Ti	0,18	0,15	0,45	0,02	2,65	1,29	4,05	0,07	6,93	0	118	0,68
	Tf	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
T7	Ti	0,18	0,15	0,45	0,02	2,65	1,29	4,05	0,07	6,93	0	118	0,68
	Tf	0,68	0	0,35	0	1,64	0	95	3,27	13,2	0,35	91,6	5,48
T8	Ti	0,18	0,15	0,45	0,02	2,65	1,29	4,05	0,07	6,93	0	118	0,68
	Tf	0,69	0	0,25	0	1,61	0,3	80,1	3,15	16,21	0,53	103,3	7,94

Nota: Os códigos são de identificação das amostras (Ti = referente à coleta de 11/07/2005; Tf = referente à coleta de 02 /09/2005).

Resultados dos exames realizados para amostras de plantas (folhas) no final do terceiro ciclo de cultivo pelo laboratório Soloquímica

<i>Parâmetro</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>T4</i>	<i>T5</i>	<i>T6</i>	<i>T7</i>	<i>T8</i>
N (g/Kg)	19,10	29,60	33,10	30,60	33,60	28,00	45,50	31,00
P (g/Kg)	2,32	2,41	2,49	2,25	2,02	2,2	2,41	2,35
K (g/Kg)	16,50	11,50	16,50	17,00	20,40	19,00	18,50	13,50
Ca (g/Kg)	64,40	80,05	69,25	52,10	57,70	68,70	42,61	47,71
Mg (g/Kg)	6,7	7,2	8,4	7,1	6,6	6,6	6,9	6,6
S (g/Kg)	1,90	3,30	2,20	2,20	2,70	2,90	2,00	2,20
<i>B (ppm)</i>	107,0	36,4	35,6	32,4	41,0	34,0	22,8	20,6
<i>Cu (ppm)</i>	11,3	26,6	14,3	17,0	19,6	22,8	15,3	17,2
<i>Fé (ppm)</i>	1058	1144	639	710	1142	771	238	415
<i>Mn (ppm)</i>	126,0	91,4	71,3	80,3	78,7	81,9	94,6	81,3
<i>Zn (ppm)</i>	16,8	32,7	18,7	17,0	22,0	24,9	22,8	15,4
<i>Na (ppm)</i>	739	918	1167	858	898	1386	749	1943

Resultados dos exames biométricos realizados nas plantas durante o terceiro ciclo (médias aritméticas das medidas)

PARÂMETRO		Altura das Plantas	Número de Folhas	Diâmetro de caule	Número de botões	Número de Flores
UNIDADE DE MEDIDA		cm	unidade	cm	unidade	unidade
Tratamento T1	1	11,42	72,28	0,6974	0,64	0
	2	40,48	95,75	0,848	4,28	2,34
	3	42,28	62,84	0,882	5,48	0
Tratamento T2	1	5,62	26,4	0,374	0,32	0
	2	16,79	29,6	0,438	1,226667	0,12
	3	17,69	22,09	0,4367	1,53	0,2
Tratamento T3	1	7,5	36,28	0,4192	0,68	0,04
	2	27,6	65,32	0,6632	5,01	1,16
	3	29,32	43,68	0,72	6,84	0,5
Tratamento T4	1	8,44	44,4	0,5034	0,76	0
	2	25,76	65,56	0,6334	4,28	1,6
	3	28,48	48,23	0,6919	7,33	0,6
Tratamento T5	1	5,312	21,8	0,3842	0,36	0
	2	22,02	42,33	0,5056	1,626667	0,68
	3	23,02	24,59333	0,5314	2,03	0,8
Tratamento T6	1	6,968	27,16	0,402	0,32	0
	2	16,36	39,6	0,4724	1,946667	0,56
	3	18,3	23,78	0,4856	2,013333	0,2
Tratamento T7	1	7,32	45,6	0,5078	0,72	0
	2	23,28	71,24	0,7392	3,32	1,68
	3	27,12	70,55	0,7776	5,04	1
Tratamento T8	1	9,094	44,04	0,56724	1,08	0
	2	31,2	64,6	0,7724	5,76	1,56
	3	33,36	57,39	0,7972	7,64	1,066667

APÊNDICE 4A – ÁGUA DE IRRIGAÇÃO DO 4º CICLO

Resultados obtidos para águas de irrigação no quarto ciclo de cultivo dos exames de metais e nutrientes realizados no Laboratório LQAA-UnB

PARÂMETRO	N	T1		T2		T3		T5	
		Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
pH	2	7,35	0,028	7,395	0	7,19	0	7,21	0,01
Cond. Elétrica (µS/cm)	2	23,95	0,7935	87,5	0,5945	533,367	9,9905	395,65	3,2155
Alcalinidade (mg/L)	2	5,75	1,5205	17,4375	0,265	119,25	0	55	0
Nitrogênio Total (mg/L)	2	ND	ND	ND	ND	22,4	3,4405	ND	ND
Sr (mg/L)	2	0,015	0,0057	0,029	0,006	0,0375	0,0006	0,037	0,00535
La (mg/L)	2	<LD	0	<LD	0	<LD	0	<LD	0
Y (mg/L)	2	<LD	0	<LD	0	<LD	0	<LD	0
Ti (mg/L)	2	<LD	0,004	<LD	0	<LD	0	<LD	0
Ca (mg/L)	2	3,1195	0,2135	6,071	0,3705	9,4585	0,338	9,546	0,04575
V (mg/L)	2	<LD	0	<LD	0	<LD	0	<LD	0
Mg (mg/L)	2	0,1225	0,0738	0,34	0,1205	3,034	0,045	0,6335	0,368
Fe (mg/L)	2	<LD	0,029	0,22	0,0145	0,5185	0,0035	<LD	0,153
Si (mg/L)	2	<LD	2,2255	2,733	2,0305	<LD	0,011	<LD	0,6785
Ni (mg/L)	2	0,325	0,153	<LD	0	<LD	0	<LD	0
Zr (mg/L)	2	<LD	0	<LD	0	<LD	0	<LD	0
Cu (mg/L)	2	<LD	0	<LD	0	<LD	0	<LD	0
Al (mg/L)	2	0,932	0,1645	<LD	0,14895	<LD	0,1235	<LD	0,238
Cr (mg/L)	2	<LD	0,0205	<LD	0,0236	<LD	0	<LD	0
Mn (mg/L)	2	<LD	0	<LD	0	<LD	0	<LD	0,0061
Ba (mg/L)	2	<LD	0	<LD	0	0,0955	0,05325	0,093	0,031
Co (mg/L)	2	<LD	0,0255	<LD	0	<LD	0	<LD	0,02515
Zn (mg/L)	2	<LD	0,0185	<LD	0,0283	<LD	0,1135	<LD	0,007
Pb (mg/L)	2	2,204	0,437	1,913	0,4411	2,2565	0,4235	1,503	1,295
Cd (mg/L)	2	<LD	0	<LD	0	<LD	0	<LD	0
P (mg/L)	2	<LD	0,177	<LD	0	4,258	0,179	0,518	0,23
Mo (mg/L)	2	<LD	0	<LD	0	<LD	0	<LD	0

N = número de amostras; DP = desvio padrão; LD = limite de detecção do método

Resultados obtidos para águas de irrigação no quarto ciclo de cultivo dos exames de metais e nutrientes realizados no Laboratório LQAA-UnB (continuação)

