

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA RESIDUÁRIA E DO LODO DE
ESGOTO COMPOSTADO NAS PROPRIEDADES QUÍMICAS E FÍSICAS
DE SOLO CULTIVADOS COM LARANJEIRAS**

RICARDO ALEXANDRE LAMBERT

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp – Campos de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor em
Agronomia/Irrigação e Drenagem.

BOTUCATU - SP
JULHO - 2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA RESIDUÁRIA E DO LODO DE
ESGOTO COMPOSTADO NAS PROPRIEDADES QUÍMICAS E FÍSICAS
DE SOLO CULTIVADOS COM LARANJEIRAS**

RICARDO ALEXANDRE LAMBERT

Orientador: Prof. Dr. Helio Grassi Filho

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp – Campos de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor em
Agronomia/Irrigação e Drenagem.

BOTUCATU - SP
JULHO - 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO
DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA
- LAGEADO - BOTUCATU (SP)

L222e Lambert, Ricardo Alexandre, 1981-
Eficiência do uso da água residuária e do lodo de esgoto
compostado nas propriedades químicas e físicas de solo cul-
tivados com laranjeiras / Ricardo Alexandre Lambert. - Bo-
tucatu : [s.n.], 2013
xxi, 92 f. : ils. color., tabs., fots. color.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Fa-
culdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2013
Orientador: Helio Grassi Filho
Inclui bibliografia

1. Lodo de esgoto. 2. Água - Reutilização. 3. Adubação
orgânica. 4. Laranja - Irrigação. 5. Solo - Umidade. I.
Grassi Filho, Helio. II. Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade
de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA RESIDUÁRIA E DO LODO DE
ESGOTO COMPOSTADO NAS PROPRIEDADES QUÍMICAS E
FÍSICAS DE SOLO CULTIVADOS COM LARANJEIRAS"

ALUNO: RICARDO ALEXANDRE LAMBERT

ORIENTADOR: PROF. DR. HÉLIO GRASSI FILHO

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. HÉLIO GRASSI FILHO



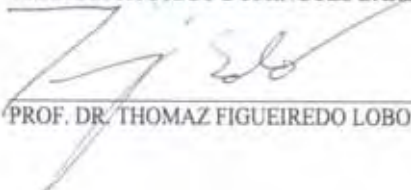
PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD



PROF. DR. MARIA HELENA MORAES



PROF. DR. RODRIGO DOMINGUES BARBOSA



PROF. DR. THOMAZ FIGUEIREDO LOBO

Data da Realização: 01 de julho de 2013.

DEDICO

Aos meus pais, José Adante e Vilma e
minha irmã Denise, que sempre acreditaram
em mim, e não mediram esforços para que
eu chegasse até aqui.

À minha tia Silvia, que sempre me
incentivou a estudar, e sem esse apoio não
teria tomado este caminho.

À minha esposa Andréia, pelo constante
apoio e cumplicidade nesses anos de
estudo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sua presença constante;

Ao professor Dr. Helio Grassi Filho, pela orientação e amizade, contribuindo para meu crescimento profissional e pessoal;

Aos professores da Faculdade de Ciências Agronômicas, em especial: João Carlos Cury Saad, Maria Helena Moraes, Antônio Evaldo Klar, João Luíz Zocoler e Célia Regina Lopes Zimback;

À Faculdade de Ciências Agronômicas – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, pela oportunidade da realização do curso, especialmente ao Departamento de Recursos Naturais/Ciência do solo;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos no programa de doutorado;

Aos funcionários da Faculdade de Ciências Agronômicas, em especial: Antônio e Pedrinho pelo apoio e amizade durante esses anos;

A todos os amigos do curso de pós-graduação, pelo convívio e principalmente pela grande amizade, em especial: Reinaldo, Patrícia Costa Silva, Diego, Wilson, Thomaz, André, Helio, Ramon, Cícero, Leandro, Júlio, Letícia.

E a todos que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	XVIII
ABSTRACT.....	XX
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	03
2.1 Utilização do lodo de esgoto para fins agrícolas.....	03
2.2 Caracterização do lodo de esgoto.....	03
2.3 Parâmetros químicos e físicos do solo em função da aplicação do lodo de esgoto.....	05
2.4 Utilização da água residuária na agricultura.....	08
2.5 Utilização agrícola de esgotos sanitários em irrigação.....	11
2.6 Fertirrigação com esgoto sanitário.....	12
2.7 Manejo da irrigação.....	14
2.7.1 Manejo da irrigação visando o desenvolvimento de plantas cítricas.....	15
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1 Área experimental.....	16
3.2 Caracterização do solo.....	16
3.2.1 Neossolo.....	16
3.2.2 Latossolo.....	17
3.2.3 Nitossolo.....	17
3.3 Origem do lodo de esgoto e da água residuária.....	17
3.4 Delineamento experimental e caracterização dos tratamentos.....	18
3.5 Implantação do pomar.....	19
3.5.1 Adubação de plantio.....	20
3.5.2 Adubação de cobertura.....	20
3.6 Análise química e aplicação do lodo de esgoto.....	22
3.7 Sistema e Manejo de Irrigação.....	24
3.8 Parâmetros avaliados.....	25
3.8.1 Análise química do solo.....	25
3.8.2 Análise física do solo.....	25
3.9 Análise estatística.....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1 Física do solo.....	27

	Página
4.1.1 Densidade do Solo.....	27
4.1.2 Densidade de Partículas.....	29
4.1.3 Argila Natural do Solo.....	31
4.1.4 Condutividade hidráulica do solo saturado.....	36
4.1.5 Estabilidade de agregados via seco.....	42
4.1.6 Retenção de água no solo.....	48
4.2 Química do solo.....	54
4.2.1 pH.....	54
4.2.2 Matéria orgânica (M.O.).....	55
4.2.3 Fósforo (P).....	57
4.2.4 Potássio (K).....	61
4.2.5 Cálcio (Ca).....	63
4.2.6 Magnésio (Mg).....	65
4.2.7 Enxofre (S).....	67
4.2.8 Soma de bases.....	70
4.2.9 CTC.....	71
4.2.10 Saturação por bases (V%).....	72
4.2.11 Boro (B).....	74
4.2.12 Cobre (Cu).....	76
4.2.13 Ferro (Fe).....	77
4.2.14 Manganês (Mn).....	78
4.2.15 Zinco (Zn).....	80
5 CONCLUSÕES.....	83
6 REFERÊNCIAS.....	84

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Reservatórios utilizados para armazenamento da água utilizada. À esquerda, duas caixas d'água (1000 L cada) para armazenamento da água residuária e a direita, duas caixas d'água (1000 L cada) para armazenamento da água tratada.	18
Figura 2	Disposição dos tratamentos na área experimental.	19
Figura 3	Vista parcial do experimento (Plantas de laranja “Valência” (<i>Citrus sinensis</i> Osbeck) enxertadas em plantas de citrumelo Swingle (<i>Citrus paradisi</i> Mcf. x <i>Poncirus trifoliata</i> Raf.).	19
Figura 4	Emissor autocompensante com vazão de 4 L h ⁻¹ (1 emissor por planta).	21

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1	Descrição dos tratamentos. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013. 18
Tabela 2	Resultados médios da análise química do solo da área experimental por tratamento no ano de 2009, na camada de 0 - 20cm 21
Tabela 3	Resultados médios da análise química do solo da área experimental por tratamento no ano de 2010, na camada de 0-20cm 22
Tabela 4	Análise química do lodo de esgoto (LE) utilizado no experimento 22
Tabela 5	Resultado médio da análise química da água residuária. 24
Tabela 6	Resumo da análise de variância da densidade do solo (g cm^{-3}). FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013. 27
Tabela 7	Valores médios densidade do solo (g cm^{-3}) para os três tipos de solo. 28
Tabela 8	Valores médios densidade do solo (g cm^{-3}) para os tipos de adubação. 28
Tabela 9	Valores médios para densidade do solo (g cm^{-3}) na interação solo x irrigação, para camada de 0 a 10 cm. 29
Tabela 10	Resumo da análise de variância da densidade de partículas (g cm^{-3}). FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013 30
Tabela 11	Valores médios densidade de partículas (g cm^{-3}) para os três tipos de solo 30
Tabela 12	Valores médios para densidade de partículas (g cm^{-3}) na interação adubação x irrigação, para camada de 0 a 10 cm 31
Tabela 13	Resumo da análise de variância da argila natural do solo (g kg^{-1}). FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013 32
Tabela 14	Valores médios da argila natural do solo (g kg^{-1}) para os três tipos de solo 32
Tabela 15	Valores médios da argila natural do solo (g kg^{-1}) para os tipos de adubação 33
Tabela 16	Valores médios da argila natural do solo (g kg^{-1}) para os tipos de irrigação 33
Tabela 17	Valores médios para argila natural (g kg^{-1}) na interação solo x adubação, para camada de 0 a 10 cm 34

		Página
Tabela 18	Valores médios para argila natural (g kg^{-1}) na interação solo x adubação, para camada de 11 a 20 cm	34
Tabela 19	Valores médios para argila natural do solo (g kg^{-1}) na interação solo x irrigação, para camada de 11 a 20 cm	35
Tabela 20	Valores médios para argila natural (g kg^{-1}), na interação solo x adubação x irrigação, para camada de 0 a 10 cm	35
Tabela 21	Valores médios para argila natural (g kg^{-1}), na interação solo x adubação x irrigação, para camada de 11 a 20 cm	36
Tabela 22	Resumo da análise de variância da condutividade hidráulica do solo (cm h^{-1}). FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013	37
Tabela 23	Valores médios da condutividade hidráulica do solo (cm h^{-1}) para os três tipos de solo	37
Tabela 24	Valores médios da condutividade hidráulica do solo (cm h^{-1}) para os tipos de adubação	38
Tabela 25	Valores médios da condutividade hidráulica do solo (cm h^{-1}) para os tipos de irrigação	38
Tabela 26	Valores médios para condutividade hidráulica (cm h^{-1}) na interação solo x adubação, para camada de 0 a 10 cm	39
Tabela 27	Valores médios para condutividade hidráulica (cm h^{-1}) na interação solo x adubação, para camada de 11 a 20 cm	39
Tabela 28	Valores médios para condutividade hidráulica do solo (cm h^{-1}) na interação solo x irrigação, para camada de 0 a 10 cm	40
Tabela 29	Valores médios para condutividade hidráulica do solo (cm h^{-1}) na interação solo x irrigação, para camada de 11 a 20 cm	40
Tabela 30	Valores médios para condutividade hidráulica (cm h^{-1}) na interação adubação x irrigação, para camada de 0 a 10 cm	41
Tabela 31	Valores médios para condutividade hidráulica (cm h^{-1}) na interação adubação x irrigação, para camada de 11 a 20 cm	41
Tabela 32	Valores médios para condutividade hidráulica (cm h^{-1}), na interação solo x adubação x irrigação, para camada de 0 a 10 cm	42
Tabela 33	Valores médios para condutividade hidráulica (cm h^{-1}), na interação solo x adubação x irrigação, para camada de 11 a 20 cm	42

	Página
Tabela 34	Resumo da análise de variância da estabilidade de agregados via seco (%), na camada de 0 – 10 cm. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013
	43
Tabela 35	Valores médios da estabilidade de agregados via seco (%), na camada de 0 – 10 cm. Para os três tipos de solo
	44
Tabela 36	Valores médios para estabilidade de agregados via seca (%), peneira de 4,0-2,0 mm na interação adubação x irrigação, para camada de 0 a 10 cm
	44
Tabela 37	Valores médios para estabilidade de agregados via seca (%), peneira de 1,0-0,5 mm na interação adubação x irrigação, para camada de 0 a 10 cm
	45
Tabela 38	Valores médios para estabilidade de agregados via seca (%), peneira de 1,0-0,5 mm, na interação solo x adubação x irrigação, para camada de 0 a 10 cm
	45
Tabela 39	Valores médios para estabilidade de agregados via seca (%), peneira de 0,5-0,25 mm na interação adubação x irrigação, para camada de 0 a 10 cm
	46
Tabela 40	Valores médios para estabilidade de agregados via seca (%), peneira de <0,25 mm na interação solo x irrigação, para camada de 0 a 10 cm
	46
Tabela 41	Resumo da análise de variância da estabilidade de agregados via seco (%), na camada de 11 – 20 cm. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013
	47
Tabela 42	Valores médios da estabilidade de agregados via seco (%), na camada de 11 – 20 cm para os três tipos de solo
	47
Tabela 43	Valores médios para estabilidade de agregados via seca (%), peneira de 1,0-0,5 mm na interação adubação x irrigação, para camada de 11 a 20 cm
	47
Tabela 44	Valores médios para estabilidade de agregados via seca (%), peneira de 0,5-0,25 mm na interação adubação x irrigação, para camada de 11 a 20 cm
	48
Tabela 45	Valores médios para estabilidade de agregados via seca (%), peneira de <0,25 mm na interação adubação x irrigação, para camada de 11 a 20 cm
	48
Tabela 46	Resumo da análise de variância da retenção de água no solo ($\text{dm}^3 \text{ dm}^{-3}$), na camada de 0 – 10 cm. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013
	49
Tabela 47	Valores médios da retenção de água no solo ($\text{dm}^3 \text{ dm}^{-3}$), na camada de 0 – 10 cm para os três tipos de solo
	49

		Página
Tabela 48	Valores médios da retenção de água no solo ($\text{dm}^3 \text{ dm}^{-3}$), na camada de 0 – 10 cm para adubação.	50
Tabela 49	Valores médios para retenção de água no solo ($\text{dm}^3 \text{ dm}^{-3}$), na interação solo x adubação na tensão de 0,1 atm, para camada de 0 a 10 cm.	51
Tabela 50	Valores médios para retenção de água no solo ($\text{dm}^3 \text{ dm}^{-3}$), na interação solo x adubação na tensão de 0,33 atm, para camada de 0 a 10 cm.	51
Tabela 51	Valores médios para retenção de água no solo ($\text{dm}^3 \text{ dm}^{-3}$), na interação solo x irrigação para solo saturado, para camada de 0 a 10 cm.	52
Tabela 52	Valores médios para porosidade total do solo ($\text{dm}^3 \text{ dm}^{-3}$), na interação solo x adubação x irrigação em solo saturado, para camada de 0 a 10 cm.	52
Tabela 53	Resumo da análise de variância da retenção de água no solo ($\text{dm}^3 \text{ dm}^{-3}$), na camada de 11 – 20 cm. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013	53
Tabela 54	Valores médios da retenção de água no solo ($\text{dm}^3 \text{ dm}^{-3}$), na camada de 11 – 20 cm para os três tipos de solo.	53
Tabela 55	Valores médios da retenção de água no solo ($\text{dm}^3 \text{ dm}^{-3}$), na camada de 11 – 20 cm para adubação.	54
Tabela 56	Resumo da análise de variância para os valores de pH do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013.	54
Tabela 57	Valores médios de pH do solo na interação solo x irrigação, para a primeira coleta de solo (Botucatu-SP, abril de 2010)	55
Tabela 58	Valores médios de pH do solo na interação solo x adubação, para a terceira coleta de solo (Botucatu, abril de 2011)	55
Tabela 59	Resumo da análise de variância para os valores de matéria orgânica do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013	56
Tabela 60	Valores médios dos teores de matéria orgânica do solo na interação adubação x irrigação, para a primeira coleta de solo (Botucatu, abril de 2010)	57
Tabela 61	Resumo da análise de variância para os teores de fósforo do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013	57
Tabela 62	Valores médios dos teores de fósforo do solo na interação solo x adubação, para a segunda coleta de solo (Botucatu, outubro de 2010)	58

	Página
Tabela 63 Valores médios dos teores de fósforo do solo na interação solo x irrigação, para a segunda coleta de solo (Botucatu, outubro de 2010)	59
Tabela 64 Valores médios dos teores de fósforo do solo na interação solo x adubação, para a terceira coleta de solo (Botucatu, abril de 2011)	59
Tabela 65 Valores médios dos teores de fósforo do solo na interação solo x adubação, para a terceira coleta de solo (Botucatu, abril de 2011)	60
Tabela 66 Valores médios dos teores de fósforo do solo na interação solo x irrigação, para a terceira coleta de solo (Botucatu, abril de 2011)	60
Tabela 67 Valores médios dos teores de fósforo do solo na interação adubação x irrigação, para a terceira coleta de solo (Botucatu, abril de 2011)	60
Tabela 68 Valores médios dos teores de fósforo do solo na interação solo x adubação x irrigação, para a terceira coleta de solo (Botucatu, abril de 2011).	61
Tabela 69 Resumo da análise de variância para os teores de potássio do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013.	61
Tabela 70 Valores médios dos teores de potássio do solo na interação solo x adubação, para a primeira coleta de solo (Botucatu, abril de 2010)	62
Tabela 71 Valores médios dos teores de potássio do solo na interação solo x adubação x irrigação, para a primeira coleta de solo (Botucatu, abril de 2010)	63
Tabela 72 Valores médios dos teores de potássio do solo na interação solo x adubação, para a segunda coleta de solo (Botucatu, outubro de 2010)	63
Tabela 73 Resumo da análise de variância para os teores de cálcio do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013	64
Tabela 74 Valores médios dos teores de cálcio do solo na interação solo x adubação x irrigação, para a segunda coleta de solo (Botucatu, outubro de 2010)	64
Tabela 75 Valores médios dos teores de cálcio do solo na interação solo x adubação x irrigação, para a terceira coleta de solo (Botucatu, abril de 2011)	65
Tabela 76 Resumo da análise de variância para os teores de magnésio do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013	65
Tabela 77 Valores médios dos teores de magnésio do solo na interação solo x adubação, para a primeira coleta de solo (Botucatu, abril de 2010)	66

	Página
Tabela 78 Valores médios dos teores de magnésio do solo na interação solo x adubação, para a segunda coleta de solo (Botucatu, outubro de 2010)	66
Tabela 79 Valores médios dos teores de magnésio do solo na interação solo x adubação, para a terceira coleta de solo (Botucatu, abril de 2011)	67
Tabela 80 Valores médios dos teores de magnésio do solo na interação solo x adubação x irrigação, para a terceira coleta de solo (Botucatu, abril de 2011)	67
Tabela 81 Resumo da análise de variância para os teores de enxofre do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013	68
Tabela 82 Valores médios dos teores de enxofre do solo na interação solo x irrigação, para a primeira coleta de solo (Botucatu, abril de 2010)	68
Tabela 83 Valores médios dos teores de enxofre do solo na interação solo x adubação, para a segunda coleta de solo (Botucatu, outubro de 2010)	69
Tabela 84 Valores médios dos teores de enxofre do solo na interação adubação x irrigação, para a segunda coleta de solo (Botucatu, outubro de 2010)	69
Tabela 85 Valores médios dos teores de enxofre do solo na interação solo x adubação x irrigação, para a segunda coleta de solo (Botucatu, outubro de 2010)	69
Tabela 86 Valores médios dos teores de enxofre do solo na interação solo x irrigação, para a terceira coleta de solo (Botucatu, abril de 2011)	70
Tabela 87 Resumo da análise de variância para os valores de soma de bases do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013	70
Tabela 88 Valores médios da soma de bases na interação solo x adubação x irrigação, para a terceira coleta de solo (Botucatu, abril de 2011)	71
Tabela 89 Resumo da análise de variância para a capacidade de troca catiônica do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013	71
Tabela 90 Resumo da análise de variância para saturação por bases do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013	72
Tabela 91 Valores médios da saturação por bases na interação solo x irrigação, para a segunda coleta de solo (Botucatu, outubro de 2010)	73
Tabela 92 Valores médios da saturação por bases na interação adubação x irrigação, para a segunda coleta de solo (Botucatu, outubro de 2010)	73

		Página
Tabela 93	Valores médios da saturação por bases na interação solo x adubação, para a terceira coleta de solo (Botucatu, abril de 2011)	73
Tabela 94	Valores médios da saturação por bases na interação solo x adubação x irrigação, para a terceira coleta de solo (Botucatu, abril de 2011)	74
Tabela 95	Resumo da análise de variância para os teores de boro do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013	74
Tabela 96	Valores médios dos teores de boro na interação solo x adubação, para a primeira coleta de solo (Botucatu, abril de 2010)	75
Tabela 97	Valores médios dos teores de boro do solo na interação adubação x irrigação, para a segunda coleta de solo (Botucatu, outubro de 2010)	75
Tabela 98	Valores médios dos teores de boro do solo na interação solo x adubação, para a terceira coleta de solo (Botucatu, abril de 2011)	76
Tabela 99	Resumo da análise de variância para os teores de cobre do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013	76
Tabela 100	Valores médios dos teores de cobre do solo na interação solo x irrigação, para a primeira coleta de solo (Botucatu - SP, abril de 2010)	77
Tabela 101	Resumo da análise de variância para os teores de ferro do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013	77
Tabela 102	Valores médios dos teores de ferro do solo na interação solo x adubação, para a segunda coleta de solo (Botucatu - SP, outubro de 2010)	78
Tabela 103	Resumo da análise de variância para os teores de manganês do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013	78
Tabela 104	Valores médios dos teores de manganês do solo na interação solo x adubação, para a primeira coleta de solo (Botucatu - SP, abril de 2010)	79
Tabela 105	Valores médios dos teores de manganês do solo na interação solo x adubação, para a segunda coleta de solo (Botucatu - SP, outubro de 2010)	79
Tabela 106	Valores médios dos teores de manganês do solo na interação solo x adubação, para a terceira coleta de solo (Botucatu - SP, abril de 2011)	80
Tabela 107	Resumo da análise de variância para os teores de zinco do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013	80

		Página
Tabela 108	Valores médios dos teores de zinco no solo na interação solo x adubação, para a terceira coleta de solo (Botucatu - SP, abril de 2011)	81
Tabela 109	Valores médios dos teores de zinco no solo na interação solo x irrigação, para a terceira coleta de solo (Botucatu - SP, abril de 2011)	81
Tabela 110	Valores médios dos teores de zinco no solo na interação adubação x irrigação, para a terceira coleta de solo (Botucatu - SP, abril de 2011)	82

EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA RESIDUÁRIA E DO LODO DE ESGOTO COMPOSTADO NAS PROPRIEDADES QUÍMICAS E FÍSICAS DE SOLO CULTIVADOS COM LARANJEIRAS

Botucatu, 2013. 92 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Autor: Ricardo Alexandre Lambert

Orientador: Helio Grassi Filho

RESUMO

A utilização de lodo de esgoto compostado e água residuária de estação de tratamento de esgoto na agricultura, potencializam a sustentabilidade do setor agrícola. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar os aspectos físicos e químicos de três classes de solo, cultivados com plantas de laranja cv. Valência, submetida à aplicação de água residuária e lodo de esgoto compostado, no período de 2009 a 2011. O experimento foi conduzido a céu aberto, na área experimental do Departamento de Recursos Naturais - Área de Ciência do Solo - Fazenda Experimental Lageado, da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Campus de Botucatu-SP, situado a 22°52'55" S de latitude, 48°26'22" W de longitude e 786 m de altitude. O clima local é do tipo Cwa (Classificação de Köppen) tropical de altitude, com inverno seco e verão quente e chuvoso. Adotou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, em parcelas subdivididas, com 12 tratamentos e quatro repetições, sendo três tipos de solos (Neossolo Quartzarênico, Latossolo Vermelho e Nitossolo), dois tipos de adubação (adubação química e adubação orgânica (lodo de esgoto compostado), subdivididos com e sem água residuária. Utilizou-se vasos com capacidade de 250 L de solo e sistema de irrigação por gotejamento, com emissores autocompensantes de 4 L h⁻¹ de vazão. O manejo de irrigação foi realizado com base na evapotranspiração da cultura. Foram avaliados os seguintes parâmetros: análise química (pH, M.O., P, K, Ca, Mg, S, SB, CTC, V%, B, Cu, Fe, Mn e Zn) e física do solo (densidade do solo, densidade de partículas, retenção de água no solo, estabilidade de agregados via seco, condutividade hidráulica do solo saturado e argila natural). Diante dos resultados obtidos, conclui-se que a aplicação de lodo de esgoto compostado ao solo proporcionou, redução nos valores de argila natural do solo para as duas camadas avaliadas, elevação da condutividade hidráulica em solo saturado, menores valores de densidade do solo e densidade de partículas, melhor retenção de água na camada de 11 a

20 cm e maior porosidade total de 0 a 10 cm, redução do pH, K, Mg e saturação por bases V%, e elevação da concentração de P, S, B, Fe, Mn e Zn. A irrigação com água residuária proporcionou, elevação da condutividade hidráulica em solo saturado, para o Nitossolo, diminuição do pH, P e saturação por bases V% e incremento na concentração de S, Cu e Zn. O lodo de esgoto compostado pode ser utilizado como fonte de nutrientes e condicionador do solo.

Palavras-chave: retenção de água no solo, adubação, irrigação, fertilizantes orgânicos, reuso da água.

EFFICIENT USE OF RESIDUARY WATER AND SEWAGE SLUDGE COMPOSTED ON CHEMICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF SOIL CULTIVATED WITH ORANGE TREES

Botucatu, 2013. 92 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: Ricardo Alexandre Lambert

Advisor: Helio Grassi Filho

ABSTRACT

The use of composted sewage sludge and residuary water treatment plant wastewater in agriculture, potentiate the sustainability of the agricultural sector. Accordingly, the aim of this study was to evaluate the physical and chemical properties of three classes of soil, cultivated with orange cv. Valencia, subject to application of wastewater and sewage sludge composted in the period 2009-2011. The experiment was conducted in the open, in the experimental area of the Department of Natural Resources - Area of Soil Science - Lageado Experimental Farm, Faculty of Agricultural Sciences, UNESP, Botucatu-SP, located at 22° 52' 55" S latitude , 48° 26' 22" W longitude and 786 m altitude. The local climate is Cwa (Köppen classification) altitude tropical, with dry winter and hot and rainy summer. The adopted experimental design in randomized blocks in a split plot, with 12 treatments and four replications and three soil types (Quartzipsament Oxisol and Alfisol), two types of fertilizer (chemical fertilizer and organic fertilizer (sludge composted), subdivided with and without residuary water. Was used pots with a capacity of 250 L of soil and drip irrigation system, using self 4 L h⁻¹ flow. The irrigation management was based on crop evapotranspiration. The following parameters were evaluated: Chemical analysis (pH, MO, P, K, Ca, Mg, S, SB, CTC% V, Cu, Fe, Mn and Zn) and soil physical (density, density particles, water retention in the soil aggregate stability via dry hydraulic conductivity of saturated soil and natural clay). Based on these results, it is concluded that the application of composted sewage sludge to soil resulted, in reduction of natural clay soil for the two layers evaluated, increased hydraulic conductivity of saturated soil, lower values of bulk density and density particle, the better water retention layer 11 to 20 cm and larger porosity of 0 to 10 cm, lowering the pH, Mg and V% base saturation and increased concentration of P, S, B, Fe , Mn and Zn. Irrigation with wastewater provided, elevation of

soil saturated hydraulic conductivity, for Nitosol decrease in pH, P and V% base saturation and increase in the concentration of S, Cu and Zn. The composted sewage sludge can be used as a source of nutrients and soil conditioner.

Keywords: water retention in the soil, fertilization, irrigation, organic fertilizers, water reuse.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional ocorre continuamente, abrindo novos mercados e aumentando a procura por alimentos, o que não seria problema se existissem grandes áreas a serem incorporadas à agricultura, e se o aumento demográfico não trouxesse consigo a geração de novos resíduos (lixo).

Para que o setor agrícola consiga suprir a demanda por alimentos, fibras e energia, é necessário investir em novas tecnologias, aumentando a produção sem incrementar novas áreas ao cultivo. E, além disso, promover a sustentabilidade do setor.

Sustentabilidade indica que o setor agrícola deve reaproveitar seus resíduos na propriedade, criar um ciclo onde um setor esteja ligado ao outro. Como exemplos de sustentabilidade na agricultura tem-se o sistema de plantio direto, fixação biológica de nitrogênio, integração lavoura pecuária, adubação verde, adubação orgânica, entre outros. Não muito comum, porém sustentável, é a utilização de lodo de esgoto compostado e água residuária de estação de tratamento de esgoto.

O lodo de esgoto compostado e a água residuária são problemas inerentes ao crescimento populacional, que podem ser amenizados devido a sua utilização na agricultura, uma vez que possuem em sua composição macro e micronutrientes, além de grande quantidade de material orgânico. Por possuírem características desejáveis ao setor, podem contribuir para a fertilidade do solo e também servir como condicionadores de algumas propriedades físicas do solo.

A utilização de lodo de esgoto compostado e água residuária de estação de tratamento de esgoto na agricultura, possibilita transformar um resíduo em

recurso, uma vez que sua utilização condiciona maior viabilidade e sustentabilidade do tratamento de esgoto, melhorando a oferta de água para a irrigação, fornecendo nutrientes às plantas e reduzindo a contaminação ambiental. Através de sua aplicação ao solo, pode-se aumentar a retenção de água em solos arenosos, como melhorar a permeabilidade e infiltração em solos argilosos.

Observando que o Brasil responde por 40% da produção mundial de laranja e também por 60% do suco produzido, e o Estado de São Paulo é o maior produtor nacional da fruta e é também o estado mais populoso, uma alternativa viável seria a utilização desses dois resíduos na citricultura paulista.

A utilização de água residuária, bem como o uso de lodo de esgoto na adubação de laranjeiras é um ponto que deve ser ressaltado para uma possível redução de custos na produção, além do reaproveitamento desses resíduos. Entretanto, é importante esclarecer que existem poucos trabalhos relatando os resultados do manejo da irrigação de mudas de plantas cítricas recém plantadas até a idade produtiva no Brasil, bem como um número inconsistente de trabalhos mostrando a resposta destas plantas à adição de material orgânico durante o mesmo período.

Assim sendo, não se pode pleitear a utilização ou, mesmo, apresentar uma proposta de tratamento de resíduos líquidos via irrigação bem como lodo de esgoto se não houver a correspondente comprovação analítica atestando sua "não-agressão" ou, ao menos, sua compatibilidade com o meio ambiente. A verificação do comportamento dos resíduos aplicados nos solos e nas plantas assume papel prioritário em relação aos que pretendem buscar alternativas no campo do tratamento de resíduos, bem como na sua utilização como elemento fornecedor de matérias primas para a agricultura/fruticultura.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar as características físicas e químicas de três solos, submetidos à aplicação de lodo de esgoto compostado e água residuária, cultivados com plantas de laranja.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Utilização do lodo de esgoto para fins agrícolas

Atualmente, um dos maiores problemas ambientais enfrentados pela sociedade é o constante aumento na geração de resíduos, proporcional ao crescimento e desenvolvimento das populações urbanas, pois esses resíduos constituem uma séria ameaça à qualidade de vida das pessoas. Os esgotos ou águas servidas são os resíduos que mais tomam importância neste contexto, uma vez que são produzidos em grandes volumes e são altamente poluentes (OLIVEIRA, 1995).

Entre as diversas alternativas existentes para a deposição final do lodo de esgoto, tais como: aterro sanitário, reutilização industrial, incineração, conversão em óleo combustível, entre outras, a destinada ao uso agrícola e florestal se apresenta como uma das mais viáveis dos pontos de vista econômico, técnico e ambiental, pois este material contém diversos nutrientes essenciais às plantas, sendo que muitos desses elementos estão nas formas assimiláveis pelos vegetais (SPADOTTO; RIBEIRO, 2006).

Sendo assim, a pesquisa na área agrônômica, busca soluções para os problemas advindos com o desenvolvimento urbano e industrial para então proporcionar um desenvolvimento sustentado (OLIVEIRA, 1995).

2.2 Caracterização do lodo de esgoto

O lodo de esgoto é um resíduo semi-sólido proveniente do tratamento de esgotos, sejam estes domésticos, industriais ou agro-industriais. Trata-se de

um resíduo predominantemente orgânico, com atrativos especiais para o uso agrícola, quer como condicionador do solo, quer como fonte de nutrientes para as plantas cultivadas, tendo em vista sua composição química que, dependendo da origem e do processo de produção, pode conter quantidades de nutrientes às vezes suficientes para atender às necessidades das plantas (SIMONETE, 2001).

O lodo de esgoto, segundo Parr e Wilson (1980) contém aproximadamente 5% de sólidos e 95% de água, sendo que esses valores variam de acordo com o tipo de lodo: 1 a 10% de sólido para o líquido, 20 a 30% para o semi-sólido e 25 a 80% para o sólido. O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos - USDA (1980) caracteriza como lodo de esgoto típico o resíduo que contém cerca de 4% de N, 2% de P_2O_5 , 0,4% de K_2O e 25% de carbono na base seca.

De acordo com Tsutya (2000), existem três tipos de materiais oriundos do tratamento de esgoto: (1) o primário, lodo bruto produzido nos decantadores primários, com coloração acinzentada, aspecto pegajoso e odor ofensivo; (2) o lodo ativo, produzido nos reatores biológicos, com aparência floculenta, coloração marrom e odor pouco ofensivo, se mantido em condições aeróbias; e (3) o lodo digerido, que passou por processo de estabilização biológica e não possui odor ofensivo, também chamado de lodo de esgoto.

Para a deposição do lodo de esgoto é necessário um pré-tratamento, o qual consiste em minimizar os efeitos ambientais negativos, visando essencialmente a redução de seu potencial poluidor. Assim, do tratamento de esgoto, obtemos o lodo de esgoto, o qual consiste na fração sólida do tratamento.

O lodo de esgoto, então, produto resultante do tratamento do esgoto, acumula-se nos pátios das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), localizadas em áreas urbanas, ocupando espaço, nem sempre disponível, e elevando o custo de operação dessas unidades pelo armazenamento do material. Além disso, por ação da chuva, o material acumulado pode escorrer para os cursos de água, causando sua poluição e anulando o efeito inicial pretendido pelo tratamento dos esgotos urbanos.

Não é o bastante evitar o descarte de resíduos urbanos e industriais nos rios e oceanos, pois o desequilíbrio ecológico provocado, especialmente em rios e locais públicos, gera grande insatisfação e revolta social, tornando assim, importante a busca de alternativas que se sustentem ao longo do tempo para deposição final dos resíduos (BATAGLIA et al., 1983).

A contaminação dos recursos hídricos por esgotos é um dos principais problemas enfrentados pela sociedade moderna, principalmente nos grandes centros urbanos. A partir destes fatos tem-se motivos mais que suficientes para encontrar alternativas viáveis do ponto de vista social, ambiental e econômico para sua reciclagem, tornando um produto útil para a sociedade.

Dentre as alternativas de reciclagem do lodo de esgoto a utilização agronômica, em suas diversas modalidades (recuperação de áreas degradadas, compostagem e fertilizante para a produção de grãos e frutas) é a forma que apresenta maior potencial graças à sua atuação como fertilizante e condicionador de solo. O lodo de esgoto tem sido utilizado na melhoria de solos em áreas florestadas, na recuperação de áreas degradadas, como fertilizante nas culturas de soja e trigo (BROWN et al., 1997), milho (SILVA et al., 2001), dentre outras.

Segundo a Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), a disposição final dos resíduos dos sistemas de tratamento de água e esgoto representa um grande problema de âmbito mundial, por motivos técnicos e econômicos. A disposição dos resíduos é uma operação complexa que geralmente ultrapassa os limites da estação. Sua gestão representa 20 a 60 % dos custos operacionais de uma estação de tratamento. No Brasil a coleta esgotos atende a 40,12% da população urbana, do volume coletado, 40% recebe tratamento adequado, gerando lodo. Grande parte do resíduo até recentemente era lançada em rios.

Entretanto, existem dúvidas por parte dos produtores, quanto à utilização do lodo de esgoto. Como, por exemplo, à estabilidade das concentrações de seus nutrientes, incluindo os metais pesados, ao custo do produto em relação aos fertilizantes convencionais, ao acúmulo de nutrientes no solo, principalmente com relação aos metais pesados e, conseqüentemente, a relação com um possível impacto ambiental.

2.3 Parâmetros químicos e físicos do solo em função da aplicação do lodo de esgoto

Diversos trabalhos de pesquisa têm mostrado que a aplicação dos resíduos gerados do tratamento de esgoto promovem melhorias consideráveis nos parâmetros químicos e físicos do solo, mas também promovem um aumento considerável da concentração de metais pesados no solo (HOODA; ALLOWAY, 1993).

Assim, devido à falta de conhecimento total do comportamento desses elementos no solo ainda existem respostas a serem obtidas no âmbito do

desenvolvimento das plantas, em resposta à absorção destes bem como o nível tóxico dos mesmos que pode ser encontrado nas plantas e no solo.

Torna-se, então, muito importante verificar o efeito da aplicação desta matéria orgânica, neste caso o lodo de esgoto, nas propriedades químicas e físicas do solo, no balanço nutricional das culturas e na ciclagem de nutrientes do sistema solo-planta.

Com este objetivo, Guedes (2000) estudou e observou que a aplicação de lodo de esgoto melhorou o estado nutricional das plantas de *Eucaliptus grandis*, e contribuiu para a maior ciclagem dos nutrientes dentro do ecossistema florestal. Alguns dos efeitos causados pela aplicação do lodo de esgoto em solos agrícolas estão diretamente relacionados com a persistência da carga orgânica do resíduo nestes solos. Se parte do carbono orgânico presente no lodo for resistente à degradação, seu teor no solo aumentará ao longo de sucessivas aplicações, podendo proporcionar alterações significativas em algumas propriedades químicas e físicas desse solo (METZGER; YARON, 1987).