PARÂMETRO	N	T6		T7		T8	
		Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
pH	2	6,8485	0,0405	6,9965	0,02525	8,345	0,007
Cond. Elétrica (mS/cm)	2	436,075	0,6715	947,35	11,6085	687,75	9,2335
Alcalinidade (mg/L)	2	35,75	0,5	223,5	0	195,25	0
Nitrogênio Total (mg/L)	2	3,64	2,719E-16	26,4695	6,1810967	27,6265	1,9095544
Sr (mg/L)	2	0,035	0,00295	0,0475	0,000094	0,0435	0,0156
La (mg/L)	2	<LD	0	0,038	0,0219	<LD	0
Y (mg/L)	2	<LD	0	0	0	<LD	0
Ti (mg/L)	2	<LD	0	0,017	0,008	<LD	0
Ca (mg/L)	2	7,5245	2,9985	10,8915	1,049	11,3645	0,519
V (mg/L)	2	<LD	0	0	0	<LD	0
Mg (mg/L)	2	0,382	0,217	2,0545	0,2915	2,1745	0,0935
Fe (mg/L)	2	0,212	0,3015	0,364	0,158	0,251	0,0095
Si (mg/L)	2	12,175	6,77	12,375	1,6875	11,7085	6,1085
Ni (mg/L)	2	<LD	0	0	0	<LD	0
Zr (mg/L)	2	<LD	0	0	0	<LD	0
Cu (mg/L)	2	<LD	0,0045	0	0	<LD	0,004
Al (mg/L)	2	0,864	0,6285	0,678	0,186	0,2725	0,115
Cr (mg/L)	2	<LD	0	0	0	<LD	0
Mn (mg/L)	2	0,0155	0,007	0,0225	0,0045	0,022	0,0015
Ba (mg/L)	2	0,11	0,0025	0,015	0,0255	<LD	0
Co (mg/L)	2	<LD	0	0	0	<LD	0
Zn (mg/L)	2	<LD	0,144	0,051	0,0165	<LD	0,1085
Pb (mg/L)	2	1,448	0,629	1,5775	0,4765	1,504	0,8245
Cd (mg/L)	2	<LD	0	0,015	0,006	<LD	0
P (mg/L)	2	<LD	0	2,132	0,3395	2,2055	0,822
Mo (mg/L)	2	<LD	0	0	0	<LD	0

N = número de amostras; DP = desvio padrão; LD = limite de detecção do método.

APÊNDICE 4B – ÁGUAS PERCOLADAS DO 4º CICLO

Resultados obtidos para metais e nutrientes em águas percoladas no quarto ciclo (Laboratório LQAA-UnB)

Metais (mg/L)	N	T1		T2		T3		T4	
		Média	D.P	Média	D.P	Média	D.P	Média	D.P
Sr	2	0,015	0,0025	0,018	0,002	0,0315	0,0025	0,0045	0,0035
La	2	0,248	0,0005	0,244	0,077	<LD	0,007	0,133	0,015
Y	2	0,027	0,0065	0,019	0,0085	<LD	0	<LD	0,0015
Ti	2	0,061	0,0185	0,071	0,0275	<LD	0,0085	0,012	0,006
Ca	2	14,003	0,8445	8,446	1,012	5,8785	0,2115	5,7365	1,106
V	2	0,111	0,001	0,107	0,0365	<LD	0,006	0,046	0,004
Mg	2	4,39	0,513	2,229	0,365	1,1195	0,159	1,654	0,6275
Fe	2	<LD	0,3675	<LD	0,1275	<LD	0,078	<LD	0,0585
Si	2	19,195	0,4805	<LD	0,2125	<LD	5,333	11,44	6,243
Ni	2	0,479	0,105	0,49	0,1015	<LD	0,0165	<LD	0,0745
Zr	2	0,459	0,003	0,47	0,1195	0,199	0,029	0,1605	0,088
Cu	2	0,079	0,0255	0,166	0,023	0,2025	0,015	0,054	0,0295
Al	2	3,048	0,522	1,471	0,5045	<LD	0,1705	<LD	0,1345
Cr	2	0,12	0,0275	0,085	0,0325	<LD	0,0015	<LD	0,005
Mn	2	<LD	0	<LD	0,0055	<LD	0,0015	<LD	0,001
Ba	2	0,08	0,0075	0,078	0,016	<LD	0,005	<LD	0,0165
Co	2	0,146	0,0325	0,086	0,0375	<LD	0,0115	<LD	0,007
Zn	2	<LD	0,0255	<LD	0,0005	0,839	0,608	0,481	0,1065
Pb	2	<LD	0,272	1,249	0,4095	<LD	0,0075	<LD	0,045
Cd	2	0,104	0,027	0,06	0,026	<LD	0,0005	0,042	0,0015
P	2	0,282	0,0375	0,274	0,0525	<LD	0,001	<LD	0,0405
Mo	2	1,158	0,1615	0,798	0,2625	0,226	0,0435	0,567	0,0965
CE (mS/cm)	2	169,0	5,19	78,5	0,83	186,6	0,00	165,8	2,59
Alcalinidade (mg/L)	2	24	0	18	0	16,5		11,5	0
pH	2	6,4	0,01	6,4	0,02	6,2		6,4	0,00
nitrogênio (mg/L) total	2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Legenda: N = número de amostras; Média = média aritmética; D.P. = desvio padrão; LD = limite de detecção do método; ND = não detectado.

Resultados obtidos para metais e nutrientes em águas percoladas no quarto ciclo (Laboratório LQAA-UnB) – continuação

Metais (mg/L)	N	T5		T6		T7		T8	
		Média	D.P	Média	D.P	Média	D.P	Média	D.P
Sr	2	0,05	0,0015	0,022	0,0035	0,0265	0,0005	0,0215	0
La	2	<LD	0,0075	0,015	0,019	<LD	0,013	<LD	0,006
Y	2	<LD	0	<LD	0	<LD	0	<LD	0
Ti	2	<LD	0,0055	<LD	0,017	<LD	0,0002	<LD	0,0015
Ca	2	13,4305	0,2995	11,761	1,6495	17,927	2,1145	17,002	0,768
V	2	<LD	0	<LD	0,0185	<LD	0	<LD	0
Mg	2	2,8345	0,15	2,269	0,245	6,179	0,806	5,12	0,322
Fe	2	<LD	0,1125	<LD	0,017	0,324	0,1685	0,254	0,026
Si	2	<LD	5,45	<LD	3,9725	13,209	2,2995	9,6995	4,195
Ni	2	0,463	0,0835	<LD	0,0055	0,331	0,0605	0,313	0,068
Zr	2	0,165	0,1885	0,127	0,0505	0,125	0,0125	0,178	0,0005
Cu	2	<LD	0,005	0,3275	0,03	0,21	0,01825	0,1735	0,007
Al	2	0,959	0,258	0,5435	0,3425	1,1525	0,34181	1,415	0,0195
Cr	2	<LD	0	<LD	0,01	<LD	0	0,024	0,0105
Mn	2	<LD	0	<LD	0	<LD	0	<LD	0
Ba	2	<LD	0,007	0,092	0,016	0,055	0,014865	0,081	0,0075
Co	2	<LD	0,0085	<LD	0,01	<LD	0,0229	0,093	0,0115
Zn	2	0,44	0,0335	1,128	0,079	0,744	0,1122	2,849	0,574
Pb	2	<LD	0,079	<LD	0,402	0,813	0,645	2,024	0,9795
Cd	2	<LD	0	<LD	0	<LD	0	0,056	0,0425
P	2	<LD	0,0165	<LD	0,029	<LD	0	<LD	0,043
Mo	2	<LD	0,0585	<LD	0,0735	<LD	0	0	0
CE (mS/cm)	2	284,3	0,07	219,1	0,00	469,8	1,87	312,6	0,00
Alcalinidade (mg/L)	2	22	0	21	(--)	31,5	(--)	30,5	1
pH	2	6,5	0,03	6,7	0,01	6,5	0,00	6,6	0,01
Nitrogênio (mg/L)	2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Legenda: N = número de amostras; Média = média aritmética; D.P. = desvio padrão; LD = limite de detecção do método; ND = não detectado e (--) = não medido.