Oliveira et al. (2002) mostraram que aplicações de doses crescentes de lodo de esgoto promoveram aumentos no teor de carbono orgânico, na condutividade elétrica e do pH do solo, sendo inclusive evidenciado, no segundo ano de aplicação, o poder de tamponamento do solo pelo lodo. Ainda segundo os autores, houve aumento significativo na capacidade de troca de cátions em função das variações no pH do solo, não sendo verificado aumento da CTC proporcional às doses de lodo aplicadas.

Silva (1995) avaliou os efeitos da aplicação de lodo de esgoto com e sem a adição de fertilizante mineral na fertilidade do solo Podzólico Vermelho Amarelo e na cultura da cana de açúcar. Para as condições deste solo, o lodo de esgoto mostrou-se adequado como corretivo do complexo coloidal e ainda como fertilizante para a cana de açúcar, principalmente como fonte de Ca, P, S e Zn. Apesar de tais efeitos do lodo de esgoto serem de curta duração, restringindo-se apenas a um ano agrícola, verificou-se aumentos de produtividade em biomassa e açúcar proporcional às doses de lodo. Os metais pesados não tiveram aumentos de seus teores no solo e nos colmos, devido ao uso do lodo de esgoto, pois os mesmos foram da ordem de valor que não ofereceu qualquer risco de passagem à cadeia trófica.

Para as condições de uma Areia Quartzosa e um Latossolo Roxo, Oliveira (1995) observou que a maior parte da carga orgânica adicionada via lodo de

esgoto apresentou-se degradada aos 63 dias da incubação nos dois solos e que, essa degradação contribuiu para a elevação do valor do pH, promovendo também aumento das formas nitrogenadas lixiviáveis.

A utilização do lodo de esgoto em solos agrícolas tem como principal benefício a incorporação de macronutrientes (nitrogênio e fósforo) e dos micronutrientes (zinco, cobre, ferro, manganês e molibdênio) (SPADOTTO; RIBEIRO, 2006). Segundo os mesmos autores, o lodo de esgoto interfere nas propriedades físicas de maneira semelhante à matéria orgânica, aumentando a retenção de água em solos arenosos e melhorando a permeabilidade e infiltração em solos argilosos, mantendo por determinado tempo, uma boa estrutura e estabilidade dos agregados na superfície.

Oliveira (1995) ainda citou que na areia quartzosa esse efeito foi mais evidente, indicando que nesse tipo de solo deve haver preocupações a respeito. Outro fator evidenciado foi a elevação dos teores dos metais Cd, Cu, Cr, Ni e Zn acima de 150 Mg ha⁻¹ de lodo aplicado. Já para as condições de um Argissolo Vermelho Amarelo, os resultados permitiram observar que a aplicação de doses de lodo de esgoto elevou os teores de matéria orgânica, de CTC e somatória de bases. Para o pH constatou-se decréscimos de 0,4 unidades com a adição de doses do resíduo e, conseqüentemente, acréscimo nos teores de Al e H+Al (SIMONETE, 2001). A autora ainda relatou que os teores das formas de P, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu e Zn no solo foram acrescidos com a aplicação das doses do resíduo, resultando em aumento do acúmulo desses elementos em plantas de milho.

De acordo com Marciano (1999) os resíduos urbanos também podem modificar as propriedades físicas do solo uma vez que proporcionaram redução na densidade e aumento da porosidade total de um Latossolo Vermelho Amarelo. Barreto (1995) também observou o efeito da utilização de resíduos orgânicos nas propriedades físicas e químicas de dois solos (Areia Quartzosa e Latossolo Vermelho Escuro), verificando alterações na CTC, principalmente na Areia Quartzosa, bem como melhoria na capacidade de retenção de água, principalmente, no Latossolo Vermelho Escuro.

Assim sendo, em cultivos onde há ausência de vegetação que propicie adições constantes de resíduos vegetais ou ausência de outros resíduos orgânicos (lodo de esgoto), podem ocorrer mudanças na quantidade e na qualidade da matéria orgânica, as quais afetam a composição química e a organização estrutural do solo de diferentes classes texturais.

As modificações do solo se traduzem principalmente pelo aumento do teor de ácidos fúlvicos, acompanhado da diminuição do teor de ácidos húmicos, provocando a desestabilização do complexo mineral no horizonte A. Em consequência, há maior dispersão das frações finas que migram e obstruem os macroporos, o plasma torna-se denso, a densidade do solo aumenta e a porosidade diminui (MARTINS, 1987). Desta forma, a incorporação de matéria orgânica aos solos promove a recuperação física e química do solo, confirmando também as informações obtidas por Neves (1998) e Illera et al. (2000).

Em relação aos efeitos da matéria orgânica nas propriedades físicas do solo, inúmeros são os trabalhos que tratam deste assunto, porém poucos dados são relativos aos efeitos da aplicação de lodo de esgoto nas propriedades físicas do solo.

Carvalho e Barral (1981) afirmam que a adição do lodo de esgoto promove a agregação das partículas, proporcionando uma melhor aeração para as raízes das plantas. As propriedades físicas do solo sofrem forte influência da matéria orgânica que age no processo de agregação das partículas finas do solo melhorando a estabilidade estrutural e penetração de raízes (MALAVOLTA, 1981).

Muzilli et al. (1980) afirmam que a porosidade, aeração, condutividade hidráulica e infiltração estão ligadas à modificação da estrutura. Como as modificações, devido ao incremento de matéria orgânica, ocorrem de maneira inter-relacionada, torna-se difícil estudar os efeitos de forma isolada. Fundamentalmente as propriedades físicas diretamente afetadas são a estrutura, capacidade de retenção de água pelo solo, temperatura, consistência e densidade global do solo.

2.4 Utilização da água residuária na agricultura

A presença da água e sua disponibilidade para o consumo imediato são condições fundamentais para o desenvolvimento da humanidade. Porém, em virtude da falta de critério na utilização racional da água, há uma tendência cada vez maior de que ocorra a escassez deste recurso, o que, segundo a comunidade científica, poderá prejudicar, de forma imediata, o desenvolvimento de muitos países e gerar conflitos mundiais (BREDA, 1999).

Ayers e Westcot (1991) mostram que as preocupações e incertezas com relação ao futuro da qualidade e quantidade da água é um assunto cada vez mais

discutido e destacado junto às autoridades responsáveis, seja em âmbito mundial, federal, ou mesmo regional.

Assim, diante do exposto, também existe um interesse por parte da comunidade científica em buscar soluções com o objetivo de gerar novas tecnologias, como por exemplo, para a realização do tratamento e reutilização de águas residuárias oriundas de atividades domésticas ou de processos industriais nos diversos setores da sociedade (BREDA, 1999).

As opções para tratamento ou recuperação de águas servidas de origem doméstica, agrícola e industrial envolvem inúmeras alternativas, que podem ser complexas e onerosas ou simples e de baixo custo (BREDA, 1999).

A aplicação no solo constitui uma das práticas mais antigas de tratamento e ou disposição final de esgotos sanitários (BASTOS, 1999).

Embora as primeiras experiências tivessem como objetivo o tratamento de esgotos, logo surgiu o interesse pela irrigação com fins de produção agrícola. Porém, o desenvolvimento da microbiologia sanitária e as crescentes preocupações de saúde pública fizeram com que esta alternativa se tornasse praticamente desaconselhada em meados deste século (MARA; CAIRNCROSS, 1989 citados por BASTOS, 1999).

Por outro lado, diversos fatores vieram a contribuir para que mais recentemente o interesse pela irrigação com esgotos fosse renovado, como por exemplo: a crescente escassez de recursos hídricos, o avanço do conhecimento técnico-científico sobre o potencial e as limitações da reutilização agrícola e suas inegáveis vantagens como controle de poluição, economia de água e fertilizantes, reciclagem de nutrientes e aumento da produção agrícola.

Além disso, o interesse pelo reuso controlado, ou seja, seguro do ponto de vista sanitário e otimizado do ponto de vista agrícola, surgiu do próprio reconhecimento de que a proibição velada não logrou banir a utilização de esgotos na agricultura. Ao contrário, apenas se viu crescer a prática espontânea ou clandestina por parte de pequenos agricultores, perante a escassez de água e, ou cientes do potencial fertilizante das águas residuárias (BASTOS, 1999; MELI et al., 2002).

É aceitável que a aplicação de água residuária em áreas agrícolas, sob circunstâncias apropriadas, podem servir para proporcionar o fornecimento e/ou regular os nutrientes disponíveis para as plantas no solo. As experiências mais recentes incluem as mais diversas situações que abrangem desde o reuso controlado, muitas vezes

como parte de planos de controle ou planejamento com a imposição de sérios riscos de saúde pública.

No Peru, o Programa Nacional de Irrigação com Águas Residuárias prevê a implantação por etapas de 18.000 ha de área irrigada. Entretanto, dos cerca de 4.300 ha hoje irrigados aproximadamente 70% são utilizados para o cultivo de hortaliças, em sua maioria com águas residuárias brutas. Um exemplo, de destaque é Israel onde em 2010, os esgotos sanitários tratados responderão por aproximadamente 30% de toda a água disponibilizada para a agricultura, sendo atualmente, utilizados principalmente no cultivo do algodão (SHELEF, 1991).

É importante também destacar a experiência da cidade do México, onde dos cerca de $45 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de esgotos sanitários, combinados com $10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de águas pluviais são utilizados em 80.000 ha, organizados em perímetros irrigados e abastecidos por um complexo sistema de canais e reservatórios ao longo de 60 Km (STRAUSS; BLUMENTHAL, 1989, citados por BASTOS, 1999).

Nas regiões semi-áridas, a difusão de áreas agrícolas irrigadas intensivamente levam à necessidade de aumentar o requerimento de água, e que por sua vez compete com outros setores produtivos. Assim, neste caso, a irrigação com água residuária urbana permitiria um uso mais eficiente das fontes de água e limitaria, consideravelmente, os danos ambientais devido a introdução direta de resíduos na superfície dos corpos de água (MELI et al., 2002).

Israel é caracterizada pela escassez das fontes de água, a qual limita a produção agrícola. A quantidade anual de água consumida é um milhão e novecentos mil metros cúbicos alocados entre áreas urbana, industrial e agrícola, sendo que 63% para consumo da área agrícola (HARUVY, 1998).

Segundo Haruvy (1998), em Israel, as fontes de água de qualidade boa disponível para uso na agricultura também tendem a diminuir com o aumento da população, a qual aumenta o uso de água doméstico e, que necessitará ser repostas com fontes de água não convencionais, incluindo efluentes, para manter por exemplo a agricultura. Estima-se que por volta do ano 2040, águas residuárias originadas do tratamento de esgoto se tornem a principal fonte de água de irrigação para Israel e regiões autônomas da Palestina.

No Brasil, a primeira aplicação realizada ocorreu em áreas agrícolas de usinas de cana de açúcar pois devido a um vazamento acidental de uma das

lagoas de contenção de vinhaça, houve deposição em talhão da cultura e, em função da resposta desta a tal acontecimento, alguns estudos foram iniciados e, desde então tornou-se prática normal na atividade canavieira (ALOISI et al., 2001).

Desta forma o emprego de resíduos líquidos que apresentam nutrientes em solução foi denominada genericamente de fertirrigação e passou a constituir elemento participante nesse sistema de tratamento de resíduos.

Através da observação do potencial e limitações do emprego da fertirrigação com águas residuárias, os manejos adequados desta prática em conjunto com o manejo de irrigação convencional podem permitir resultados satisfatórios (PETTYGROVE; ASANO, 1990 citados por BASTOS, 1999 e VERMES (1985) citado por ALOISI et al., 2001). Portanto, a partir da obtenção do conhecimento detalhado do uso das águas residuárias associada às características do solo e à cultura, encontrar-se-á o balanço real e necessário para o sucesso do manejo.

2.5 Utilização agrícola de esgotos sanitários em irrigação

É unânime o entendimento de que a utilização de esgotos para a irrigação envolve riscos de saúde. Entretanto, persistem controvérsias quanto à definição dos riscos aceitáveis, ou seja, quanto aos padrões de qualidade e graus de tratamento requeridos para a garantia da segurança sanitária (BASTOS, 1999).

A extensa legislação de controle ambiental existente e vigente no Estado de São Paulo determina que todos os resíduos sejam tratados para que possam ser utilizados em cursos d'água. Desta forma, é importante e evidente que o material deve estar condizente com o meio que deverá recebê-lo, em termos de compatibilidade das propriedades químicas, físicas e biológicas (ALOISI et al., 2001).

Dentre as diversas medidas preconizadas para a proteção à saúde, incluem-se, de modo isolado ou conjunto, o tratamento dos esgotos, a restrição de cultivos e dos métodos de irrigação (BLUMENTHAL et al., 1989).

Portanto, com base nos critérios epidemiológicos e no conhecimento sobre a eficiência dos processos de tratamento de esgotos, a Organização Mundial de Saúde (OMS) adota algumas recomendações, descritas em OMS (1989), as quais viabilizam o esgoto do ponto de vista sanitário. Deve-se salientar que, países como EUA e Israel adotam padrões e normas bem mais restritos (SHELEF, 1991; ASANO et al., 1992).

2.6 Fertirrigação com esgoto sanitário

Para Haruvy (1998) a água residuária é a fonte não convencional de água, preferida para a fertirrigação, uma vez que seu fornecimento é aumentando em função do crescimento populacional bem como da melhoria da conscientização da preservação da qualidade ambiental, de seu baixo custo, podendo, ainda, servir como uma fonte de fornecimento de nutrientes, reduzindo assim os custos a adubação das culturas.

A análise detalhada da composição dos esgotos sanitários revela, simultaneamente, os potenciais e as limitações para sua utilização na agricultura.

Em geral, os esgotos sanitários apresentam teores de nutrientes suficientes para o atendimento da demanda da maioria das culturas. Entretanto, o uso domiciliar da água pode acrescentar 200-400 mg L⁻¹ de sais (BOUWER; IDELOVITCH, 1987) e 300 mg L⁻¹ de sólidos dissolvidos inorgânicos. Dessa forma a irrigação com esgotos sanitários é essencialmente fertirrigação com água salina, devendo portanto, serem observados todos os cuidados inerentes a tal prática, o mesmo valendo para os teores de sódio, correspondentes RAS e cloretos.

Os benefícios do uso de águas residuárias são expressos quando a produção agrícola é mantida enquanto as fontes de água e a qualidade ambiental são preservadas. Ao mesmo tempo, a irrigação com água residuária, dependendo da qualidade do efluente que a origina, também pode ser prejudicial para o ambiente, uma vez que esta pode conter ainda poluentes tal como metais pesados, materiais inorgânicos, etc. Estes constituintes podem prejudicar o solo, o lençol freático, as culturas e finalmente a saúde das pessoas e animais (FEIGIN et al., 1991).

Para Bastos (1999) em se tratando de águas residuárias domésticas, os metais pesados não devem constituir problema maior, e provavelmente estarão presentes em concentrações abaixo dos teores tóxicos e acima da demanda nutricional da maioria das culturas.

As características dos esgotos estão ainda associadas ao processo de tratamento empregado. De modo geral, processos biológicos de tratamento quando bem operados podem alcançar eficiência de remoção de matéria orgânica e sólidos solúveis em suspensão da ordem de 90%. Quanto aos macronutrientes, em alguns processos, o nitrogênio e fósforo poderão ser transformados, por exemplo, através da nitrificação em processos aeróbios e desnitrificação em processos anaeróbios (VON SPERLING, 1995).

Entretanto, sólidos e sais praticamente não são removidos por processos convencionais de tratamento.

Considerando uma contribuição per capita de esgotos sanitários de 150-200 litros/habitante/dia e uma demanda genérica de água para as irrigações de 1,0 a 2,0 m³ano⁻¹, constata-se que as águas residuárias produzidas por cada pessoa possam ser suficientes para, irrigar uma área de 30-70 m², ou melhor, uma população de 50.000 habitantes produziria matéria prima para irrigar e fertirrigar cerca de 200 ha. Podemos considerar também que, baseando-se na mesma demanda de água e, que um efluente contenha de 15-35 mg N L⁻¹, 5-10 mg P L⁻¹ e cerca de 20 mg K L⁻¹, as taxas de aplicação de nutrientes no solo poderiam atingir a ordem de 150-700 Kg N ha⁻¹, 50-200 Kg de P ha⁻¹ e 200-400 Kg de K ha⁻¹ (BASTOS, 1999).

Portanto, baseado nestes dados, observa-se que a fertirrigação com esgotos sanitários poderá proporcionar ao solo teores de nutrientes suficientes para garantir excelente produtividade agrícola com economia significativa de fertilizantes, como tem demonstrado os resultados de experimento realizado por Marecos do Monte et al. (1989) citado por Bastos (1999).

Feigin et al. (1977) compararam a irrigação convencional e a fertirrigação com esgotos sanitários para a produção de beterraba e algodão, observando que a produtividade proporcionada pela fertirrigação foi superior em ambas as culturas, às custas apenas de uma certa perda de qualidade dos produtos.

Marecos do Monte (1995) obteve melhor produtividade de milho, girassol e sorgo irrigados com efluentes de lagoas de estabilização comparativamente à irrigação convencional. O único problema observado foi a lenta maturação do girassol frente à irrigação com efluente.

De acordo com Meli et al. (2002) o fornecimento de água residuária para a irrigação de laranjeiras (*Citrus sinensis* L.) aumenta a quantidade de nutrientes disponíveis no solo, uma vez que a utilização desta água melhora a eficiência metabólica da microflora do solo associada com a maior atividade de enzimas hidrolases e fosfatases. Segundo eles, a evolução da microflora do solo e a disponibilidade de nutrientes é condicionada diretamente pela qualidade da água utilizada na irrigação.

Um ponto importante a ser considerado no manejo destas práticas é o fato de que as demandas de água e nutrientes não ocorrem paralelamente.

Na fertirrigação com águas residuárias, o fornecimento de nutrientes ocorre de forma contínua e gradual não condizendo, talvez, com a demanda diferenciada por nutrientes nos diversos estádios de crescimento e desenvolvimento da maioria das culturas.

Um exemplo clássico disto, entre outros, é a adubação nitrogenada em excesso que pode mostrar-se problemática em vista dos riscos de lixiviação de nitrato e contaminação do lençol freático. Por outro lado, dependendo das características do produto, a fertilização química complementar também pode ser necessária (BASTOS, 1999).

O conhecimento das interações e/ou alterações eventuais que os resíduos podem causar no meio de deposição direciona e determina sua utilidade como também, indica processos, doses e tipos que causam degradação e toxicidade no meio (ALOISI et al., 2001). Os autores ainda destacam a necessidade de realizar estudos em que a verificação do comportamento dos resíduos aplicados nos solos e nas plantas assume papel prioritário em relação aos que pretendem buscar alternativas no campo do tratamento de resíduos, bem como na sua utilização como elemento fornecedor de matérias primas para a agricultura.