APÊNDICE 4C – ANÁLISE DE SOLOS NO 4º CICLO

Resultados de fertilidade para amostras de solo no quarto ciclo – Laboratório: Soloquímica

Parâmetros	T1		T2		T3		T4	
	IV-1	IV-2	IV-1	IV-2	IV-1	IV-2	IV-1	IV-2
Ca + Mg	4,6	6,2	4,6	5,1	4,5	5,0	4,5	5,9
Cálcio (mE/100mL)	3,5	4,9	3,5	3,3	3,5	3,2	3,4	4,0
Magnésio (mE/100mL)	1,1	1,3	1,1	1,8	1,0	1,8	1,1	1,9
Potássio (mE/100mL)	0,2	0,3	0,2	0,1	0,6	0,1	0,1	0,2
Sódio (mE/100mL)	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1
Valor S (mE/100mL)	4,9	6,5	4,8	5,2	5,3	5,2	4,8	6,2
Alumínio (mE/100mL)	0	0	0	0	0	0	0	0
Acidez Total (H + Al) (mE/100mL)	2,2	2,5	2,0	2,2	2,0	2,4	2,4	3,0
Valor T ou C.T.C. (mE/100mL)	7,1	9,0	6,8	7,4	7,3	7,6	7,2	9,2
Saturação de Alumínio (% Al)	0	0	0	0	0	0	0	0
Saturação de Bases (% V)	69,0	72,0	71,0	70,0	72,0	68,0	66,0	67,0
Carbono Orgânico - C (g/Kg)	13,8	26,5	15,1	20,2	14,8	24,1	13,5	27,3
Matéria Orgânica - MO (g/Kg)	23,7	45,6	26,0	34,7	25,5	41,5	23,2	47,0
Fósforo (mg/dm ³)	7,0	5,9	2,0	0,5	2,0	0,5	2,0	0,5
R.A.S. (mE/100mL)	0	0	0,1	0	0,1	0	0,1	0

Nota: Os códigos são de identificação das amostras (IV-1 = referente à coleta de 21/10/2005; IV-2 = referente à coleta de 17/01/2006)

Resultados de fertilidade para amostras de solo no quarto ciclo – Laboratório: Soloquímica (continuação)

Parâmetros	T5		T6		T7		T8	
	IV-1	IV-2	IV-1	IV-2	IV-1	IV-2	IV-1	IV-2
Caálcio e magnésio	4,8	5,9	4,5	5,1	4,7	5,9	4,5	5,7
Cálcio (mE/100mL)	3,5	4,5	3,6	3,8	3,4	4,5	3,4	4,4
Magnésio (mE/100mL)	1,3	1,4	0,9	1,3	1,3	1,4	1,1	1,3
Potássio (mE/100mL)	0,3	0,2	0,4	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1
Sódio (mE/100mL)	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1
Valor S (mE/100mL)	5,3	6,2	5,0	5,3	5,1	6,1	5,0	6,0
Alumínio (mE/100mL)	0	0	0	0	0	0	0	0
Acidez Total (H + Al) (mE/100mL)	2,0	2,2	1,8	2,4	2,2	2,5	2,2	2,4
Valor T ou C.T.C. (mE/100mL)	7,3	8,4	6,8	7,7	7,3	8,6	7,2	8,4
Saturação de Alumínio (% Al)	0	0	0	0	0	0	0	0
Saturação de Bases (% V)	73,0	74,0	74,0	69,0	70,0	71,0	69,0	71,0
Carbono Orgânico - C (g/Kg)	13,4	24,4	11,3	22,8	16,2	22,3	15,5	23,6
Matéria Orgânica - MO (g/Kg)	23,0	42,0	19,4	39,2	27,9	38,4	26,7	40,6
Fósforo (mg/dm ³)	0,5	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5
R.A.S. (mE/100mL)	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,2	0,1

Nota: Os códigos são de identificação das amostras (IV-1 = referente à coleta de 21/10/2005; IV-2 = referente à coleta de 17/01/2006)

Resultados para amostras de solos obtidos no laboratório LQAA para o quarto ciclo de cultivo

PARÂMETRO	N	T1		T2		T3		T4	
		M	DP	M	DP	M	DP	M	DP
pH CaCl2	2	7,32	0,12	6,435	0,007	6,58	0,014	6,5915	0,0555
pH água	2	7,215	0,0315	6,8725	0,0105	7,28	0,04	7,235	0,0525
Matéria Orgânica %	2	0,9485	0,135	1,7635	0,0155	1,6005	0,1925	2,2545	0,0715
Acidez Potencial (Cmol/Kg)	2	3,4885	0,249	4,0235	0,233	3,5395	0,193	4,1	0,088
Nitrato (mg/Kg)	2	23,567	10,333	6,533	2,3335	9,917	7,825	4,822	5,81
Amonio (mg/Kg)	2	3,733	0	3,7335	0	4,6665	0	5,133	0
Ca (g/Kg)	2	40,85	--	39,51	--	34,8	--	35,68	--
Mg (g/Kg)	2	7,18	--	8,59	--	8,03	--	8,865	--
Fe (g/Kg)	2	1,6005	--	1,868	--	1,7025	--	1,5225	--
Cu (g/Kg)	2	0,09405	--	0,078885	--	0,0521	--	0,0473	--
Al (g/Kg)	2	0,1815	--	0,2369	--	0	--	0,1742	--
Mn (g/Kg)	2	1,342	--	1,0765	--	1,0155	--	1,79	--
Zn (g/Kg)	2	1,4705	--	0,1946	--	0,19605	--	0,0966	--
P (g/Kg)	2	0,848	--	0,8623	--	0,954	--	0,612	--

**Resultados para amostras de solos obtidos no laboratório LQAA para o quarto ciclo de cultivo
(Continuação)**

PARÂMETRO	N	T5		T6		T7		T8	
		M	DP	M	DP	M	DP	M	DP
pH CaCl2	2	6,5415	0,0425	6,6475	0,0035	6,2715	0,1025	6,5615	0,055
pH água	2	7,4075	0,0035	7,33	0,027	7,075	0,0655	7,2875	0,0035
Matéria Orgânica %	2	1,698	0,0705	2,04	0	1,997	0,8585	1,304	0,8645
Acidez Potencial (Cmol/Kg)	2	3,7435	0,4345	3,565	0,265	4,049	0,4935	3,8195	0,203
Nitrato (mg/Kg)	2	4,822	1,32	0	0	9,333	0	0	0
Amonio (mg/Kg)	2	6,5335	0	14	0	35	0	7	0
Ca (g/Kg)	2	29,4	--	41,055	--	41,1	--	49,745	--
Mg (g/Kg)	2	5,58795	--	8,34	--	10,65	--	9,7	--
Fe (g/Kg)	2	0,9275	--	1,1305	--	1,2825	--	1,455	--
Cu (g/Kg)	2	0,01725	--	0,0294	--	0,0289	--	0,04815	--
Al (g/Kg)	2	0,0363	--	0,2117	--	0,37975	--	0,382	--
Mn (g/Kg)	2	0,59085	--	0,8185	--	1,367	--	1,4345	--
Zn (g/Kg)	2	0,1793	--	0,06835	--	0,21785	--	0,10405	--
P (g/Kg)	2	0,2344	--	0,182	--	0,2635	--	0,5713	--

APÊNDICE 4D – RESULTADOS DAS ANÁLISES EM PLANTAS (4º CICLO)

Resultados dos exames realizados para amostras de plantas (folhas) no início do quarto ciclo de cultivo pelo laboratório LQAA-UnB

PARÂMETRO	UNID.	Média(%)	DP
Fósforo	µg/mL	0,046	0
Enxofre	µg/mL	0,201	0,009
Cálcio	µg/mL	1,122	0,002
Cobre	µg/mL	6,495	3,524
Boro	µg/mL	279,65	17,395

Obs: Não foi possível a coleta no final deste ciclo, devido às deterioração por causa do excesso de chuva.

Resultados dos exames realizados para amostras de plantas (raízes) no quarto ciclo de cultivo pelo laboratório LQAA-UnB

Parâmetro	Tempo	Fósforo %		Enxofre %		Cobre (µg/ml)		Cálcio %		Boro (µg/ml)	
		M	DP	M	DP	M	DP	M	DP	M	DP
T1	Ti	0,03	0,00	0,03	0,01	1,3	2,3	ND	ND	80,5	0,0
	Tf	0,09	0,00	0,02	0,01	7,1	0,6	0,20	0,03	111,7	1,4
T2	Ti	0,03	0,00	0,03	0,01	1,3	2,3	ND	ND	80,5	0,0
	Tf	0,07	0,00	0,01	0,00	7,8	0,6	0,49	0,07	107,6	2,8
T3	Ti	0,03	0,00	0,03	0,01	1,3	2,3	ND	ND	80,5	0,0
	Tf	0,09	0,00	0,04	0,04	11,8	4,0	11,80	3,98	112,6	1,7
T4	Ti	0,03	0,00	0,03	0,01	1,3	2,3	ND	ND	80,5	0,0
	Tf	0,09	0,00	0,02	0,00	6,8	0,0	0,14	0,13	78,9	68,5
T5	Ti	0,03	0,00	0,03	0,01	1,3	2,3	ND	ND	80,5	0,0
	Tf	0,06	0,00	0,03	0,00	11,0	0,8	0,44	0,05	114,5	5,6
T6	Ti	0,03	0,00	0,03	0,01	1,3	2,3	ND	ND	80,5	0,0
	Tf	0,05	0,00	0,04	0,02	8,0	1,1	0,24	0,02	105,6	3,7
T7	Ti	0,03	0,00	0,03	0,01	1,3	2,3	ND	ND	80,5	0,0
	Tf	0,09	0,00	0,02	0,00	7,8	1,1	0,17	0,03	123,0	10,6
T8	Ti	0,03	0,00	0,03	0,01	1,3	2,3	ND	ND	80,5	0,0
	Tf	0,09	0,00	0,02	0,00	8,8	1,3	0,09	0,00	104,2	10,0

(*) Nota: Os códigos são de identificação das amostras (Ti = referente à coleta de 03 /10/2005; Tf = referente à coleta de 10 /01/2006). ND = não detectado

Exames biométricos nas plantas durante o quarto ciclo (médias aritméticas das medidas)

PARÂMETRO	Altura das Plantas	Número de Folhas	Diâmetro de caule	Número de botões	Número de Flores
UNIDADE DE MEDIDA	cm	Unidade	cm	unidade	unidade
Tratamento T1	1	31,7	47,0	0,62	2,5
	2	37,4	36,6	0,75	15,6
Tratamento T2	1	17,6	34,0	0,46	3,2
	2	25,6	28,3	0,48	4,4
Tratamento T3	1	27,5	46,9	0,64	5,8
	2	43,6	49,5	0,88	30,0
Tratamento T4	1	22,3	47,4	0,60	4,4
	2	39,0	36,5	0,78	16,2
Tratamento T5	1	19,6	30,7	0,49	3,4
	2	31,5	32,9	0,58	5,6
Tratamento T6	1	20,1	33,6	0,51	4,6
	2	31,2	28,2	0,64	7,8
Tratamento T7	1	23,9	50,0	0,65	7,0
	2	37,2	43,4	0,91	21,0
Tratamento T8	1	26,0	41,9	0,59	3,8
	2	42,8	45,4	0,88	24,8

APÊNDICE 5A – ÁGUA DE IRIGAÇÃO DO 5º CICLO.

Resultados obtidos para águas de irrigação no quinto ciclo de cultivo dos exames de metais e nutrientes realizados no Laboratório LQAA-UnB

ATRIBUTO MEDIDO	N	T1		T2		T3		T5	
		Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
Ca (mg/L)	3	1,223	2,119	LD		0,201	0,13	0,386	0,226
Fe (mg/L)	3	0,168	0,14	1,409	0,75	0,74	0,614	0,622	0,88
Cu (mg/L)	3	LD		LD		0,536	0	0,199	0,135

N = número de amostras; DP = desvio padrão; LD = limite de detecção do método

Resultados obtidos para águas de irrigação no quinto ciclo de cultivo dos exames de metais e nutrientes realizados no Laboratório LQAA-UnB (continuação)

ATRIBUTO MEDIDO	N	T6		T7		T8	
		Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
Ca (mg/L)	3	0,77	0,113	0,1	0,173	0,46	0,107
Fe (mg/L)	3	1,284	1,241	1,044	1,124	0,821	0,622
Cu (mg/L)	3	0,274	0,146	0,17	0,052	0,199	0

N = número de amostras; DP = desvio padrão; LD = limite de detecção do método

Resultados obtidos para águas de irrigação no quinto ciclo de cultivo dos exames realizados no Laboratório Bioanalítica

5º CICLO	Águas de Irrigação		Médias						
	Parâmetro	Unidade	T1	T2	T3	T5	T6	T7	T8
	Alcalinidade	mg/L	9,33	26,67	186,67	70,67	43,00	386,67	209,67
DBO	mg/L	16,67	16,67	62,67	34,00	20,00	70,33	178,00	
DQO	mg/L	35,33	29,67	119,00	62,67	38,33	119,00	257,00	
Cloretos	mg/L	5,60	10,13	40,53	49,87	45,87	71,73	78,93	
Coliformes Totais	NMP/100mL	2,70E+04	3,40E+03	1,22E+06	1,04E+04	1,27E+04	1,78E+05	1,81E+05	
<i>E. coli</i>	NMP/100mL	-	1,40E+03	8,80E+04	7,13E+03	7,70E+03	5,24E+04	7,13E+04	
Nitrato	mgN/L	0,08	0,10	0,33	1,30	0,56	2,09	0,79	
Nitrito	mgN/L	0,02	0,22	0,02	1,12	1,42	0,02	0,85	
Sólidos Totais	mg/L	44,0	52,0	330,0	231,0	253,0	560,0	422,0	
Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	8,0	39,0	262,0	158,0	86,0	478,0	385,0	
Sólidos Suspensos	mg/L	36,0	13,0	68,0	73,0	167,0	82,0	37,0	
Sólidos Totais Fixos	mg/L	36,0	32,0	126,0	40,0	28,0	170,0	212,0	
Sólidos Totais Voláteis	mg/L	8,0	20,0	136,0	118,0	-	-	-	

APÊNDICE 5B – ÁGUAS PERCOLADAS NO 5º CICLO.