As pesquisas de Aloisi et al. (2001), Hosetti e Frost (1995) salientam que, para a utilização de águas residuárias originadas do tratamento de esgoto urbano, deve-se considerar além da cultura, as condições climáticas, o nível de mecanização da agricultura, as características químicas e físicas do solo, a disponibilidade do material e finalmente a característica química da água.

2.7 Manejo da irrigação

O manejo da irrigação é definido como a metodologia de aplicação de água à uma determinada cultura, considerando a frequência e quantidade a ser aplicada, capacidade de retenção do solo e consumo de água pela cultura. Todavia, na prática, as variações das condições climáticas, e variações na classe textural do solo, fazem com que o consumo de água da cultura oscile demasiadamente e, assim, para manejar adequadamente a irrigação, há necessidade de mecanismos de controle.

Dessa forma, as aplicações de água deverão ser realizadas no momento adequado, sem riscos de excesso ou deficiência, proporcionando seu uso mais racional, de acordo com o objetivo proposto (VIEIRA, 1988).

2.7.1 Manejo da irrigação visando o desenvolvimento de plantas cítricas

Este manejo pode ser realizado durante os diferentes estádios fenológicos da cultura, proporcionando, portanto, comportamento diferenciado da mesma em cada estágio. No caso dos citros, as espécies apresentam comportamento diferenciado com relação a determinados aspectos, tendo como exemplo as plantas do grupo *Citrus reticulata* (tangerineiras) as quais são mais exigentes em água que as do *Citrus sinensis* (laranjeiras) e estas, que as do *Citrus limon* (limoeiros) (VIEIRA, 1988).

Para que o manejo da irrigação proporcione bons resultados, há necessidade de se conhecer o comportamento da cultura, das espécies, variedades, de forma a obter subsídios técnicos e científicos a fim de garantir os objetivos propostos.

Segundo Goell (1988) citado por Goell (1992), a sub-irrigação de árvores jovens (antes da produção) pode conduzir à produção precoce e, a razão para isso poderia estar no envelhecimento precoce, encurtando o período de juvenilidade da copa. Uma vez que estas árvores estejam produzindo, uma irrigação favorável proporcionará crescimento vegetativo maior dos ramos, aumentando a capacidade da copa para a maior produção de frutos.

Alguns experimentos com árvores mais jovens mostraram que a irrigação adicional rendeu número maior de frutos por árvore podendo isso ser atribuído ao maior crescimento vegetativo dessas plantas, crescimento este que poderia, e pode, produzir mais frutos/árvore. Segundo Vieira (1988), as irrigações devem ser iniciadas, no máximo, quando as plantas atingem três anos de idade, sendo ideal que o plantio do pomar seja executado prevendo o uso da irrigação.

Em pomares adultos, esta também pode ser realizada com sucesso, porém os benefícios poderão levar até três anos para manifestar-se, pois as plantas precisam adaptar-se à nova situação. Por outro lado, iniciando-se a irrigação em plantas jovens, esperam-se plantas mais desenvolvidas e, conseqüentemente, com maior capacidade produtiva.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental

O presente trabalho foi conduzido, a céu aberto, na área experimental do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP/Campus de Botucatu, Estado de São Paulo. Localizado a aproximadamente 786 m de altitude, na latitude de 22°52'55''S, longitude de 48°26'22''W.

O clima da região é do tipo Cwa (Classificação de Köppen) tropical de altitude, com inverno seco e verão quente e chuvoso.

O experimento foi instalado em recipientes com capacidade para 250 litros de solo, sendo utilizadas amostras da camada superficial de três classes de solo: Neossolo Quartzarênico, Latossolo Vermelho (LV) e Nitossolo.

3.2 Descrição dos solos

No presente experimento foram utilizadas amostras de solos de três classes texturais:

3.2.1 Neossolo

De acordo com os critérios definidos por Embrapa (2006), compreende solos constituídos por material mineral, ou por material orgânico pouco espesso, que não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário

devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, seja em razão de características inerentes ao próprio material de origem, como maior resistência ao intemperismo ou composição química, ou dos demais fatores de formação (clima, relevo ou tempo), que podem impedir ou limitar a evolução dos solos.

3.2.2 Latossolo

Latossolo Vermelho Escuro distrófico (LEd), série "Patrulha", segundo classificação de Carvalho et al. (1983), atualmente denominado Latossolo Vermelho de acordo com classificação da Embrapa (2006). Solos que apresentam como principal característica a presença de horizonte B latossólico, são solos fortemente ácidos, baixa saturação por bases, distróficos ou alumínicos, típicos de regiões equatoriais e/ou tropicais, em estágio avançado de intemperização, e que apresentam textura média.

3.2.3 Nitossolo

Terra Roxa estruturada – unidade Lageado, álica, textura argilosa e latossólica, segundo classificação realizada por Carvalho et al. (1983), atualmente denominado Nitossolo Vermelho (EMBRAPA, 2006). São solos que apresentam horizonte B nítico como característica marcante, moderadamente ácidos, com argila de atividade baixa e caráter álico. Apresenta textura argilosa ou muito argilosa, com teores acima de 350g kg⁻¹ de argila a partir do horizonte A e relação textural maior ou superior a 1,5.

3.3 Origem do lodo de esgoto e da água residuária

O lodo de esgoto utilizado foi gerado pelo Departamento de Água e Esgoto de Jundiaí, SP, que é proveniente do tratamento de esgotos predominantemente domiciliares, por meio de lagoas aeradas de mistura completa, seguidas de lagoas de decantação. Ao material estabilizado após o tratamento, adicionou-se bagaço de cana-de-açúcar e resíduos de poda das árvores e gramados de Jundiaí, num processo de compostagem.

A água residuária foi coletada na Estação de Tratamento de Esgoto da SABESP, localizada na Fazenda experimental Lageado - FCA/UNESP/Botucatu, e conduzida até a área experimental por um tanque e armazenada em 2 reservatórios com capacidade para 1 m³ cada, conforme Figura 1.



Figura 1 – Reservatórios utilizados para armazenamento da água utilizada. À esquerda, duas caixas d’água (1000 L cada) para armazenamento da água residuária e a direita, duas caixas d’água (1000 L cada) para armazenamento da água tratada.

3.4 Delineamento experimental e caracterização dos tratamentos

O ensaio compreendeu dois tipos de adubações no plantio e nas adubações anuais em cobertura (lodo de esgoto compostado e adubação química), duas qualidades de água para irrigação (águas tratada e residuária) e três classes texturais de solo (Neossolo Quartzarênico, Latossolo Vermelho e Nitossolo). Foi adotado o delineamento em blocos casualizados com parcela subdividida, com 12 tratamentos e 4 repetições (4 plantas), totalizando 48 plantas, conforme Figura 2. Os tratamentos foram constituídos conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013.

TRAT.	SOLOS	ADUBAÇÃO	IRRIGAÇÃO
T1	Neossolo Quartzarênico	Lodo de esgoto compostado	Água tratada
T2	Latossolo Vermelho	Lodo de esgoto compostado	Água tratada
T3	Nitossolo	Lodo de esgoto compostado	Água tratada
T4	Neossolo Quartzarênico	Lodo de esgoto compostado	Água residuária
T5	Latossolo Vermelho	Lodo de esgoto compostado	Água residuária
T6	Nitossolo	Lodo de esgoto compostado	Água residuária
T7	Neossolo Quartzarênico	Adubação química	Água tratada
T8	Latossolo Vermelho	Adubação química	Água tratada
T9	Nitossolo	Adubação química	Água tratada
T10	Neossolo Quartzarênico	Adubação química	Água residuária
T11	Latossolo Vermelho	Adubação química	Água residuária
T12	Nitossolo	Adubação química	Água residuária

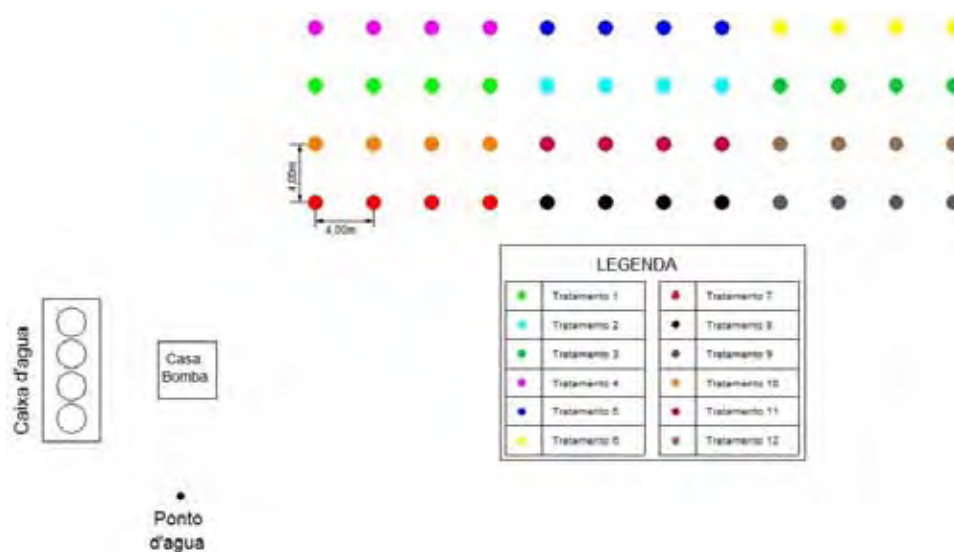


Figura 2 – Disposição dos tratamentos na área experimental.

3.5 Implantação do pomar

Foram utilizadas mudas de laranja “Valência” (*Citrus sinensis* Osbeck) enxertadas em plantas de citrumelo Swingle (*Citrus paradisi* Mcf. x *Poncirus trifoliata* Raf.) (Figura 3).



Figura 3 – Vista parcial do experimento (Plantas de laranja “Valência” (*Citrus sinensis* Osbeck) enxertadas em plantas de citrumelo Swingle (*Citrus paradisi* Mcf. x *Poncirus trifoliata* Raf.).

O plantio das mudas nos vasos foi realizado em dezembro de 2008, com espaçamento de 4,0 m entre linhas por 4,0 m entre plantas. No ano de 2009, após o pegamento das mudas no campo, constatou-se que todas as plantas apresentavam um mesmo padrão de desenvolvimento, partindo-se então de uma condição homogênea, iniciou-se então as avaliações através da retirada de amostras de solo e folha para análise química, sendo conduzido até abril de 2011.

Durante todo período de condução do experimento, foram realizados, sempre que necessários todos os tratos culturais tais como: análise de solo e do tecido vegetal para determinação da nutrição das mudas, combate a pragas e doenças; manejo da irrigação; capina manual nos vasos, bem como controle do mato com roçadeira, a fim de possibilitar às plantas uma série de fatores favoráveis ao seu desenvolvimento.

3.5.1 Calagem e Adubação de plantio

Após o solo ter sido coletado foi realizada a calagem do mesmo, utilizando-se calcário dolomítico (PRNT 72%), buscando elevar assim a saturação por bases a 70%, 45 dias antes do plantio, conforme recomendado por Quaggio; Raij; Piza Junior (1996). Ocorrido o enchimento dos recipientes, cada vaso foi irrigado para possibilitar a reação do calcário, sendo a operação repetida a cada 7 dias, até o momento do plantio.

Em cada recipiente foram abertas covas de 30x30x40cm (36 litros de solo), onde foram adicionados: 80 g de P_2O_5 na forma de superfosfato simples (18% de P_2O_5), 30 g de K_2O na forma de cloreto de potássio (60% de K_2O), 1 g boro na forma de bórax (11% de B) e 2 g de zinco na forma de sulfato de zinco (20% de Zn), segundo recomendação do Grupo Paulista de Adubação e Calagem para Citros (1996). Também foram aplicados 100% da dose de N recomendada através do lodo de esgoto compostado nos tratamentos que receberão o lodo em cobertura, e na forma mineral para os demais tratamentos.

3.5.2 Adubação de cobertura

A avaliação iniciou-se em agosto de 2009 com a retirada das amostras de solo para realização de análise química, coletadas na camada de 0-20cm, a fim de se verificar a quantidade de nutrientes existentes em cada tratamento.

De acordo com a recomendação de adubação para a cultura dos citros (QUAGGIO; RAIJ; PIZA JUNIOR, 1996), foram calculadas as doses de N, P e K necessárias em função da idade das plantas. Assim, no primeiro ano de condução do experimento (2009/2010), as quantidades de P e K aplicadas variaram de acordo com os teores apresentados na Tabela 2 em função dos tratamentos empregados desde o plantio. Com relação ao N, foram aplicados 160g de N planta⁻¹ em todos os vasos, variando a forma N-mineral (adubo mineral e N-orgânico (lodo de esgoto compostado) de acordo com os tratamentos.

Tabela 2 - Resultados médios da análise química do solo da área experimental por tratamento no ano de 2009, na camada de 0-20cm.

Trat	pH	MO	P	K	Ca	Mg	S	SB	CTC	V%	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³				mmol, dm ⁻³						mg dm ⁻³		
T1	4,2	26	309	2,3	36	3	289	41	103	40	1,06	6,2	185	13,1	63,8
T2	4,9	28	164	2,2	43	5	56	51	97	52	0,97	3,5	131	5,6	46,2
T3	5,3	35	130	2,1	51	11	190	64	105	61	1,04	8,6	60	6,4	38,5
T4	4,3	23	187	2,0	33	2	10	37	95	39	0,79	4,4	121	12,8	48,4
T5	4,9	31	141	1,9	48	5	294	55	106	51	0,84	2,8	132	6,0	52,6
T6	4,8	47	316	2,7	80	6	21	89	156	57	1,55	8,9	81	9,6	67,5
T7	4,7	11	128	1,9	20	3	22	25	53	48	0,58	1,7	39	5,7	9,5
T8	5,6	24	108	1,3	42	12	53	55	82	67	0,41	1,2	34	1,2	12,3
T9	5,7	25	136	2,5	58	14	143	75	104	72	0,83	7,5	22	3,4	13,2
T10	4,5	8	109	1,4	20	3	112	24	54	45	0,61	1,8	41	5,6	7,0
T11	5,6	20	89	1,4	33	11	32	45	73	62	0,56	1,0	35	0,9	3,3
T12	5,1	25	33	1,8	32	11	104	45	88	51	0,98	7,4	21	3,5	3,5

Fonte: Laboratório de Fertilidade do solo, DCS-FCA.

Os adubos utilizados para fornecimento de N, P e K foram Nitrato de Cálcio (15,5% de N; 19% de Ca), Fosfato Monoamônico – MAP (9% de N; 48% de P₂O₅) e Cloreto de Potássio (58% de K₂O; 45-48% de Cl), respectivamente, aplicados via sistema de irrigação através do injetor tipo Venturi com auxílio de bomba centrífuga específica para tal finalidade, durante os meses de setembro/2009, outubro/2009, novembro/2009, dezembro/2009, janeiro/2010, fevereiro/2010 e março/2010 nas proporções de 5%; 5%; 10%; 20%; 30%; 20% e 10% do total, respectivamente (ROMEIRO, 2012).

Para a adubação de formação do segundo ano de condução do experimento (2010/2011), utilizaram-se como referência os resultados provenientes da coleta realizada em abril/2010, conforme pode ser visualizado na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados médios da análise química do solo da área experimental por tratamento no ano de 2010, na camada de 0-20cm.

Trat	pH CaCl ₂	MO g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg mmol _c dm ⁻³	S	SB	CTC	V%	B	Cu	Fe mg dm ⁻³	Mn	Zn
T1	4,6	20	535	3,2	91	2	437	96	158	60	1,02	8,6	93	10,5	5,0
T2	4,8	24	837	4,9	165	4	946	173	252	69	1,37	8,4	174	14,7	108,8
T3	4,7	27	867	5,3	203	4	847	212	296	71	1,84	13,3	109	11,8	46,2
T4	4,4	26	585	3,5	79	2	471	85	164	52	0,87	9,3	115	9,4	4,2
T5	4,6	40	679	4,0	120	3	960	127	201	63	1,19	7,6	152	10,1	6,5
T6	4,5	34	733	3,1	132	3	815	138	232	58	1,57	14,0	124	11,3	4,6
T7	5,5	12	270	7,6	34	5	113	46	66	67	0,95	1,9	26	11,1	5,8
T8	5,6	25	322	7,2	43	10	82	61	87	70	0,80	1,6	40	3,1	3,1
T9	5,7	27	371	9,5	52	13	61	74	104	72	0,81	9,4	31	9,8	1,9
T10	4,8	19	252	5,4	28	3	39	37	65	57	0,87	2,9	48	12,1	1,3
T11	5,8	22	254	4,6	36	9	8	50	77	65	0,56	1,4	26	2,8	1,9
T12	5,5	24	372	10,3	41	12	54	64	101	63	1,03	11,2	34	9,6	2,4

Fonte: Laboratório de Fertilidade do solo. DCS-FCA.

A adubação de formação do segundo ano de condução (2010/2011) foi realizada similarmente ao primeiro, com as mesmas fontes de nutrientes e também aplicados via irrigação, porém a fertirrigação iniciou-se no mês de junho 2010 estendendo-se até março de 2011, mensalmente nas proporções de 2,5%; 2,5%; 5%; 5%; 7,5%; 7,5%; 20%; 25%; 15% e 10% do total, respectivamente (ROMEIRO, 2012).

O nitrogênio adicionado ao solo via lodo de esgoto compostado foi aplicado em cobertura, parcelado em duas vezes iguais, tanto na adubação 2009/2010 quanto 2010/2011, nos meses de setembro e novembro (ROMEIRO, 2012).

3.6 Análise química e aplicação do lodo de esgoto e água residuária

O lodo de esgoto utilizado no experimento tem origem na ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) da cidade de Jundiaí, e apresenta composição química conforme dispõe a Tabela 4. Para os tratamentos que receberam lodo de esgoto compostado, a primeira aplicação foi incorporada ao solo no momento da implantação do experimento, e as aplicações posteriores (anuais), foram realizadas a lanço sobre o solo, sem incorporação para não prejudicar o sistema radicular da cultura.

Tabela 4 - Análise química do lodo de esgoto (LE) utilizado no experimento.

pH	C/N	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MO	C	Ca	Mg	S	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
Porcentagem na matéria seca										mg kg ⁻¹ matéria seca				
6,6	12/1	2,44	2,0	0,4	53	29,4	1,9	0,3	1,6	1340	304	23250	472	3750

Fonte: Laboratório de análise de fertilizantes e corretivos. DCS – FCA

A análise desse resíduo foi realizada no Laboratório de Fertilizantes e Corretivos do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP/Câmpus de Botucatu. A taxa de mineralização do N presente no lodo de esgoto compostado adotada foi de 30%, de acordo com as normas estabelecidas pelo CONAMA (2006) para disposição deste resíduo no solo, sendo a dose de lodo aplicado calculada considerando o teor de N presente no material (ROMEIRO, 2012).

A umidade calculada do lodo utilizado no experimento foi de 58%, utilizada para o cálculo da quantidade de material a ser aplicado ao solo. Adotou-se o seguinte cálculo para definição da quantidade de lodo de esgoto compostado a ser aplicado ao solo no primeiro ano de experimento (2009/2010), conforme Romeiro, 2012:

Considerando a necessidade de 160 g de N planta⁻¹ com idade de 1-2 anos, segundo recomendação de Quaggio; Raij; Piza Junior (1996); cada 100 kg de lodo de esgoto na base seca possui 2,44 kg de N; considerando que no primeiro ano 30% do N presente no lodo será mineralizado (CONAMA, 2006); temos a dose aproximada 24 kg lodo (base seca) por planta, que representa 15 t ha⁻¹ de lodo de esgoto.

Já no segundo ano (2010/2011), em função da idade das plantas e de acordo com recomendação de Quaggio; Raij; Piza Junior (1996), são necessários 200g de N planta⁻¹ para satisfazer as necessidades dos citros. Assim sendo: Considerando que existe o resíduo de N em função do material aplicado no ano anterior, que neste caso é de aproximadamente 1,71% em base seca (mantendo uma mineralização de 30% do N que restou no lodo de esgoto). E ainda, adotando-se as mesmas proposições descritas acima para a nova quantidade de lodo de esgoto aplicada ao solo, chegou-se a dose aproximada 10,0 kg lodo (base seca) por planta, que corresponde a 6,25 t ha⁻¹, para fornecer o N necessário ao desenvolvimento das laranjeiras.

A água residuária utilizada no experimento tem origem na Estação de Tratamento de Esgoto da SABESP, localizada na Fazenda experimental Lageado - FCA/UNESP/Botucatu, e apresenta composição química conforme dispõe a Tabela 5. Sua aplicação foi feita diariamente com base na evapotranspiração da cultura, conforme apresentado no item 3.7 Sistema e Manejo de Irrigação.

Tabela 5 – Resultado médio da análise química da água residuária.

pH	C.E. mS	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
5,70	0,654	63	5	17	11	2	19	0,22	0,03	0,22	0,03	0,10

Fonte: Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas. DCS-FCA.

3.7 Sistema e Manejo de Irrigação

Foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento, com 1 emissor autocompensante por planta, cada um com vazão de 4,0 L h⁻¹, pressão de serviço de 25 mca, conforme Figura 4. A manutenção do sistema consistiu em fazer regularmente a lavagem do filtro de discos e das mangueiras (linhas laterais), abrindo o final das linhas a fim de eliminar incrustações de partículas formadas no interior das mesmas, e minimizar problemas na uniformidade de distribuição de água.



Figura 4 – Emissor autocompensante com vazão de 4 L h⁻¹ (1 emissor por planta).

O manejo de irrigação foi realizado com turno de irrigação fixo, onde foram realizadas irrigações todos os dias, variando a lâmina aplicada em função da evapotranspiração da cultura, obtida através da leitura do tanque classe A, localizado na estação meteorológica ao lado do experimento. A lâmina total aplicada foi determinada através da seguinte equação:

$$LTN = \frac{ECAxKpxKc}{Ea}$$

Onde: LTN: Lâmina total necessária (mm)

ECA: Evaporação no tanque classe A (mm)

Kp: Coeficiente do tanque (adimensional)

Kc: Coeficiente da cultura (adimensional)

Ea: Eficiência de aplicação (Decimal)

Quatro reservatórios de água com capacidade para 1m³ cada foram instalados para suprir as necessidades de irrigação (água residuária e água tratada) das plantas.

3.8 Parâmetros avaliados

3.8.1 Análise química do solo

Foram coletadas amostras de solo de cada parcela experimental na camada de 0 a 20 cm, nos meses de abril de 2010, outubro de 2010 e abril de 2011, para determinação dos níveis de fertilidade do solo. Quatro amostras simples foram coletadas e homogeneizadas, secas ao ar e peneiradas para posteriormente ser obtida uma amostra composta por parcela, sendo assim determinados pH, M.O., P, H+Al, Al, Ca, Mg, K, SB, CTC e V%. A análise química foi executada pelo Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP/Campus de Botucatu, segundo metodologia descrita por Raij et al. (2001).

As análises químicas para determinação de boro foram realizadas em extrato de água quente, enquanto para os nutrientes cobre, manganês e zinco em extrato de DTPA a pH 7,3.

3.8.2 Análise física do solo

As amostras de solo para determinação das características físicas foram coletadas em duas camadas, 0 a 10 cm e 11 a 20 cm. A coleta foi realizada aos 28 meses após a primeira aplicação de Lodo de Esgoto, a fim de que quanto maior fosse o tempo de reação do material orgânico no solo, possivelmente melhores resultados seriam encontrados.

No decorrer do experimento foram avaliadas as seguintes características: estabilidade de agregados via seca, argila natural do solo, densidade de

partículas, densidade do solo, condutividade hidráulica do solo saturado e capacidade de retenção de água.

Todas as determinações físicas do solo foram realizadas pelo Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP/Campus de Botucatu, segundo metodologia descrita por Embrapa, (1997).

Para as características estabilidade de agregados via seca, argila natural do solo, densidade de partículas foram retiradas amostras de solo deformadas, enquanto para condutividade hidráulica do solo saturado, densidade do solo e capacidade de retenção de água, foram coletadas amostras indeformadas, com anel volumétrico.

3.9 Análise Estatística

Os resultados foram submetidos à análise estatística, utilizando o software ASSISTAT (SILVA, 2012).

As médias dos resultados obtidos foram analisadas em parcela subdividida, considerando os efeitos das classes de solos, dos tipos de adubação e dos tipos de água e a interação entre eles. As médias dos resultados foram comparadas pelo teste de Tukey a 1% e 5% de probabilidade, quando o F apresentou valor significativo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Física do solo

4.1.1 Densidade do Solo

Com base nos resultados obtidos (Tabela 6) observou-se que houve diferença significativa entre as classes de solos e o tipo de adubação para as duas camadas analisadas, 0 a 10 e 11 a 20 cm. Resultados semelhantes aos encontrados por Santos (2009), que observou diferença significativa entre os tratamentos (testemunha (sem adubação), adubação mineral, 30 Mg ha⁻¹ de biofósforo, 60 Mg ha⁻¹ de biofósforo, solo exposto e cerrado), para os atributos físicos do solo estudados e, em todas as camadas de solo (Latossolo Vermelho distrófico).

Tabela 6 – Resumo da análise de variância da densidade do solo (g cm⁻³). FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios	
		0 a 10 cm	11 a 20 cm
Solo	2	0,49225 **	0,58495 **
Adubação	1	0,12018 **	0,06934 *
Irrigação	1	0,00490 ns	0,00054 ns
Solo x Adubação	2	0,01145 ns	0,01395 ns
Solo x Irrigação	2	0,02178 *	0,00639 ns
Adubação x Irrigação	1	0,00490 ns	0,00321 ns
Solo x Adubação x Irrigação	2	0,01311 ns	0,00059 ns
Coeficiente de Variação (%) Solo		3,97	3,81
Coeficiente de Variação (%) Adubação		4,61	6,59
Coeficiente de Variação (%) Irrigação		5,27	3,91

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F

NS – Não significativo

Analisando a interação solo x irrigação (Tabela 6), verificou-se diferença estatística a 5% de probabilidade apenas para a camada de 0 a 10 cm, após 28 meses de aplicação dos tratamentos.

As três classes de solo se diferiram com relação à densidade do solo para as duas camadas avaliadas, onde, o Nitossolo apresentou os maiores valores seguido do Latossolo e Neossolo, respectivamente (Tabela 7).

Tabela 7 - Valores médios densidade do solo (g cm^{-3}) para os três tipos de solo.

Tipo de Solo	Camada	
	0 – 10 cm	11 – 20 cm
	----- g cm^{-3} -----	
Neossolo	1,42 a	1,53 a
Latossolo	1,22 b	1,28 b
Nitossolo	1,01 c	1,08 c
DMS	0,0698	0,0714

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,01 de probabilidade.

Freitag (2008) salienta que a densidade do solo aumenta com a profundidade do perfil, devido às pressões exercidas pelas camadas superiores sobre as subjacentes, em grande parte pelo tráfego de máquinas agrícolas, ocasionando a compactação, e como consequência, reduzindo a porosidade, o que pode ser confirmado nesse trabalho (Tabela 7), para as três classes de solo estudadas, pois os valores médios de densidade do solo são mais elevados na camada inferior (11 a 20 cm).

A densidade do solo sofreu decréscimos em função da aplicação de lodo de esgoto compostado para as duas camadas avaliadas, conforme apresentado na Tabela 8, reduções esperadas, uma vez que o lodo de esgoto compostado possui grande quantidade de material orgânico em sua composição. Esses resultados reforçam o encontrado por Macedo et al. (2006), que afirmam que a adição de MO ao solo promove uma melhoria na sua estrutura e como consequência uma redução da densidade do solo.

Tabela 8 - Valores médios densidade do solo (g cm^{-3}) para os tipos de adubação.

Tipo de Solo	Camada	
	0 – 10 cm	11 – 20 cm
	----- g cm^{-3} -----	
Químico	1,28 a	1,34 a
Lodo	1,16 b	1,25 b
DMS	0,0459	0,0697

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Contudo, os resultados deste trabalho (Tabela 8) discordam do que foi apresentado por Freitag (2008), que aos 25 meses da reaplicação dos lodos de esgoto centrifugado e tratado com cal virgem (LC) e de biodigestor com adição de polieletrólitos (LB), não promoveu alterações significativas sobre este atributo físico.

Independente do tipo de água utilizada, residuária ou tratada, o Neossolo apresentou maior média de densidade do solo, seguido do Latossolo e Nitossolo respectivamente (Tabela 9).

Tabela 9 - Valores médios para densidade do solo (g cm^{-3}) na interação solo x irrigação, para camada de 0 a 10 cm.

Tipo de Solo	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	----- g cm^{-3} -----	
Neossolo	1,39 aA	1,45 aA
Latossolo	1,23 bA	1,22 bA
Nitossolo	1,07 cA	0,96 cB

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=0,0852; DMS na linha=0,0808.

Observando os resultados apresentados na Tabela 9, verificamos que a irrigação com água residuária diminui a densidade do solo apenas para o Nitossolo, com relação a irrigação com água tratada em 10,28%, na camada de 0 a 10 cm.

4.1.2 Densidade de Partículas

O resumo da análise de variância da densidade de partículas para as camadas amostradas encontra-se na Tabela 10. Verificou-se que a variabilidade, estimada pelo coeficiente de variação (CV), foi considerada relativamente baixa para essa característica física em ambas as camadas estudadas. Pode-se observar pela mesma Tabela que houve diferença significativa entre os tipos de solo, bem como para a interação tipo adubação (química e lodo de esgoto) x tipo irrigação (água tratada e água residuária) na camada de 0 a 10 cm. Na camada de 11 a 20 cm não foi observada diferença significativa para todas as fontes de variação analisadas.

Tabela 10 - Resumo da análise de variância da densidade de partículas (g cm^{-3}).
FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios	
		0 a 10 cm	11 a 20 cm
Solo	2	0,01509 **	0,00883 ns
Adubação	1	0,01802 ns	0,00003 ns
Irrigação	1	0,00000 ns	0,01268 ns
Solo x Adubação	2	0,01294 ns	0,00948 ns
Solo x Irrigação	2	0,00723 ns	0,00923 ns
Adubação x Irrigação	1	0,05267 *	0,00521 ns
Solo x Adubação x Irrigação	2	0,01718 ns	0,01130 ns
Coeficiente de Variação (%) Solo		1,36	2,62
Coeficiente de Variação (%) Adubação		3,03	1,90
Coeficiente de Variação (%) Irrigação		3,06	2,32

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F

NS - Não significativo

Analisando a Tabela 11 percebe-se que a densidade de partículas variou de 2,57 a 2,63 g cm^{-3} . Segundo Heinrichs (2010), os valores dessa característica nos diferentes tipos de solo variam de 2,3 a 2,9 g cm^{-3} , sendo que os principais constituintes de sua determinação são os minerais do solo como quartzo, feldspatos e silicatos. Pela mesma tabela nota-se que o Latossolo apresentou os menores valores médios de densidade de partículas na camada de 0 a 10 cm. Isso ocorreu possivelmente, pois este tipo de solo apresenta textura média, formada principalmente por quartzo e feldspato.

Tabela 11 - Valores médios densidade de partículas (g cm^{-3}) para os três tipos de solo

Tipo de Solo	Camada
	0 – 10 cm
	----- g cm^{-3} -----
Neossolo	2,625 a
Latossolo	2,579 b
Nitossolo	2,637 a
DMS	0,03846

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,01 de probabilidade.

Na Tabela 12 são apresentados os valores médios da densidade de partículas na camada de 0 a 10 cm para a interação tipo de adubação com tipo de água empregada na irrigação das plantas de laranja. Notou-se que o tipo de irrigação seja com água tratada bem como com água residuária sem variação do tipo de adubação não exerceram influencia significativa para essa característica física. Porém verificou-se pela mesma Tabela que quando foi aplicada água tratada combinada com adubação química bem como com adubação orgânica, houve diferença significativa.

Tabela 12: Valores médios para densidade de partículas (g cm^{-3}) na interação adubação x irrigação, para camada de 0 a 10 cm

Adubação	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	----- g cm^{-3} -----	
Químico	2,666 aA	2,600 aA
Lodo	2,561 bA	2,628 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=0,0671 ; DMS na linha= 0,0685

A adubação com lodo de esgoto sob irrigação com água tratada apresentou menores valores de densidade de partículas em relação à adubação química. Este fato ocorreu possivelmente porque o lodo de esgoto é um resíduo rico em matéria orgânica e esta, exerce grande influência nos atributos físicos inclusive na densidade de partículas conforme também relatam Bayer e Mielniczuk (2008), em relação à adubação mineral. Vários autores relatam que a densidade de partículas não é influenciada por alterações mecânicas, mas sim pelo teor de matéria orgânica encontrada em sua composição.

De acordo com Kondo (2013), a densidade da matéria orgânica do solo independente de sua procedência é menor que a densidade da fração mineral, e essa matéria orgânica exerce influência na densidade de partículas do solo reduzindo seu valor, principalmente nas camadas superficiais do solo.

4.1.3 Argila Natural do Solo

Na Tabela 13 encontra-se o resumo da análise de variância da argila natural do solo (g kg^{-1}). Verificou-se que os dados de argila natural do solo não apresentaram significância nos níveis de 0,01 e 0,05 de probabilidade pelo teste F, para a interação solo x irrigação para a camada de 0 a 10 cm e para a interação adubação x irrigação para as duas camadas de coleta. Para as demais causas de variação ocorreu significância somente no nível de 0,01 de probabilidade.

Tabela 13 - Resumo da análise de variância da argila natural do solo (g kg^{-1}).
FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios	
		0 a 10 cm	11 a 20 cm
Solo	2	53650,33333 **	102156,64583 **
Adubação	1	92576,33333 **	95944,08333 **
Irrigação	1	3745,33333 **	1200,00000 **
Solo x Adubação	2	77927,58333 **	74940,39583 **
Solo x Irrigação	2	155,58333 ns	887,68750 **
Adubação x Irrigação	1	6,75000 ns	168,75000 ns
Solo x Adubação x Irrigação	2	1785,25000 **	3548,68750 **
Coeficiente de Variação (%) Solo		15,64	10,38
Coeficiente de Variação (%) Adubação		9,85	10,89
Coeficiente de Variação (%) Irrigação		10,17	7,62

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

NS - Não significativo

O Nitossolo apresentou os maiores valores de argila natural, seguido do Latossolo e do Neossolo para as duas camadas amostradas, conforme apresentado na Tabela 14. O Neossolo neste experimento foi classificado como Neossolo Quartzarênico apesar de ser um solo jovem é formado principalmente por minerais de quartzo o qual compõe a fração arenosa do solo. Este solo é pobre demais em argila, em razão de características inerentes ao próprio material de origem, fato que resultou em menores valores de argila natural do solo.

Tabela 14 - Valores médios da argila natural do solo (g kg^{-1}) para os três tipos de solo.

Tipo de Solo	Camada	
	0 – 10 cm	11 – 20 cm
	----- g kg^{-1} -----	
Neossolo	56,87500 c	34,56250 c
Latossolo	84,62500 b	88,18750 b
Nitossolo	168,12500 a	191,75000 a
DMS	17,51285	11,80587

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,01 de probabilidade.

Já o Nitossolo empregado neste experimento apresentou textura argilosa, e isso explique o fato deste apresentar maiores valores médios da argila natural do solo (g kg^{-1}). Percebe-se pela mesma Tabela que o Nitossolo apresentou maior teor de argila na camada de 11 a 20 cm, como era de se esperar, pois, nesta ordem de solo há a translocação de argila do horizonte superficial para o subsuperficial e que é caracterizado por acúmulo de argila, e classificado como B nítico.

Na Tabela 15 nota-se que independente do tipo de solo empregado, a adubação química aumenta a quantidade de argila dispersa em água, já a adubação orgânica com lodo de esgoto aumenta o grau de flocculação das argilas, reduzindo deste modo a dispersão da argila natural do solo.

Tabela 15 - Valores médios da argila natural do solo (g kg^{-1}) para os tipos de adubação.

Adubação	Camada	
	0 – 10 cm	11 – 20 cm
	----- g kg^{-1} -----	
Química	147,12500 a	149,54170 a
Lodo	59,29167 b	60,12500 b
DMS	6,63816	7,45436

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,01 de probabilidade.

Percebeu-se através da Tabela 16 que para a camada de 0 a 10 cm, a irrigação dos solos cultivados com plantas de laranja com água residuária ocasionou incrementos significativamente superiores nos teores de argila natural (18,72%) em relação à água tratada. Já para a camada de 11 a 20 cm os tratamentos que foram submetidos a irrigação com Água Tratada apresentaram os maiores valores conforme apresentado na Tabela 16.

Tabela 16 - Valores médios da argila natural do solo (g kg^{-1}) para os tipos de irrigação.

Irrigação	Camada	
	0 – 10 cm	11 – 20 cm
	----- g kg^{-1} -----	
Tratada	94,37500 b	109,83330 a
Residuária	112,04170 a	99,83334 b
DMS	6,36361	4,84262

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,01 de probabilidade.

Analisando as Tabelas 17, 18 e 19, independente das interações estudadas, verificou-se que o Nitossolo apresentou maiores teores de argila natural, este fato ocorreu possivelmente, pois a textura do mesmo é argilosa e o Neossolo arenoso (Quartzarênico), conforme discutido anteriormente.