Resultados obtidos para águas percoladas no quinto ciclo (laboratório Bioanalítica)

Parâmetro	Unidade	N	T1		T2		T3		T4	
			Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
Alcalinidade	mg/L	2	29,00	15,56	35,00	7,07	30,00	0,00	16,50	9,19
DBO	mg/L	2	6,00	1,41	6,00	4,24	7,50	0,71	10,50	4,95
DQO	mg/L	2	13,00	2,83	12,50	9,19	16,00	1,41	18,50	6,36
Cloretos	mg/L	2	14,80	9,62	3,60	1,70	5,60	0,00	5,60	1,13
Colif. Totais	NMP/100mL	2	34000	-	-	-	-	-	150	-
<i>E. coli</i>	NMP/100mL	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrato	mgN/L	2	<0,05	-	<0,07	-	<0,09	-	0,23	0,02
Nitrito	mgN/L	2	<0,02	-	<0,02	-	<0,02	-	<0,02	-
Sólidos Totais	mgN/L	2	40,00	-	56,00	-	26,00	-	16,00	-
S.T. Dissolvidos	mgN/L	2	74,00	-	42,00	-	48,00	-	57,00	-
S.T. Fixos	mgN/L	2	10,00	-	36,00	-	10,00	-	2,00	-
S.T. Voláteis	mgN/L	2	30,00	-	20,00	-	16,00	-	14,00	-

Nota: D.P. = desvio padrão, C.T. = Coliformes Termotolerantes, S.T. = Sólidos Totais.

Resultados obtidos para águas percoladas no quinto ciclo (laboratório Bioanalítica) continuação

Parâmetro	Unidade	N	T5		T6		T7		T8	
			Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
Alcalinidade	mg/L	2	30,00	0,00	29,00	1,41	24,00	8,49	30,00	0,00
DBO	mg/L	2	5,50	0,71	8,00	2,83	8,00	5,66	5,00	1,41
DQO	mg/L	2	13,00	4,24	15,50	6,36	16,50	10,61	9,50	2,12
Cloretos	mg/L	2	6,00	1,70	5,20	1,70	7,60	0,57	9,60	3,39
Colif. Totais	NMP/100mL	2	170	-	140	-	150	-	220	-
C.T.	NMP/100mL	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrato	mgN/L	2	0,39	0,06	0,52	0,18	0,28	-	<0,05	-
Nitrito	mgN/L	2	<0,02	-	<0,02	-	<0,02	-	<0,02	-
Sólidos Totais	mgN/L	2	46,00	-	50,00	-	62,00	-	38,00	-
S.T. Dissolvidos	mgN/L	2	63,00	-	70,00	-	423,00	-	70,00	-
S.T. Fixos	mgN/L	2	22,00	-	26,00	-	50,00	-	12,00	-
S.T. Voláteis	mgN/L	2	26,00	-	24,00	-	12,00	-	26,00	-

Nota: D.P. = desvio padrão, C.T. = Coliformes Termotolerantes, S.T. = Sólidos Totais.

Resultados obtidos para metais e nutrientes em águas percoladas no quinto ciclo (Laboratório LQAA-UnB)

Metais (mg/L)	N	PT1		PT2		PT3		PT4	
		Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
Ca	2	0,015	0,0025	0,018	0,002	0,0315	0,0025	0,0045	0,0035
Fe	2	0,248	0,0005	0,244	0,077	<LD	0,007	0,133	0,015
Cu	2	0,027	0,0065	0,019	0,0085	<LD	0	<LD	0,0015

Legenda: N = número de amostras; Média = média aritmética; D.P. = desvio padrão; LD = limite de detecção do método; ND = não detectado.

Metais e nutrientes em águas percoladas no quinto ciclo (Laboratório LQAA-UnB) continuação

Metais (mg/L)	N	PT5		PT6		PT7		PT8	
		Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
Ca	2	0,015	0,0025	0,018	0,002	0,0315	0,0025	0,0045	0,0035
Fe	2	0,248	0,0005	0,244	0,077	<LD	0,007	0,133	0,015
Cu	2	0,027	0,0065	0,019	0,0085	<LD	0	<LD	0,0015

Legenda: N = número de amostras; Média = média aritmética; D.P. = desvio padrão; LD = limite de detecção do método; ND = não detectado.

APÊNDICE 5C – ANÁLISE DE SOLOS NO 5º CICLO

Resultados das análises de granulometria e gradiente textural para amostras de solo no quinto ciclo – Laboratório: Bioanalítica

Parâmetro	Unidade	N	T1		T2		T3		T4	
			Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
Silte	%	3	13,67	10,12	13,27	9,98	9,87	7,23	13,67	10,12
Argila	%	3	31,67	1,53	33,67	3,06	28,00	14,73	43,67	0,58
Areia Total	%	3	48,33	1,53	46,33	4,16	56,33	15,14	35,33	1,15
Densidade do Solo	g/cm ³	3	0,76	0,26	0,81	0,37	0,74	0,26	0,70	0,17
Densidade de Partículas	g/cm ⁴	3	1,65	1,00	1,74	0,86	1,58	0,97	1,57	0,98
Micro e Macroporosidade	%	3	50,00	11,27	49,00	5,29	49,00	11,27	49,33	15,31

Resultados das análises de granulometria e gradiente textural para amostras de solo no quinto ciclo – Laboratório: Bioanalítica (continuação)

Parâmetro	Unidade	N	T5		T6		T7		T8	
			Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
Silte	%	3	8,83	6,37	12,97	9,60	13,27	9,93	17,20	12,65
Argila	%	3	24,00	1,00	36,33	1,53	40,67	11,15	55,00	2,65
Areia Total	%	3	62,00	2,00	44,33	1,53	38,67	13,32	20,33	1,53
Densidade do Solo	g/cm ³	3	0,72	0,21	0,74	0,23	0,70	0,19	0,77	0,29
Densidade de Partículas	g/cm ⁴	3	1,57	0,98	1,58	0,97	1,52	0,97	1,57	1,07
Micro e Macroporosidade	%	3	49,00	13,89	48,00	13,00	48,00	15,62	45,00	14,18

Resultados para amostras de solos obtidos no laboratório LQAA para o quinto ciclo de cultivo

PARÂMETRO	N	ST1		ST2		ST3		ST4	
		M	DP	M	DP	M	DP	M	DP
pH CaCl ₂	2	6,08	0,554	5,782	0,482	5,955	0,364	5,48	0,312
pH água	2	6,473	0,583	6,39	0,329	6,484	0,217	5,989	0,152
Matéria Orgânica %	2	0,296	0,068	0,47	0,387	0,405	0,066	0,809	0,606
Acidez Potencial (Cmol/Kg)	2	2,275	0,614	2,58	0,588	2,309	0,23	3,209	0,75
Nitrato (mg/Kg)	2	11,278	3,85	4,667	0	16,333	20,971	22,167	24,749
Amonio (mg/Kg)	2	5,25	2,475	7,389	7,15	2,333	0	3,5	1,65
Ca (g/Kg)	2	0,104	0,165	0,088	0,12	0,067	0,089	0,092	0,124
Mg (g/Kg)	2	0,066	0	0,059	0	0,055	0	0,08	0
Fe (g/Kg)	2	0,031	0,008	0,022	0,008	0,025	0,01	0,022	0,013
Cu (g/Kg)	2	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001
Al (g/Kg)	2	0,0363	--	0,2117	--	0,37975	--	0,382	--
Mn (g/Kg)	2	0,59085	--	0,8185	--	1,367	--	1,4345	--
Zn (g/Kg)	2	0,1793	--	0,06835	--	0,21785	--	0,10405	--
P (g/Kg)	2	0,2344	--	0,182	--	0,2635	--	0,5713	--