A Tabela 17 apresenta a interação entre os três tipos de solo e os dois tipos de adubação. Verificou-se que a adubação química ocasiona dispersão da argila presente no solo, este fato ficou evidente para o tipo de solo Nitossolo, vale também

ressaltar que o mesmo é argiloso, fato que justifica os maiores valores de argila natural do solo tanto na camada de 0 a 10 cm (Tabela 17), quanto na de 11 a 20 cm (Tabela 18).

Para esse mesmo tipo de solo a adição do lodo de esgoto ocasionou efeito inverso, ou seja reduziu os valores de argila natural na camada de 0 a 10 cm.

Tabela 17 - Valores médios para argila natural (g kg^{-1}) na interação solo x adubação, para camada de 0 a 10 cm

Tipo de Solo	Adubação	
	Químico	Lodo
	----- g kg^{-1} -----	
Neossolo	52,1250 cA	61,6250 abA
Latossolo	97,2500 bA	72,0000 aB
Nitossolo	292,0000 aA	44,2500 bB

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,01 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=18,2154; DMS na linha=11,4976

Comparando a interação entre o tipo de adubação realizada x classe de solo, a adubação química promoveu incremento nos valores de argila natural para duas classes de solo, Latossolo e Nitossolo quando comparada a adubação com Lodo de Esgoto para o período avaliado, na camada de 0 a 10 cm (Tabela 17) e 11 a 20 cm (Tabela 18).

Tabela 18 - Valores médios para argila natural (g kg^{-1}) na interação solo x adubação, para camada de 11 a 20 cm.

Tipo de Solo	Adubação	
	Químico	Lodo
	----- g kg^{-1} -----	
Neossolo	30,1250 cA	39,0000 bA
Latossolo	103,8750 bA	72,5000 aB
Nitossolo	314,6250 aA	68,8750 aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,01 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=14,4672; DMS na linha=12,9113

Analisando a Tabela 19, verificou-se que independente do tipo de água utilizada na irrigação, o solo Nitossolo apresentou os maiores valores para a argila natural na camada de 11 a 20 cm.

Já para o Latossolo notou-se que o tipo de água empregada na irrigação afetou o valor desta característica física. Neste tipo de solo, a irrigação das plantas de laranja com água tratada apresentou valores médios de argila natural

estatisticamente superiores quando comparados com dados da irrigação via água residuária (Tabela 19).

Tabela 19 - Valores médios para argila natural do solo (g kg^{-1}) na interação solo x irrigação, para camada de 11 a 20 cm.

Tipo de Solo	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	----- g kg^{-1} -----	
Neossolo	38,1250 cA	31,0000 cA
Latossolo	101,2500 bA	75,1250 bB
Nitossolo	190,1250 aA	193,3750 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,01 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=12,5871; DMS na linha= 8,3877

Na Tabela 20 observam-se os resultados da comparação dos valores médios da argila natural para a interação tripla: solo, adubação e irrigação para a camada de coleta de 0 a 10 cm. Percebeu-se que a irrigação com água residuária, independente do tipo de solo e adubação, não ocasionou alterações significativas na quantidade de argila natural.

Tabela 20 - Valores médios para argila natural (g kg^{-1}), na interação solo x adubação x irrigação, para camada de 0 a 10 cm.

Tipo de Solo	Adubação	Irrigação	
		Tratada	Residuária
		----- g kg^{-1} -----	
Neossolo	Química	28,0000 B	76,2500 A
Neossolo	Lodo	61,0000 A	62,2500 A
Latossolo	Química	98,7500 A	95,7500 A
Latossolo	Lodo	55,2500 B	88,7500 A
Nitossolo	Química	287,0000 A	297,0000 A
Nitossolo	Lodo	36,2500 B	52,2500 A

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,01 de probabilidade; DMS= 15,5876

Quando as plantas de laranja foram cultivadas no Neossolo e fertilizadas com adubo químico, apresentaram os maiores valores de argila natural mediante a irrigação com água residuária. Este fato não ocorreu com as outras classes de solo, as quais apresentaram os maiores valores de argila natural quando o fornecimento do nitrogênio foi realizado via lodo de esgoto e a água fornecida através da fertirrigação via água residuária.

Tanto verificou-se pelos dados da Tabela 21 que os valores de argila natural para o Nitossolo mediante a adubação química quanto à orgânica com lodo, não são influenciados pelo tipo de água fornecida via irrigação.

Quando as plantas de laranja foram cultivadas em Neossolo e adubadas com nitrogênio mineral, os maiores valores de argila natural foram observados com a irrigação feita mediante o fornecimento água residuária proveniente da estação de tratamento de esgoto urbano. Estudando o comportamento deste mesmo solo mediante o fornecimento de nitrogênio via Lodo de Esgoto, percebeu-se que a irrigação das plantas de laranja com água tratada promoveu incrementos nos valores de argila em torno de 128% em relação à aplicação de água residuária (Tabela 21).

Tabela 21 - Valores médios para argila natural (g kg^{-1}), na interação solo x adubação x irrigação, para camada de 11 a 20 cm.

Irrigação, para camada de 11 a 20 cm.			
Tipo de Solo	Adubação	Irrigação	
		Tratada	Residuária
		----- g kg ⁻¹ -----	
Neossolo	Química	22,0000 B	38,2500 A
Neossolo	Lodo	54,2500 A	23,7500 B
Latossolo	Química	134,7500 A	73,0000 B
Latossolo	Lodo	67,7500 A	77,2500 A
Nitossolo	Química	312,5000 A	316,7500 A
Nitossolo	Lodo	67,7500 A	70.0000 A

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,01 de probabilidade; DMS=11,8619

Para o Latossolo fertilizado com adubo químico, o pior tipo de água para a irrigação das laranjeiras foi a tratada, pois apresentou aumento significativo nos valores de argila natural.

4.1.4 Condutividade hidráulica do solo saturado

A condutividade hidráulica de um solo saturado traduz a maior ou menor facilidade com que a água atravessa o solo. Ela é uma propriedade que não depende apenas do solo, mas sim das características intrínsecas ao próprio solo (porosidade, distribuição dimensional dos poros, ou seja, da geometria do espaço poral) e das características do fluído (densidade e viscosidade) (COLINO, 2006).

Na Tabela 22 estão detalhados os resultados das análises de variância para o parâmetro condutividade hidráulica do solo para as camadas de 0 a 10 cm e 11 a 20 cm. Analisando-a, verifica-se que houve efeito significativo em todas as variáveis amostrados para a condutividade hidráulica do solo. Estes resultados correspondem com os

encontrados por Marciano (1999), que concluiu que a aplicação de resíduos urbanos ao solo leva a modificações de propriedades como a densidade e porosidade total do solo, a condutividade hidráulica do solo saturado e a condutividade hidráulica do solo não saturado.

Tabela 22 - Resumo da análise de variância da condutividade hidráulica do solo (cm h^{-1}). FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios	
		0 a 10 cm	11 a 20 cm
Solo	2	1438,13486 **	361,50043 **
Adubação	1	2446,02130 **	13,80308 **
Irrigação	1	59,42975 **	23,21301 **
Solo x Adubação	2	347,55456 **	18,06542 **
Solo x Irrigação	2	840,34736 **	61,89501 **
Adubação x Irrigação	1	329,64842 **	13,65333 **
Solo x Adubação x Irrigação	2	733,07730 **	7,50231 *
Coeficiente de Variação (%) Solo		15,82	18,59
Coeficiente de Variação (%) Adubação		15,07	17,93
Coeficiente de Variação (%) Irrigação		9,37	18,38

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F

O Neossolo apresentou os menores valores de condutividade hidráulica do solo para as camadas de 0 a 10 cm e 11 a 20 cm, independente do tipo de adubação e irrigação realizada, quando comparada aos solos Latossolo e Nitossolo (Tabela 23).

Tabela 23 – Valores médios da condutividade hidráulica do solo (cm h^{-1}) para os três tipos de solo

Tipo de Solo	Camada	
	0 – 10 cm	11 – 20 cm
	----- cm h^{-1} -----	
Neossolo	4,19188 b	0,72750 c
Latossolo	21,34312 a	2,95500 b
Nitossolo	19,76937 a	9,84500 a
DMS	2,59214	0,90962

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,01 de probabilidade.

A condutividade hidráulica do solo teve seus maiores valores para a camada de 0 a 10 cm, quando foi realizada a adubação orgânica e menores valores foram encontrados quando houve o aumento da camada (Tabela 24), isso pode ter ocorrido possivelmente pelo lodo de esgoto ter sido aplicado sobre o solo, sem a realização da incorporação, o material orgânico foi incorporado ao solo somente na adubação de plantio.

Como também observado por Marciano (1999), eventualmente resíduos orgânicos podem ser aplicados ao solo sem que haja incorporação, entretanto na maioria das vezes esta é feita por ocasião do preparo do solo. Neste caso, as alterações físicas podem ser atribuídas exclusivamente à adição do resíduo, uma vez que o simples revolvimento do solo durante o preparo reconhecidamente altera a densidade, a porosidade total e a distribuição dos diâmetros de poros (CAMARGO, 1983; CASTRO, 1989).

Tabela 24 - Valores médios da condutividade hidráulica do solo (cm h^{-1}) para os tipos de adubação.

Adubação	Camada	
	0 – 10 cm	11 – 20 cm
	----- cm h^{-1} -----	
Química	7,96292 b	5,04542 a
Lodo	22,24000 a	3,97292 b
DMS	1,48605	0,52807

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,01 de probabilidade.

Observando a Tabela 25, pode-se verificar que com a aplicação de água residuária de estação de tratamento de esgoto, ocorreram incrementos da condutividade hidráulica do solo apenas para a camada de 11 a 20 cm, sendo o tratamento irrigado com água tratada superior para a camada superficial de 0 a 10 cm do solo, independente do solo e da adubação utilizados.

Tabela 25 - Valores médios da condutividade hidráulica do solo (cm h^{-1}) para os tipos de irrigação.

Irrigação	Camada	
	0 – 10 cm	11 – 20 cm
	----- cm h^{-1} -----	
Tratada	16,21417 a	3,81375 b
Residuária	13,98875 b	5,20458 a
DMS	0,85797	0,77591

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,01 de probabilidade.

Para os três solos comparados no experimento, a adubação orgânica proporcionou os maiores valores de condutividade hidráulica com relação à adubação química para a camada de 0 a 10 cm. Quanto à condutividade hidráulica, Metzger e Yaron (1987) salientam, para a aplicação de lodo de esgoto, que o efeito dos componentes orgânicos sobre esta propriedade é indireto, através da modificação na condição de

agregação e na porosidade do solo, levando ao seu aumento para umidades próximas à saturação e à sua redução para umidades menores.

Para a condução da cultura da laranja utilizando adubação química ou orgânica, os menores valores para condutividade hidráulica foram encontrados para o Neossolo, também para a mesma camada de coleta (Tabela 26).

Tabela 26 - Valores médios para condutividade hidráulica (cm h^{-1}) na interação solo x adubação, para camada de 0 a 10 cm.

Tipo de Solo	Adubação	
	Químico	Lodo
	----- cm h^{-1} -----	
Neossolo	2,1200 bB	6,2638 cA
Latossolo	10,1000 aB	32,5863 aA
Nitossolo	11,6688 aB	27,8700 bA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,01 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=3,0516; DMS na linha=2,5739

A condutividade hidráulica do solo decresceu conforme aumentou a camada de amostragem. Marciano (1999), afirma que quando se aplica material orgânico na superfície sem posterior incorporação, pode ocorrer a redução da condutividade hidráulica próxima a saturação, devido ao carreamento de partículas orgânicas coloidais que obstruem os macroporos.

Independente do tipo de adubação realizada (química ou orgânica), o Nitossolo apresentou maiores valores para condutividade hidráulica, seguido do Latossolo e Neossolo, para a camada de 11 a 20 cm (Tabela 27). Quando verificamos se houve influência do tipo de adubação para cada solo, observamos que somente para o Nitossolo existiu diferença significativa, com maiores valores de condutividade hidráulica para a adubação química em comparação a adubação orgânica.

Tabela 27 - Valores médios para condutividade hidráulica (cm h^{-1}) na interação solo x adubação, para camada de 11 a 20 cm.

Tipo de Solo	Adubação	
	Químico	Lodo
	----- cm h^{-1} -----	
Neossolo	1,0300 cA	0,4250 cA
Latossolo	2,5650 bA	3,3450 bA
Nitossolo	11,5413 aA	8,1488 aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,01 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=1,0773; DMS na linha=0,9146

Comparando os três solos na camada de coleta de 0 a 10 cm, com relação a aplicação de água tratada ou residuária no cultivo de laranja, podemos verificar que o Neossolo proporcionou os menores valores de condutividade hidráulica para os dois tipos de água de irrigação na camada de 0 a 10 cm (Tabela 28) e 11 a 20 cm (Tabela 29).

Tabela 28 - Valores médios para condutividade hidráulica do solo (cm h^{-1}) na interação solo x irrigação, para camada de 0 a 10 cm.

Tipo de Solo	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	----- cm h^{-1} -----	
Neossolo	5,8700 cA	2,5138 cB
Latossolo	29,4038 aA	13,2825 bB
Nitossolo	13,3688 bB	26,1700 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,01 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=2,6518 ; DMS na linha= 1,4861

A aplicação de água tratada via irrigação, proporcionou maiores resultados de condutividade hidráulica para os solos Neossolo e Latossolo na camada de 0 a 10 cm (Tabela 28), enquanto que para o Nitossolo, a irrigação com água residuária de estação de tratamento de esgoto agregou maiores valores de condutividade hidráulica para as duas camadas amostradas.

Tabela 29 - Valores médios para condutividade hidráulica do solo (cm h^{-1}) na interação solo x irrigação, para camada de 11 a 20 cm.

Tipo de Solo	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	----- cm h^{-1} -----	
Neossolo	0,7725 cA	0,6825 cA
Latossolo	3,7488 bA	2,1613 bB
Nitossolo	6,9200 aB	12,7700 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,01 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=1,3502 ; DMS na linha= 1,3439

Analisando a Tabela 30, verifica-se que quando aplicamos lodo de esgoto compostado, a condutividade hidráulica é maior tanto para o tratamento com irrigação com água tratada, quanto com água residuária na camada de 0 a 10 cm. Resultados esses que concordam com os encontrados por Colino (2006), que avaliando a aplicação de lodo de esgoto em três épocas distintas, notou-se que em todas as amostras o efeito da adição de lodo melhora a condutividade hidráulica de solo saturado.

Podemos observar também que, a irrigação com água residuária apresentou maiores valores para a característica condutividade, em comparação a irrigação com água tratada quando realizamos a adubação química, enquanto que, quando realizamos a adubação orgânica é melhor irrigar com água tratada, pois proporcionou maiores valores de condutividade hidráulica para a camada de 0 a 10 cm.

Tabela 30 - Valores médios para condutividade hidráulica (cm h^{-1}) na interação adubação x irrigação, para camada de 0 a 10 cm.

Adubação	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	----- cm h^{-1} -----	
Químico	6,4550 bB	9,4708 bA
Lodo	25,9733 aA	18,5067 aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,01 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=1,6407; DMS na linha= 1,2134

Para a camada de 11 a 20 cm, a condutividade hidráulica foi maior para o tratamento irrigado com água residuária quando fertilizado com adubo químico, em comparação ao fertilizado com adubo orgânico (Tabela 31).

Tabela 31 - Valores médios para condutividade hidráulica (cm h^{-1}) na interação adubação x irrigação, para camada de 11 a 20 cm.

Adubação	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	----- cm h^{-1} -----	
Químico	3,8167 aB	6,2742 aA
Lodo	3,8108 aA	4,1350 bA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,01 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=0,8971; DMS na linha= 1,0973

Os solos, Neossolo e Latossolo fertilizados com lodo de esgoto compostado, apresentaram os maiores valores de condutividade hidráulica para a camada de 0 a 10 cm quando irrigamos com água tratada. Porém, quando realizamos a irrigação com água residuária de estação de tratamento de esgoto, o Latossolo e o Nitossolo fertilizados com adubo químico e o Nitossolo fertilizado com lodo de esgoto foram os tratamentos que obtiveram valores mais altos para condutividade hidráulica (Tabela 32).

Tabela 32 - Valores médios para condutividade hidráulica (cm h^{-1}), na interação solo x adubação x irrigação, para camada de 0 a 10 cm.

Tipo de Solo	Adubação	Irrigação	
		Tratada	Residuária
		-----cm h ⁻¹ -----	
Neossolo	Química	2,5000 A	1,7400 A
Neossolo	Lodo	9,2400 A	3,2875 B
Latossolo	Química	8,2075 B	11,9925 A
Latossolo	Lodo	50,6000 A	14,5725 B
Nitossolo	Química	8,6575 B	14,6800 A
Nitossolo	Lodo	18,0800 B	37,6600 A

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,01 de probabilidade; DMS=2,1016

Avaliando a Tabela 33, verifica-se que quando se aplica lodo de esgoto compostado no Latossolo, os maiores valores para condutividade hidráulica são encontrados para irrigação com água tratada, em relação a irrigação com efluente urbano, para a camada de coleta de 11 a 20 cm. Se torna viável a utilização de efluente urbano para a camada de 11 a 20 cm, quando trabalhamos com o Nitossolo independente da adubação aplicada, química ou orgânica, para a característica condutividade hidráulica.

Tabela 33 - Valores médios para condutividade hidráulica (cm h^{-1}), na interação solo x adubação x irrigação, para camada de 11 a 20 cm.

Tipo de Solo	Adubação	Irrigação	
		Tratada	Residuária
		----- cm h ⁻¹ -----	
Neossolo	Química	1,0725 A	0,9875 A
Neossolo	Lodo	0,4725 A	0,3775 A
Latossolo	Química	3,0675 A	2,0625 A
Latossolo	Lodo	4,4300 A	2,2600 B
Nitossolo	Química	7,3100 B	15,7725 A
Nitossolo	Lodo	6,5300 B	9,7675 A

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; DMS=1,9006

4.1.5 Estabilidade de agregados via seco

Os agregados do solo são formados pela união das partículas de areia, silte, argila e matéria orgânica (CASTRO FILHO, 2002). A distribuição dos agregados em classes de tamanho (diâmetro) reflete o comportamento dos agregados no solo e serve como um instrumento indicador de qualidade do solo. Sabe-se que um solo bem agregado favorece a penetração das raízes das plantas, a aeração, a infiltração e o armazenamento de água (CASTRO FILHO, 2002; FILIZOLA et al., 2006).

Segundo Filizola et al. (2006), para haver a formação dos agregados no solo são necessárias duas condições: que haja uma força mecânica qualquer para promover a aproximação das partículas do solo, como o movimento de raízes e de animais, expansão e contração do solo ou práticas agrícolas, e após o contato entre as partículas, deve existir um agente cimentante que mantenha essa união, formando assim um agregado. A matéria orgânica juntamente com os minerais de argila são os dois agentes cimentantes que mais contribuem para a agregação do solo (FREITAG, 2008).

Na Tabela 34 estão detalhados os resultados das análises de variância para o parâmetro estabilidade de agregados via seco do solo para a camada de 0 a 10 cm. Verificou-se que houve efeito significativo dos tipos de solo sob todas as classes de agregados a nível de 1% de probabilidade. Quando observa-se a interação adubação x irrigação, encontramos resultados significativos para a classe de 4,0 – 2,0 mm, 1,0 – 0,5 mm e 0,5 – 0,25 mm, enquanto para a interação solo x irrigação e solo x adubação x irrigação foram observadas diferenças apenas nas classes < 0,25 mm e 1,0 – 0,5 mm respectivamente (Tabela 34).

Tabela 34 - Resumo da análise de variância da estabilidade de agregados via seco (%), na camada de 0 – 10 cm. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios				
		4,0-2,0 mm	2,0-1,0 mm	1,0-0,5 mm	0,5-0,25 mm	< 0,25 mm
Solo	2	847,19444 **	216,44444 **	21,58333 **	84,69444 **	842,52778 **
Adubação	1	12,25000 ns	5,44444 ns	0,11111 ns	3,36111 ns	1,77778 ns
Irrigação	1	156,25000 ns	21,77778 ns	0,44444 ns	0,25000 ns	11,11111 ns
Solo x Adubação	2	9,25000 ns	5,44444 ns	1,02778 ns	3,69444 ns	7,86111 ns
Solo x Irrigação	2	22,75000 ns	38,77778 ns	0,86111 ns	0,75000 ns	0,02778 **
Adubação x Irrigação	1	738,02778 *	25,00000 ns	7,11111 **	38,02778 **	100,00000 ns
Solo x Adub. x Irrig.	2	146,02778 ns	16,33333 ns	2,19444 **	6,19444 ns	18,58333 ns
C.V. (%) Solo		9,96	18,85	26,74	28,71	29,09
C.V. (%) Adubação		12,95	26,23	22,01	14,92	20,95
C.V. (%) Irrigação		19,52	24,30	18,60	25,52	25,80

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F

NS - Não significativo

Na Tabela 35 encontram-se os valores médios da estabilidade de agregados do solo via seco nas diferentes peneiras. Verificou-se que o Nitossolo apresentou as classes de agregados com maiores diâmetros (4,0 – 2,0 mm; 2,0 – 1,0 mm), este fato ocorreu porque este solo possui altos teores de argila, logo a argila é um dos principais agentes estabilizantes, cimentantes e agregantes das partículas do solo. Nota-se, nitidamente, a correlação entre a textura com a agregação do solo. Em contrapartida,

notou-se que o Neossolo apresentou a menor concentração de agregados nas classes de tamanho citadas anteriormente, cabe salientar que solos arenosos apresentam baixo índice de agregação, resultando em aumento de agregados nas classes de menor tamanho. Estes resultados concordam com os de Berton et al., (2004) citado por Freitag (2008), que afirmam que a estabilidade da estrutura varia com as características intrínsecas do solo e com os sistemas de manejo e cultivo.

Tabela 35 – Valores médios da estabilidade de agregados via seco (%), na camada de 0 – 10 cm. Para os três tipos de solo.

Tipo de Solo	Peneiras				
	4,0 – 2,0 mm	2,0 – 1,0 mm	1,0 – 0,5 mm	0,5 – 0,25 mm	< 0,25 mm
	----- % -----				
Neossolo	56,83333 b	11,66667 b	1,58333 b	5,33333 b	23,00000 a
Latossolo	52,41667 b	19,33333 a	4,25000 a	8,66667 a	15,08333 a
Nitossolo	68,66666 a	18,66667 a	2,66667 b	3,41667 b	6,25000 b
DMS	8,52726	4,50373	1,50231	2,40563	8,33680

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,01 de probabilidade.

Verificou-se que a adubação química independente do tipo de água de irrigação empregada não ocasiona alterações na formação de agregados pertencentes à classe de 4,0 – 2,0 mm na camada de 0 a 10 cm (Tabela 36). Já a irrigação com água tratada combinada com adubação orgânica proveniente do lodo de esgoto compostado, bem como a irrigação com água residuária associada à adubação química, mantém concentração de agregados nesta classe. Percebe-se o efeito positivo da matéria orgânica proveniente do lodo de esgoto, indicando que a matéria orgânica é um dos principais agentes de formação e estabilização de agregados do solo, principalmente em solos com baixo teor de argila.

Tabela 36 - Valores médios para estabilidade de agregados via seca (%), peneira de 4,0-2,0 mm na interação adubação x irrigação, para camada de 0 a 10 cm.

Adubação	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	----- % -----	
Químico	57,4444 aA	62,3333 aA
Lodo	65,3333 aA	52,1111 bB

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=9,7266; DMS na linha= 11,8870

Analisando a classe de agregados retidos na peneira de 1,0 a 0,5 mm, percebeu-se através da Tabela 37, que a adubação química e irrigação com água tratada bem como, a adição de lodo de esgoto compostado associado ao fornecimento de água residuária via irrigação, forma estatisticamente superiores, portanto preservam esta classe de agregados.

Tabela 37 - Valores médios para estabilidade de agregados via seca (%), peneira de 1,0-0,5 mm na interação adubação x irrigação, para camada de 0 a 10 cm.

Adubação	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	----- % -----	
Químico	3,3333 aA	2,2222 bB
Lodo	2,5556 bB	3,2222 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,01 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas= 0,5831; DMS na linha= 0,5411

Estudando os valores médios de agregados retidos na peneira de 1,0-0,5 mm apresentados na Tabela 38, para a interação solo x adubação x irrigação, verificou-se que o Nitossolo não apresentou diferença estatística quando submetido a diferentes formas de adubação e irrigação para o parâmetro analisado. Já o emprego de água tratada combinada com adubação química tanto no Latossolo quanto no Neossolo foi superior em relação os valores médios de agregados retidos na peneira em estudo.

Tabela 38 - Valores médios para estabilidade de agregados via seca (%), peneira de 1,0-0,5 mm, na interação solo x adubação x irrigação, para camada de 0 a 10 cm.

Tipo de Solo	Adubação	Irrigação	
		Tratada	Residuária
		----- % -----	
Neossolo	Química	2,0000 A	1,0000 B
Neossolo	Lodo	2,0000 A	1,3333 A
Latossolo	Química	5,3333 A	3,6667 B
Latossolo	Lodo	3,0000 B	5,0000 A
Nitossolo	Química	2,6667 A	2,0000 A
Nitossolo	Lodo	2,6667 A	3,3333 A

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,01 de probabilidade; DMS=0,9372

Os valores médios da classe de agregados retidos na peneira de 0,5 a 0,25 mm encontram-se na Tabela 39, que a adubação química e irrigação com água tratada bem como, a adição de lodo de esgoto associado ao fornecimento de água

residuária via irrigação, foram estatisticamente superiores, portanto preservam esta classe de agregados. Quando as plantas de laranja foram irrigadas com água tratada notou-se que a adubação química preservou o diâmetro dos agregados concentrando-os nesta classe de tamanho.

Tabela 39 - Valores médios para estabilidade de agregados via seca (%), peneira de 0,5-0,25 mm na interação adubação x irrigação, para camada de 0 a 10 cm.

Adubação	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	----- % -----	
Químico	6,4444 aA	4,5556 bB
Lodo	5,0000 bB	7,2222 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,01 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=1,2012; DMS na linha= 1,5209

A interação solo x irrigação, para os valores médios da classe de agregados retidos na peneira de inferior a 0,25 mm na camada de 0 a 10 cm são apresentados na Tabela 40. Verificou-se que a qualidade da água (tratada ou residuária) em todos os solos estudados, não ocasionou diferenças estatísticas para este tamanho de partículas de solo. Percebeu-se que o Neossolo apresentou maior quantidade de partículas e este fato está, relacionado com as características mineralógicas do solo estudado.

Tabela 40 - Valores médios para estabilidade de agregados via seca (%), peneira <0,25 mm na interação solo x irrigação, para camada de 0 a 10 cm .

Tipo de Solo	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	----- % -----	
Neossolo	22,5000 aA	23,5000 aA
Latossolo	14,5000 abA	15,6667 abA
Nitossolo	5,6667 bA	6,8333 bA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,01 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=9,5035; DMS na linha= 8,5101

O resumo da análise de variância da estabilidade de agregados encontra-se na Tabela 41 para a camada de 11- 20 cm. Verificou-se significância para as seguintes causas de variação: solo em todas as classes de agregados, e para a interação adubação x irrigação somente nas classes de agregados de 1,0 a < 0,25 mm.

Tabela 41 - Resumo da análise de variância da estabilidade de agregados via seco (%), na camada de 11 – 20 cm. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios				
		4,0-2,0 mm	2,0-1,0 mm	1,0-0,5 mm	0,5-0,25 mm	< 0,25 mm
Solo	2	1572,25000 **	110,25000 *	10,77778 **	61,00000 **	1125,58333 **
Adubação	1	230,02778 ns	1,36111 ns	2,25000 ns	20,25000 ns	96,69444 ns
Irrigação	1	0,02778 ns	3,25000 ns	0,02778 ns	0,25000 ns	10,02778 ns
Solo x Adubação	2	55,02778 ns	80,52778 ns	0,33333 ns	0,33333 ns	6,36111 ns
Solo x Irrigação	2	44,19444 ns	12,12500 ns	0,11111 ns	0,33333 ns	9,69444 ns
Adubação x Irrigação	1	148,02778 ns	6,19444 ns	4,69444 **	23,36111 **	30,25000 *
Solo x Adub. x Irrig.	2	1,86111 ns	21,48611 ns	1,44444 ns	5,44444 ns	0,58333 ns
C.V. (%) Solo		10,00	15,79	19,67	10,74	26,55
C.V. (%) Adubação		16,78	14,25	29,30	15,04	15,48
C.V. (%) Irrigação		9,98	15,10	20,56	22,10	19,67

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F

NS - Não significativo

Também nesta camada o Nitossolo apresentou-se superior em relação ao tamanho das partículas de solo, concentrando em torno de 83,50 % de seus valores médios na classe de 4,0 – 2,0 mm, conforme pode ser observado na Tabela 42.

Tabela 42 - Valores médios da estabilidade de agregados via seco (%), na camada de 11 – 20 cm para as três classes de solo.

Tipo de Solo	Peneiras				
	4,0 – 2,0 mm	2,0 – 1,0 mm	1,0 – 0,5 mm	0,5 – 0,25 mm	< 0,25 mm
	----- % -----				
Neossolo	62,25000 b	9,66667 b	0,91667 c	4,41667 b	22,75000 a
Latossolo	65,50000 b	14,91667 a	2,75000 a	6,41667 a	10,33333 b
Nitossolo	83,50000 a	9,66667 b	1,41667 b	1,91667 c	3,66667 c
DMS	10,16359	4,30905	0,48113	0,65881	6,46169

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Na Tabela 43 verifica-se que quando o fertilizante é o lodo de esgoto, e a água utilizada na irrigação foi a residuária, melhores valores de agregados são encontrados na peneira de 1,0 – 0,5 mm para a camada de 11 a 20 cm.

Tabela 43 - Valores médios para estabilidade de agregados via seca (%), peneira de 1,0-0,5 mm na interação adubação x irrigação, para camada de 11 a 20 cm.

Adubação	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	----- % -----	
Químico	1,7778 aA	1,1111 bA
Lodo	1,5556 aB	2,3333 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=1,1383; DMS na linha= 0,7055

Comparando a adubação química e orgânica, verificou-se que os maiores valores de estabilidade de agregados via seca foram encontrados quando as plantas de laranja foram irrigadas com água residuária, para peneira 0,5 – 0,25 mm na Tabela 44, e para peneira <0,25 mm na Tabela 45.

Tabela 44 - Valores médios para estabilidade de agregados via seca (%), peneira de 0,5-0,25 mm na interação adubação x irrigação, para camada de 11 a 20 cm.

Adubação	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	----- % -----	
Químico	4,2222 aA	2,7778 bB
Lodo	4,1111 aB	5,8889 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=2,0106 ; DMS na linha= 1,4006

Tabela 45 - Valores médios para estabilidade de agregados via seca (%), peneira de <0,25 mm na interação adubação x irrigação, para camada de 11 a 20 cm.

Adubação	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	----- % -----	
Químico	11,0000 aA	10,2222 bA
Lodo	12,4444 aB	15,3333 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=3,6896; DMS na linha= 2,4737

4.1.6 Retenção de água no solo

O solo além de fornecer nutrientes e suporte físico às plantas, tem a função de armazenamento e disponibilidade de água. O armazenamento de água do solo tem como limite superior a capacidade de campo (CC) e limite inferior o ponto de murcha permanente (PMP), intervalo este denominado de água disponível. Para a determinação da capacidade de campo para solos de textura arenosa, é comum utilizar como referência a tensão de 0,1 atm, enquanto que para solos de textura argilosa, utiliza-se tensão de 0,33 atm (BERNARDO et al., 2008).

Procurando verificar se a adição ao solo de lodo de esgoto compostado e água residuária podem aumentar a capacidade de armazenamento de água do solo, foi avaliada a retenção de água do solo nas tensões de 0,1 e 0,33 atm, e a porosidade total do solo (solo saturado), para as camadas de 0 a 10 e 11 a 20 cm.

A característica retenção de água do solo, indica o volume máximo que cada solo pode armazenar, dependendo de sua textura, teor de matéria orgânica e manejo adotado. Na Tabela 46, verifica-se que após 28 meses da aplicação de lodo de esgoto compostado e irrigação com água residuária, as três classes de solo apresentaram diferenças significativas a 1% de probabilidade nas tensões aplicadas, enquanto para o tipo de adubação mostrou diferenças apenas para solo saturado (porosidade total) e tensão de 0,10 atm, para a camada de 0 a 10 cm.

Tabela 46 - Resumo da análise de variância da retenção de água no solo ($\text{dm}^3\text{dm}^{-3}$), na camada de 0 – 10 cm. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios		
		Solo Saturado	0,10 atm	0,33atm
Solo	2	0,07054 **	0,10941**	0,09588**
Adubação	1	0,01604**	0,00967**	0,00160ns
Irrigação	1	0,00071 ns	0,00147 ns	0,00218ns
Solo x Adubação	2	0,00148 ns	0,00545 *	0,00333 *
Solo x Irrigação	2	0,00334*	0,00135ns	0,00111ns
Adubação x Irrigação	1	0,00090 ns	0,00034ns	0,00040 ns
Solo x Adub. x Irrig.	2	0,00223 *	0,00025ns	0,00043ns
C.V. (%) Solo		2,87	5,34	8,64
C.V. (%) Adubação		3,97	8,24	8,67
C.V. (%) Irrigação		4,39	10,69	10,20

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F

NS - Não significativo

O solo Nitossolo por possuir menor diâmetro de partículas do solo, conseqüentemente maior superfície específica, apresentou os maiores valores de retenção de água para todas tensões analisadas, o que indica que o mesmo possui maior capacidade de armazenamento de água, quando comparado aos solos Latossolo e Neossolo, que pode ser observado na Tabela 47, para a camada de 0 a 10 cm, e também na Tabela 54 para a camada de 11 a 20 cm.

Tabela 47 - Valores médios da retenção de água no solo ($\text{dm}^3\text{dm}^{-3}$), na camada de 0 – 10 cm para os três tipos de solo.

Tipo de Solo	Tensão		
	Solo Saturado	0,10 atm	0,33atm
		----- $\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$ -----	
Neossolo	0,46333 c	0,18250 c	0,14667 c
Latossolo	0,53833 b	0,27167 b	0,22500 b
Nitossolo	0,61667 a	0,37333 a	0,32500 a
DMS	0,02237	0,02125	0,02897

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,01 de probabilidade.

Quando a aplicação do N ao solo foi realizada via adubo orgânico (lodo de esgoto compostado), observa-se que para a camada de 0 a 10 cm as três classes de solo aumentaram a porosidade total do solo (solo saturado), enquanto para a tensão de 0,10 atm, a adubação química apresentou maiores valores para a característica de retenção de água no solo (Tabela 48).

Tabela 48 - Valores médios da retenção de água no solo ($\text{dm}^3\text{dm}^{-3}$), na camada de 0 – 10 cm para adubação.

Adubação	Tensão	
	Solo Saturado	0,10 atm
	----- $\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$ -----	
Química	0,51833 b	0,29222 a
Lodo	0,56056 a	0,25944 b
DMS	0,01746	0,01854

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,01 de probabilidade.

O que reforça o encontrado por Sampaio, (2010), onde afirma que para a determinação de porcentagem de água retida pelo solo, observa-se que aos seis meses após a aplicação de lodo de esgoto houve influência dos tratamentos no solo saturado (porosidade total) e na tensão de 0,006 MPa, e quando aplicada a maior dose de lodo de esgoto houve maior retenção de água pelo solo. Estes resultados podem ser atribuídos à formação de agregados maiores que, consequentemente, influenciam na mobilidade de água no solo, e com a característica de grande capacidade de retenção de água apresentada pelos materiais orgânicos.

Observando a Tabela 49, verificamos que o solo Neossolo apresentou menores valores de retenção de água no solo, para a camada de 0 a 10 cm quando aplicada a tensão de 0,1 atm, independente do tipo de adubação realizada. Para os solos Latossolo e Nitossolo, o maior armazenamento de água se deu quando realizada a adubação química, para a tensão de 0,1 atm na camada de coleta de 0 a 10 cm.

Tabela 49 - Valores médios para retenção de água no solo ($\text{dm}^3\text{dm}^{-3}$), na interação solo x adubação na tensão de 0,1 atm, para camada de 0 a 10 cm.

Tipo de Solo	Adubação	
	Químico	Lodo
	----- $\text{dm}^3\text{dm}^{-3}$ -----	
Neossolo	0,1767 cA	0,1883 cA
Latossolo	0,2900 bA	0,2533 bB
Nitossolo	0,4100 aA	0,3367 aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=0,0303; DMS na linha=0,0321

Para a tensão de 0,33 atm ao solo, na camada de 0 a 10 cm, verificou-se (Tabela 50), que o Nitossolo foi superior na característica de retenção de água no solo, independente da adubação utilizada. Contudo, é indicada a utilização de adubação química para o referido solo, devido a sua retenção de água ter sido maior em relação à adubação com lodo de esgoto compostado.

Segundo Marciano et al. (2001), quando o solo originalmente possui uma boa estrutura, podem não ocorrer melhorias nos atributos físicos, mesmo com a aplicação de grandes quantidades de lodo, principalmente em propriedades com grande variabilidade espacial, como as de transmissão de água no solo.

Tabela 50 - Valores médios para retenção de água no solo ($\text{dm}^3\text{dm}^{-3}$), na interação solo x adubação na tensão de 0,33 atm, para camada de 0 a 10 cm.