**Resultados para amostras de solos obtidos no laboratório LQAA para o quinto ciclo de cultivo –
continuação**

PARÂMETR O	N	ST5		ST6		ST7		ST8	
		M	DP	M	DP	M	DP	M	DP
pH CaCl2	2	5,945	0,242	5,998	0,289	5,74	0,52	6,136	0,112
pH água	2	6,493	0,139	6,558	0,194	6,499	0,279	6,852	0,112
Matéria Orgânica %	2	0,552	0,412	0,576	0,157	1,626	1,336	0,968	0,759
Acidez Potencial (Cmol/Kg)	2	2,275	0,408	1,901	0,445	2,971	0,695	1,969	0,386
Nitrato (mg/Kg)	2	22,04	16,76	95,41	116,7	16,59	14,37	28,78	9,17
Amonio (mg/Kg)	2	4,148	2,5	4,667	2,333	7	8,413	5,444	4,4
Ca (g/Kg)	2	0,055	0,068	0,088	0,116	0,064	0,104	0,096	0,125
Mg (g/Kg)	2	0,026	0,015	0,023	0,018	0,016	0,013	0,016	0,013
Fe (g/Kg)	2	0,001	0	0,001	0,001	0,001	0	0,001	0
Cu (g/Kg)	2	0,085	0,006	0,018	0,022	0,062	0,088	0,094	0,099
Al (g/Kg)	2	0,078	0,08	0,011	0,012	0,046	0,073	0,07	0,086
Mn (g/Kg)	2	0,05	0	0,059	0	0,069	0	0,069	0
Zn (g/Kg)	2	0,001	0	<LD	<LD	<LD	<LD	0,001	0
P (g/Kg)	2	0,009	0	0,008	0	0,01	0	0,01	0

APÊNDICE 5D – RESULTADOS DAS ANÁLISES EM PLANTAS (5º CICLO)

Resultados dos exames biométricos realizados nas plantas durante o quinto ciclo (médias aritméticas das medidas)

PARÂMETRO	Altura das Plantas	Número de Folhas	Diâmetro de caule	Número de botões	Número de Flores	
UNIDADE DE MEDIDA	cm	unidade	cm	unidade	unidade	
<i>Tratamento T1</i>	<i>1</i>	7,6	30,64	0,484	0,96	0
	<i>2</i>	24,68	37,64	0,6188	4,2	0,92
	<i>3</i>	29,2	48,6	0,7024	5,88	0,4
<i>Tratamento T2</i>	<i>1</i>	4,58	12,64	0,264	0	0
	<i>2</i>	10	19,44	0,3368	0,76	0,04
	<i>3</i>	16,96	27,44	0,3664	1,2	0,32
<i>Tratamento T3</i>	<i>1</i>	5,14	15,76	0,328	0,32	0
	<i>2</i>	14,3	27,2	0,42	1,76	0,32
	<i>3</i>	24,12	41,84	0,5484	3,76	1,16
<i>Tratamento T4</i>	<i>1</i>	5,4	15,16	0,3276	0,4	0
	<i>2</i>	15,02	28,68	0,4292	1,6	0,32
	<i>3</i>	23,64	39,16	0,516	3,32	1
<i>Tratamento T5</i>	<i>1</i>	4,98	12,16	0,284	0,04	0
	<i>2</i>	9,88	20,96	0,3532	0,88	0,08
	<i>3</i>	18,56	27,92	0,4176	1,88	0,76
<i>Tratamento T6</i>	<i>1</i>	4,48	13,04	0,2974	0,04	0
	<i>2</i>	11,36	18,44	0,3512	0,76	0,16
	<i>3</i>	20,84	27,56	0,412	2,12	0,52
<i>Tratamento T7</i>	<i>1</i>	5,68	17	0,3192	0,48	0
	<i>2</i>	14,92	29,2	0,424	1,28	0,6
	<i>3</i>	23	37,72	0,5036	3,96	1,28
<i>Tratamento T8</i>	<i>1</i>	5,34	15,08	0,3152	0,36	0
	<i>2</i>	13,26	27,88	0,4184	1,28	0,28
	<i>3</i>	24,24	34,88	0,5036	2,52	1,2

APÊNDICE 6 – PARÂMETROS DE ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO E PADRÕES DE REÚSO

Recomendações de qualidade da água de irrigação considerando parâmetros clássicos da água de irrigação

Potencial Problema na Irrigação	Unid.	Grau de Restrição ao uso			
		Nenhum	Fraco à moderado	Severo	
Salinidade (afeta a disponibilidade da água para a cultura)					
CE	dS/m	< 0,7	0,7	3	> 3
ou SDT	mg/L	< 450	450	2000	> 2000
Infiltração (afeta a taxa de infiltração da água no solo. Estimado usando a CE e o RAS juntos)					
RAS = 0-3	CE = dS/m	> 0,7	0,7	0,2	< 0,2
= 3-6	= dS/m	> 1,2	1,2	0,3	< 0,3
= 6-12	= dS/m	> 1,9	1,9	0,5	< 0,5
= 12-20	= dS/m	> 2,9	2,9	1,3	< 1,3
= 20-40	= dS/m	> 5	5	2,9	< 2,9
Toxicidade à íons específicos					
Sódio (Na)					
irrigação por superfície	RAS	< 3	3	9	> 9
irrigação por aspersão	me/L	< 3	> 3		
Cloreto					
irrigação por superfície	me/L	< 4	4	10	> 10
irrigação por aspersão	me/L	< 3	> 3		
Boro (B)	mg/L	< 0,7	0,7	3	> 3
Efeitos Misturados					
Nitrogênio (NO₃ - N)	mg/L	< 5	5	30	> 30
Bicarbonato (HCO₃)					
<i>(somente em irrigação por aspersão)</i>	me/L	< 1,5	1,5	8,5	> 8,5
pH	Faixa Normal:			6,5	- 8,4

Ayers e Westcot (1985)

Concentração máxima recomendada para elementos traços na água de irrigação

Elemento	Concentração máxima recomendada (mg/L)	Observação
Alumínio	5	Pode transformar os solos ácidos (pH < 5.5) em improdutivos. Em solos mais alcalinos com pH > 7, precipita o íon e elimina a fitotoxicidade.
Arsênico	0,1	O nível tóxico varia extensamente, variando de 12 mg/L para capim Sudão e 0,05 mg/L para o arroz.
Berílio	0,1	O nível tóxico às plantas varia extensamente, variando de 5 mg/L para couve a 0,5 mg/L para feijões.
Cádmio	0,01	Tóxico aos feijões, às beterrabas e aos nabos nas concentrações tão baixas quanto 0,1 mg/L em soluções nutrientes. Os limites conservadores recomendaram devido a seu potencial para a acumulação nas plantas e nos solos às concentrações que podem ser prejudiciais aos seres humanos.
Cobalto	0,05	Níveis de 0,1 mg/L são suficientes para causar toxicidade em tomateiros em solução nutritiva. A correção do pH do solo torna o elemento indisponível às plantas.
Cromo	0,1	Reconhecido não geralmente como um elemento essencial do crescimento. Os limites conservadores recomendaram devido à falta do conhecimento da sua toxicidade às plantas
Cobre	0,2	Entre 0,1 e 1 mg/L, em soluções nutritivas, promove o aparecimento de sintomas de toxicidade.
Flúor	1	Torna-se não disponível em solos neutros e alcalinos.
Ferro	5	Não tóxico às plantas em solos aerados, mas pode contribuir à perda da disponibilidade do P e do Mo essenciais à plantas.
Lítio	2,5	Tolerado por a maioria de colheitas até 5 mg/L; móvel no solo. Tóxico aos cítricos nas concentrações baixas (mg/L <0,075). Efeitos similares ao boro.
Manganês	0,2	Tóxico a um número de colheitas de alguns décimos a uns poucos mg/L, mas geralmente somente em solos ácidos.
Molibdênio	0,01	Não tóxico às plantas em concentrações normais no solo e na água. Pode ser tóxico aos animais domésticos no caso de pastagens em solos com concentrações elevadas do molibdênio disponível.
Níquel	0,2	Tóxico a um número de plantas em 0,5 mg/L a 1,0 mg/L; toxicidade reduzida no pH neutro ou alcalino.
Paládio	5	Pode inibir o crescimento da celular da planta em concentrações muito elevadas.
Selênio	0,02	Tóxico às plantas em concentrações tão baixas quanto 0,025 mg/L e tóxicas aos animais domésticos no caso de pastagens em solos com níveis relativamente elevados do selênio adicionado. Um elemento essencial aos animais mas em concentrações muito baixas.
Titânio	-----	Excluído eficazmente por plantas; tolerância desconhecida.
Vanádio	0,1	Tóxico a muitas plantas em concentrações relativamente baixas.
Zinco	2	Níveis tóxicos variam amplamente. Toxicidade reduzida em pH > 6,0 e em solos de textura fina.

Ayers e Westcot (1985)

Qualidade microbiológica pela OMS para o uso de águas residuárias na agricultura¹

Categoria	Tipo de irrigação e cultura	Grupos de risco	Nematóides Intestinais (ovos/L)²		<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)³		Processo de tratamento
A	Culturas a serem consumidas cruas, campos de esporte, parques e jardins ⁴	Agricultores, consumidores, público em geral	≤	1	≤ ⁴	1000	Lagoas de estabilização em série, ou tratamento equivalente em termos de remoção de patogênicos Lagoas de estabilização com 8-10 dias de tempo de retenção ou remoção equivalente de helmintos e <i>E. coli</i>
B	Culturas processadas industrialmente, cereais, forragens, pastagens, árvores ⁵	Agricultores	≤	1	Sem recomendação		Pré-tratamento de acordo com o método de irrigação, no mínimo sedimentação primária
C	Irrigação localizada de plantas da categoria B na ausência de riscos para os agricultores e público e geral	Não aplicável		Não aplicável		Não aplicável	

OMS (1989)

(1) Em casos específicos as presentes recomendações devem ser adaptadas à fatores locais de ordem ambiental, sócio-cultural e epidemiológica.

(2) *Ascaris, Trichuris, Necator e Ancylostoma*: média aritmética durante o período de irrigação.

(3) Média geométrica durante o período de irrigação.

(4) Para parques e jardins onde o acesso de público é permitido: 200 *E. coli*/100mL

(5) No caso de árvores frutíferas, a irrigação deve terminar duas semanas antes da colheita e nenhum fruto deve ser apanhado do chão. Irrigação por aspersão não deve ser empregada.

Parâmetros de projeto para irrigação paisagística na Califórnia

Item	Unidade	Valor
Vazão de projeto	gal/d	20000
Ano de início de operação		1992
DBO afluente	mg/L	600
DBO efluente	mg/L	5
SST afluente	mg/L	600
SST efluente	mg/L	5
Nitrogênio Total afluente	mg/L	150
Nitrogênio Total efluente	mg/L	4
Nitrogênio Total limite	mg/L	10
Turbidez efluente	NTU	0,15
Turbidez limite	NTU	2
Coliformes Totais efluente	NMP/100 mL	< 2
Coliformes Totais limite	NMP/100 mL	< 2

Jordan e Senthilnathan (1996) *apud* Crites e Tchobanoglous (1998)

Critérios de qualidade recomendados pela USEPA para a utilização de águas residuárias na agricultura

Tipo de irrigação e cultura	Processo de Tratamento	Qualidade do Efluente		
Culturas alimentícias não processadas comercialmente ⁽¹⁾ Irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura, incluindo culturas a serem consumidas cruas	secundário+ filtração+ desinfecção	DBO≤	10	mg/L
		Turbidez≤	2	UNT ⁽²⁾
		Cloro Residual≥	1	mg/L ⁽³⁾
		<i>E. coli</i>	ND	
		Organismos Patogênicos	ND	
Culturas alimentícias processadas comercialmente Irrigação superficial de pomares e vinhedos	secundário+ desinfecção ⁽⁴⁾	DBO≤	30	mg/L
		SS≤	30	mg/L
		Cloro Residual≥	1	mg/L ⁽³⁾
		<i>E. coli</i>	200	NMP/100mL ⁽⁴⁾
Culturas não alimentícias Pastagens para rebanhos de leite ⁽⁵⁾ , forrageiras, cereais, fibras e grãos	secundário+ desinfecção	DBO≤	30	mg/L
		SS≤	30	mg/L
		Cloro Residual≥	1	mg/L
		<i>E. coli</i>	200	NMP/100mL
Irrigação, campos de esporte, parques jardins e cemitérios	secundário+ filtração+ desinfecção	DBO≤	10	mg/L
		Turbidez≤	2	UNT ⁽²⁾
		Cloro Residual≥	1	mg/L
		<i>E. coli</i>	ND	
		Organismos Patogênicos	ND	

USEPA (1992)

(1) Culturas alimentícias processadas comercialmente são aquelas as quais recebem processamento físico ou químico, prévio à comercialização, suficiente para a destruição de patógenos

(2) Turbidez pré-desinfecção, média diária, nenhuma amostra > 5 UNT

(3) Cloro residual livre após tempo de contato mínimo de trinta minutos; residuais ou tempo de contato mais elevados podem ser necessários para a garantia de inativação de vírus e parasitas.

(4) Média móvel de sete dias; nenhuma amostra > 800 *E. coli*/100mL; lagoas de estabilização podem alcançar o critério de qualidade sem a necessidade de desinfecção.

(5) O consumo de culturas irrigadas não deve ser permitida antes de 15 dias após a irrigação; desinfecção mais rigorosa (≤14 EC/100mL) se o período de 15 dias não for observado.

Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea no Estado de São Paulo

Substância	CAS Nº	Solo (mg.kg ⁻¹ de peso seco) ⁽¹⁾					Água Subterrânea
		Referência de qualidade	Prevenção	Intervenção			Intervenção
				Agrícola APM _{Max}	Residencial	Industrial	
Inorgânicos							
Alumínio	7429-90-5	-	-	-	-	-	200
Antimônio	7440-36-0	<0,5	2	5	10	25	5
Arsênio	7440-38-2	3,5	15	35	55	150	10
Bário	7440-39-3	75	150	300	500	750	700
Boro	7440-42-8	-	-	-	-	-	500
Cádmio	7440-48-4	<0,5	1,3	3	8	20	5
Chumbo	7440-43-9	17	72	180	300	900	10
Cobalto	7439-92-1	13	25	35	65	90	5
Cobre	7440-50-8	35	60	200	400	600	2.000
Cromo	7440-47-3	40	75	150	300	400	50
Ferro	7439-89-6	-	-	-	-	-	300
Manganês	7439-96-5	-	-	-	-	-	400
Mercúrio	7439-97-6	0,05	0,5	12	36	70	1
Molibdênio	7439-98-7	<4	30	50	100	120	70
Níquel	7440-02-0	13	30	70	100	130	20
Nitrato (como N)	797-55-08	-	-	-	-	-	10.000
Prata	7440-22-4	0,25	2	25	50	100	50
Selênio	7782-49-2	0,25	5	-	-	-	10
Vanádio	7440-62-2	275	-	-	-	-	-
Zinco	7440-66-6	60	300	450	1000	2000	5.000
Hidrocarbonetos aromáticos voláteis							
Benzeno	71-43-2	na	0,03	0,06	0,08	0,15	5
Estireno	100-42-5	na	0,2	15	35	80	20
Etilbenzeno	100-41-4	na	6,2	35	40	95	300
Tolueno	108-88-3	na	0,14	30	30	75	700
Xilenos	1330-20-7	na	0,13	25	30	70	500
Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos⁽²⁾							
Antraceno	120-12-7	na	0,039	-	-	-	-
Benzo(a)antraceno	56-55-3	na	0,025	9	20	65	1,75
Benzo(k)fluoranteno	207-06-9	na	0,38	-	-	-	-
Benzo(g,h,i)perileno	191-24-2	na	0,57	-	-	-	-
Benzo(a)pireno	50-32-8	na	0,052	0,4	1,5	3,5	0,7
Criseno	218-01-9	na	8,1	-	-	-	-
Dibenzo(a,h)antraceno	53-70-3	na	0,08	0,15	0,6	1,3	0,18
Fenantreno	85-01-8	na	3,3	15	40	95	140
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	193-39-5	na	0,031	2	25	130	0,17
Naftaleno	91-20-3	na	0,12	30	60	90	140
Benzenos clorados⁽²⁾							
Clorobenzeno (Mono)	108-90-7	na	0,41	40	45	120	700
1,2-Diclorobenzeno	95-50-1	na	0,73	150	200	400	1.000
1,3-Diclorobenzeno	541-73-1	na	0,39	-	-	-	-
1,4-Diclorobenzeno	106-46-7	na	0,39	50	70	150	300
1,2,3-Triclorobenzeno	87-61-6	na	0,01	5	15	35	(a)
1,2,4-Triclorobenzeno	120-82-1	na	0,011	7	20	40	(a)
1,3,5-Triclorobenzeno	108-70-3	na	0,5	-	-	-	(a)
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	634-66-2	na	0,16	-	-	-	-
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	634-90-2	na	0,0065	-	-	-	-
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	95-94-3	na	0,01	-	-	-	-
Hexaclorobenzeno	118-74-1	na	0,003 ⁽³⁾	0,005	0,1	1	1
Etenos clorados							
1,1-Dicloroetano	75-34-2	na	-	8,5	20	25	280
1,2-Dicloroetano	107-06-2	na	0,075	0,15	0,25	0,50	10
1,1,1-Tricloroetano	71-55-6	na	-	11	11	25	280
Etenos clorados							
Cloro de vinila	75-01-4	na	0,003	0,005	0,003	0,008	5

CETESB (2005).

**Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea no Estado de São Paulo
(continuação)**

1,1-Dicloroetano	75-35-4	na	-	5	3	8	30
1,2-Dicloroetano - cis	156-59-2	na	-	1,5	2,5	4	(b)
1,2-Dicloroetano - trans	156-60-5	na	-	4	8	11	(b)
Tricloroetano - TCE	79-01-6	na	0,0078	7	7	22	70
Tetracloroetano - PCE	127-18-4	na	0,054	4	5	13	40
Metanos clorados							
Cloro de Metileno	75-09-2	na	0,018	4,5	9	15	20
Clorofórmio	67-66-3	na	1,75	3,5	5	8,5	200
Tetracloro de carbono	56-23-5	na	0,17	0,5	0,7	1,3	2
Fenóis clorados							
2-Clorofenol (o)	95-57-8	na	0,055	0,5	1,5	2	10,5
2,4-Diclorofenol	120-83-2	na	0,031	1,5	4	6	10,5
3,4-Diclorofenol	95-77-2	na	0,051	1	3	6	10,5
2,4,5-Triclorofenol	95-95-4	na	0,11	-	-	-	10,5
2,4,6-Triclorofenol	88-06-2	na	1,5	3	10	20	200
2,3,4,5-Tetraclorofenol	4901-51-3	na	0,092	7	25	50	10,5
2,3,4,6-Tetraclorofenol	58-90-2	na	0,011	1	3,5	7,5	10,5
Pentaclorofenol (PCP)	87-86-5	na	0,16	0,35	1,3	3	9
Fenóis não clorados							
Cresóis		na	0,16	6	14	19	175
Fenol	108-95-2	na	0,20	5	10	15	140
Esteres ftálicos							
Dietilxil ftalato (DEHP)	117-81-7	na	0,6	1,2	4	10	8
Dimetil ftalato	131-11-3	na	0,25	0,5	1,6	3	14
Di-n-butil ftalato	84-74-2	na	0,7	-	-	-	-
Pesticidas organoclorados							
Aldrin ⁽²⁾	309-00-2	na	0,0015 ⁽³⁾	0,003	0,01	0,03	(d)
Dieldrin ⁽²⁾	60-57-1	na	0,043 ⁽³⁾	0,2	0,6	1,3	(d)
Endrin	72-20-8	na	0,001 ⁽³⁾	0,4	1,5	2,5	0,6
DDT ⁽²⁾	50-29-3	na	0,010 ⁽³⁾	0,55	2	5	(c)
DDD ⁽²⁾	72-54-8	na	0,013	0,8	3	7	(c)
DDE ⁽²⁾	72-55-9	na	0,021	0,3	1	3	(c)
HCH beta	319-85-7	na	0,011	0,03	0,1	5	0,07
HCH - gama (Lindano)	58-89-9	na	0,001	0,02	0,07	1,5	2
PCBs							
total		na	0,0003 ⁽³⁾	0,01	0,03	0,12	3,5

(1) - Procedimentos analíticos devem seguir SW-846, com metodologias de extração de inorgânicos 3050b ou 3051 ou procedimento equivalente.

(2) - Para avaliação de risco, deverá ser utilizada a abordagem de unidade toxicológica por grupo de substâncias.

(3) - Substância banida pela Convenção de Estocolmo, ratificada pelo Decreto Legislativo n° 204, de 07-05-2004, sem permissão de novos aportes no solo.

na - não se aplica para substâncias orgânicas.

(a) somatória para triclorobenzenos = 20 µg.L⁻¹.

(b) somatória para 1,2 dicloroetenos; = 50 µg.L⁻¹.

(c) somatória para DDT-DDD-DDE = 2 µg.L⁻¹.

(d) somatória para Aldrin e Dieldrin = 0,03 µg.L⁻¹.

CETESB (2005).