Tipo de Solo	Adubação	
	Químico	Lodo
	----- $\text{dm}^3\text{dm}^{-3}$ -----	
Neossolo	0,1367 cA	0,1567 cA
Latossolo	0,2317 bA	0,2183 bA
Nitossolo	0,3483 aA	0,3017 aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=0,0318; DMS na linha=0,0284

A porosidade total do solo (solo saturado) foi maior para o Nitossolo, independente do tipo de água utilizado na irrigação das plantas cítricas, quando comparado aos dois outros tipos de solo, contudo, é indicado realizar a irrigação para o referido solo com água residuária, pois a mesma proporcionou os melhores valores de porosidade (Tabela 51).

Tabela 51 – Valores médios para retenção de água no solo ($\text{dm}^3\text{dm}^{-3}$), na interação solo x irrigação para solo saturado, para camada de 0 a 10 cm.

Tipo de Solo	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	----- $\text{dm}^3\text{dm}^{-3}$ -----	
Neossolo	0,4750 cA	0,4517 cA
Latossolo	0,5350 bA	0,5417 bA
Nitossolo	0,5950 aB	0,6383 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=0,0298; DMS na linha=0,0298

Apenas os tratamentos Neossolo fertilizado com adubo químico e Nitossolo fertilizado com lodo de esgoto compostado, apresentaram diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, em comparação ao tipo de água utilizado na irrigação das laranjeiras, conforme apresentado na Tabela 52, para a camada de 0 a 10 cm, em solo saturado. A irrigação com água tratada para o solo Neossolo fertilizado com adubo químico foi superior em 13,27%, quando comparada a irrigação com água residuária. Enquanto que, para o Nitossolo adubado com lodo de esgoto compostado, houve incremento de 9,78% quando irrigado com água residuária em comparação a irrigação com água tratada.

Tabela 52 - Valores médios para porosidade total do solo ($\text{dm}^3\text{dm}^{-3}$), na interação solo x adubação x irrigação em solo saturado, para camada de 0 a 10 cm.

Tipo de Solo	Adubação	Irrigação	
		Tratada	Residuária
		----- $\text{dm}^3\text{dm}^{-3}$ -----	
Neossolo	Química	0,4833 A	0,4267 B
Neossolo	Lodo	0,4667 A	0,4767 A
Latossolo	Química	0,4967 A	0,5233 A
Latossolo	Lodo	0,5733 A	0,5600 A
Nitossolo	Química	0,5767 A	0,6033 A
Nitossolo	Lodo	0,6133 B	0,6733 A

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; DMS=0,0421

Analisando o resumo da análise de variância da retenção de água no solo (Tabela 53), verificou-se que a adição de lodo de esgoto e água residuária não proporcionaram incrementos significativos para retenção de água na camada de 11 a 20 cm, verificando diferença apenas entre os tipos de solo, para as tensões, saturado, 0,1 e 0,33 atm e para o tipo de adubação fornecida, quando o solo encontrava-se saturado.

Possivelmente isso ocorreu devido a aplicação do lodo de esgoto ter sido realizada de forma superficial na segunda aplicação, sem a incorporação do material orgânico ao solo, o que não resultou em modificação da retenção de água do solo na camada de 11 a 20 cm.

Tabela 53 - Resumo da análise de variância da retenção de água no solo ($\text{dm}^3\text{dm}^{-3}$), na camada de 11 – 20 cm. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios		
		Solo Saturado	0,10 atm	0,33atm
Solo	2	0,08529 **	0,09581 **	0,08416 **
Adubação	1	0,00967 *	0,00160 ns	0,00080ns
Irrigação	1	0,00023 ns	0,00250 ns	0,00147 ns
Solo x Adubação	2	0,00205 ns	0,00040 ns	0,00069 ns
Solo x Irrigação	2	0,00086 ns	0,00173 ns	0,00120 ns
Adubação x Irrigação	1	0,00034 ns	0,00360 ns	0,00380 ns
Solo x Adub. x Irrig.	2	0,00007 ns	0,00223 ns	0,00255 ns
C.V. (%) Solo		3,64	7,19	6,64
C.V. (%) Adubação		5,74	10,28	10,74
C.V. (%) Irrigação		4,13	10,78	11,12

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F

NS - Não significativo

O armazenamento de água na camada de 11 a 20 cm, encontrado nesse trabalho é maior para o Nitossolo, seguido do Latossolo e Neossolo, o que já era esperado em função da textura dos mesmos, conforme apresentado na Tabela 54.

Tabela 54 - Valores médios da retenção de água no solo ($\text{dm}^3\text{dm}^{-3}$), na camada de 11 – 20 cm para os três tipos de solo.

Tipo de Solo	Tensão		
	Solo Saturado	0,10 atm	0,33 atm
	----- $\text{dm}^3\text{dm}^{-3}$ -----		
Neossolo	0,42333 c	0,22333 c	0,18667 c
Latossolo	0,51583 b	0,28833 b	0,24000 b
Nitossolo	0,59167 a	0,40000 a	0,35083 a
DMS	0,02679	0,03155	0,02483

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,01 de probabilidade.

A substituição do adubo químico por adubo orgânico, no cultivo de plantas de laranja em três classes de solo, na camada de 11 a 20 cm, se tornou viável apenas para o solo saturado (Tabela 55), o que não interferiu no armazenamento de água do solo, uma vez que parte da água retida com o solo saturado é denominada de “água gravitacional”, que será percolada através da força da gravidade.

Tabela 55 - Valores médios da retenção de água no solo ($\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$), na camada de 11 – 20 cm para adubação.

Adubação	Tensão	
	Solo Saturado	
	----- $\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$ -----	
Química	0,49389 b	
Lodo	0,52667 a	
DMS	0,02389	

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

4.2 Química do solo

4.2.1 pH

Ao analisar o pH do solo (Tabela 56), primeira coleta, não foram observadas diferenças estatísticas para a variável solo, bem como para as interações solo x adubação, adubação x irrigação. Já em relação à segunda coleta, efeitos significativos foram observados para as variáveis solo e adubação ($p < 0,01$), e na terceira coleta para as variáveis solo e irrigação a 5% de probabilidade e a adubação e solo x adubação a 1% de probabilidade.

Tabela 56 - Resumo da análise de variância para os valores de pH do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios		
		1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta
Solo	2	0,2579 ns	0,5329 **	0,8954 *
Adubação	1	5,1338 **	7,3704 **	4,6817 **
Irrigação	1	0,2204 *	0,0504 ns	0,4267 *
Solo x Adubação	2	0,0763 ns	0,1092 ns	0,1404 **
Solo x Irrigação	2	0,1154 *	0,0379 ns	0,0104 ns
Adubação x Irrigação	1	0,0004 ns	0,0704 ns	0,0267 ns
Solo x Adubação x Irrigação	2	0,0904 ns	0,0079 ns	0,1404 ns
Coeficiente de Variação (%) Solo		4,57	0,40	3,14
Coeficiente de Variação (%) Adubação		3,56	3,41	1,02
Coeficiente de Variação (%) Irrigação		2,84	4,73	5,09

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F

NS - Não significativo

No caso do Neossolo, constatou-se queda do valor de pH ao se utilizar água residuária na adubação. Resultado semelhante foi obtido por Simonete (2001), que verificou decréscimo do pH com a utilização do lodo de esgoto compostado, com consequente acréscimo nos teores de Al e H+Al. Ao contrário, o Latossolo e o Nitossolo não apresentaram diferença quanto ao uso da irrigação (Tabela 57).

Tabela 57 - Valores médios de pH do solo na interação solo x irrigação, para a primeira coleta de solo (Botucatu-SP, abril de 2010).

Tipo de Solo	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	-----CaCl ₂ -----	
Neossolo	5,0500 a A	4,6000 b B
Latossolo	5,1500 a A	5,1750 a A
Nitossolo	5,1750 a A	5,0250 ab A

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas= 0,4787; DMS na linha= 0,2472

Quanto aos valores médios de pH do solo na interação solo x adubação, para a terceira coleta de solo (Tabela 58), observou-se que o lodo de esgoto reduziu os valores de pH dos três diferentes tipos de solo, tornando-os mais ácidos.

Tabela 58 - Valores médios de pH do solo na interação solo x adubação, para a terceira coleta de solo (Botucatu, abril de 2011).

Tipo de Solo	Adubação	
	Químico	Lodo
	----- CaCl ₂ -----	
Neossolo	4,8500 b A	4,2500 b B
Latossolo	5,6750 a A	4,7500 a B
Nitossolo	5,5250 a A	4,4000 ab B

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,01 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas= 0,4743; DMS na linha= 0,1125

4.2.2 Matéria orgânica (M.O.)

Em relação a matéria orgânica do solo, ao analisar a primeira coleta encontrou-se efeito significativo para as variáveis adubação e irrigação, e a sua interação. A segunda coleta, bem como a terceira, apresentaram efeito significativo para as variáveis solo e adubação. A segunda coleta apresentou ainda efeito significativo para a interação solo x adubação x irrigação, a 5% de significância (Tabela 59).

Tabela 59 - Resumo da análise de variância para os valores de matéria orgânica do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios		
		1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta
Solo	2	204,2917 ns	743,167 *	1133,7917 *
Adubação	1	280,1667 *	1751,042 **	337,5000 *
Irrigação	1	140,1667 **	9,375 ns	16,6667 ns
Solo x Adubação	2	10,7917 ns	13,167 ns	34,6250 ns
Solo x Irrigação	2	14,2917 ns	3,500 ns	10,2917 ns
Adubação x Irrigação	1	121,5000 *	12,042 ns	6,0000 ns
Solo x Adubação x Irrigação	2	47,6250 ns	1,167 ns	27,1250 ns
Coeficiente de Variação (%) Solo		14,94	18,02	14,48
Coeficiente de Variação (%) Adubação		17,72	17,95	12,41
Coeficiente de Variação (%) Irrigação		12,45	15,81	12,79

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F

NS - Não significativo

De acordo com Tiessen & Moir (1993), uma importante função da matéria orgânica do solo diz respeito ao fornecimento de nutrientes aos vegetais, principalmente em relação ao fósforo, elemento mais limitante no desenvolvimento da agricultura em solos altamente intemperizados de ambientes tropicais, caso da maioria dos solos brasileiros. Nesses solos, o componente orgânico representa parte considerável do conteúdo disponível de fósforo (TURNER et al., 2003), que contribui para a nutrição das plantas pela sua mineralização (SIQUEIRA & MOREIRA, 2001).

Valores positivos em relação a matéria orgânica foram encontrados ao se utilizar lodo de esgoto compostado (Tabela 60). Estes resultados positivos são devidos à matéria orgânica presente no lodo possuir importante papel na melhoria da fertilidade do solo e nas suas propriedades físicas. Para Alleoni & Beauclair (1995), a matéria orgânica aumenta a capacidade de troca catiônica pela ação de micelas húmicas coloidais, com atividade superior às argilas. Aumenta também os teores de nitrogênio, fósforo e enxofre a partir da decomposição e da mineralização da matéria orgânica (BITTENCOURT et al., 2006), e promove a redução da fixação do fósforo pelos óxidos de ferro e alumínio, bloqueando os sítios de fixação com os radicais orgânicos (TIRITAN et al., 2010).

Tabela 60 - Valores médios dos teores de matéria orgânica do solo na interação adubação x irrigação, para a primeira coleta de solo (Botucatu, abril de 2010).

Adubação	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	-----g dm ⁻³ -----	
Químico	21,5000 aA	21,8333 bA
Lodo	23,8333 aB	33,1667 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas= 5,4250; DMS na linha= 4,4107

4.2.3 Fósforo (P)

O fósforo é considerado um elemento essencial para as plantas e se encontra em baixa disponibilidade nos solos tropicais por serem acentuadamente intemperizados, com capacidade de troca catiônica reduzida e alta adsorção aniônica. Essa condição proporciona redução na saturação de bases, com aumento gradual na retenção de ânions, como o fosfato, o sulfato e o molibdato, entre outros. Em decorrência disto, os solos mudam gradualmente de fonte para dreno de fósforo inorgânico.

Em relação a primeira coleta, efeito significativo foi encontrado apenas para a variável adubação ($p < 0,01$). Já na segunda coleta não foram observados efeitos significativos para a variável irrigação e para a interação solo x adubação x irrigação. Também não foram observados efeitos significativos para as variáveis solo e irrigação ao analisar os valores da terceira coleta (Tabela 61).

Tabela 61 - Resumo da análise de variância para os teores de fósforo do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios		
		1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta
Solo	2	63042, 17 ns	26394,29 **	18476,2917 ns
Adubação	1	956802, 67 **	6435,38 *	6868,1667 *
Irrigação	1	17712,67 ns	1552,04 ns	368,1667 ns
Solo x Adubação	2	15982,17 ns	4833,88 *	23784,0417 **
Solo x Irrigação	2	8524,67 ns	4224,29 *	8501,0417 **
Adubação x Irrigação	1	4160,67 ns	3978,38 *	2016,6667 *
Solo x Adubação x Irrigação	2	5724,67 ns	1880,38 ns	3916,7917 **
Coefficiente de Variação (%) Solo		11,58	8,17	18,93
Coefficiente de Variação (%) Adubação		9,79	10,12	11,82
Coefficiente de Variação (%) Irrigação		15,33	16,19	6,21

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F

NS - Não significativo

Os tratamentos que receberam adubação química não diferiram estatisticamente dos tratamentos adubados com lodo de esgoto. Resultados positivos do lodo de esgoto compostado sobre a adubação química convencional eram esperados uma vez que as substâncias húmicas presentes no lodo podem atuar na redução da adsorção do P pelo solo (AGUILERA et al., 1992; LEE & KIM, 2007), competindo pelos mesmos sítios de adsorção do fosfato (LIMA, 2011).

Tabela 62 - Valores médios dos teores de fósforo do solo na interação solo x adubação, para a segunda coleta de solo (Botucatu, outubro de 2010).

Tipo de Solo	Adubação	
	Químico	Lodo
	----- mg dm ⁻³ -----	
Neossolo	84,5000 bA	95,7500 cA
Latossolo	147,7500 aA	145,7500 bA
Nitossolo	160,5000 aB	249,5000 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=30,7534; DMS na linha=33,5400

Analisando os valores médios dos teores de fósforo do solo na interação solo x irrigação, para a segunda coleta de solo (Tabela 63), observou-se grande diferença entre os três tipos de solos, sendo o nitossolo superior estatisticamente ao latossolo, que por sua vez mostrou-se superior ao neossolo, tanto com o uso de água tratada como com o uso de água residuária.

Resultados superiores dos nitossolos são em função de serem solos de média a alta fertilidade, em geral pouco profundos, em decorrência de seu baixo grau de intemperismo. Já os latossolos são solos profundos, altamente intemperizados, ácidos, de baixa fertilidade natural e, em certos casos, saturados por alumínio. Os neossolos são solos muito arenosos e por serem profundos, não existe limitação física para o desenvolvimento radicular em profundidade. No entanto, a presença de caráter álico ou do caráter distrófico limita o desenvolvimento radicular em profundidade, agravado devido a reduzida quantidade de água disponível (textura essencialmente arenosa). Os teores de matéria orgânica, fósforo e micronutrientes são muito baixos (EMBRAPA, 1999).

Tabela 63 - Valores médios dos teores de fósforo do solo na interação solo x irrigação, para a segunda coleta de solo (Botucatu, outubro de 2010).

Tipo de Solo	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	----- mg dm ⁻³ -----	
Neossolo	91,0000 cA	89,2500 bA
Latossolo	136,2500 bA	157,2500 aA
Nitossolo	238,7500 aA	171,2500 aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=38,1623; DMS na linha=41,2654

Não observou-se diferença estatística ao comparar a adubação química com lodo de esgoto quando se utilizou água tratada na irrigação (Tabela 64). Já quando se utilizou água residuária, observou-se incremento nos teores de fósforo ao se utilizar o lodo de esgoto, o que já era esperado uma vez que a aplicação de lodo de esgoto é um composto rico em nutrientes para as plantas, principalmente fósforo e nitrogênio. Trabalhos realizados pela Embrapa Meio Ambiente avaliaram o efeito da aplicação do lodo de esgoto, como fonte de P, na cultura da soja, em substituição ao fertilizante fosfatado. O experimento foi conduzido a campo em Latossolo Vermelho distroférico, textura areia/argilosa. Os resultados demonstraram que a fertilização fosfatada na cultura da soja pode ser substituída por pequena dose de lodo de esgoto sem prejudicar o rendimento da cultura (VIEIRA & SILVA, 2004).

Tabela 64 - Valores médios dos teores de fósforo do solo na interação adubação x irrigação, para a segunda coleta de solo (Botucatu, outubro de 2010).

Adubação	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	-----mg dm ⁻³ -----	
Químico	151,8333 aA	110,0000 bB
Lodo	158,8333 aA	168,5000 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=25,9832; DMS na linha= 33,6931

A partir dos resultados apresentados na Tabela 65, é possível verificar que a melhor combinação para os teores de fósforo do solo é a utilização de adubação com lodo de esgoto em nitossolo.

Tabela 65 - Valores médios dos teores de fósforo do solo na interação solo x adubação, para a terceira coleta de solo (Botucatu, abril de 2011).

Tipo de Solo	Adubação	
	Químico	Lodo
	----- mg dm ⁻³ -----	
Neossolo	172,5000 aA	144,2500 bA
Latossolo	228,5000 aA	198,5000 bA
Nitossolo	174,2500 aB	334,0000 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,01 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=82,3349; DMS na linha= 55,5139

Já no caso da irrigação, o melhor resultado foi observado com a utilização da água tratada, também em nitossolo (Tabela 66).

Tabela 66 - Valores médios dos teores de fósforo do solo na interação solo x irrigação, para a terceira coleta de solo (Botucatu, abril de 2011).

Tipo de Solo	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	----- mg dm ⁻³ -----	
Neossolo	120,5000 bB	196,2500 aA
Latossolo	212,5000 abA	214,5000 aA
Nitossolo	281,2500 aA	227,0000 aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,01 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=121,7009; DMS na linha= 22,4067

Ao avaliar a interação adubação x irrigação, na terceira coleta de solo (Tabela 67), verificou-se que o lodo de esgoto elevou os teores de fósforo, tanto com a irrigação com água tratada, como na irrigação com água residuária, sendo que no segundo caso está diferença é estatística mostrada, enquanto no primeiro não.

Tabela 67 - Valores médios dos teores de fósforo do solo na interação adubação x irrigação, para a terceira coleta de solo (Botucatu, abril de 2011).

Adubação	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	-----mg dm ⁻³ -----	
Químico	197,0000 aA	186,5000 bA
Lodo	212,5000 aB	238,6667 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=29,0394; DMS na linha=18,2950

Já em relação a interação tripla, solo x adubação x irrigação (Tabela 68), quanto ao tipo de solo, a irrigação com água residuária apresentou resultados

superiores tanto para a adubação química, quanto para a adubação com lodo de esgoto compostado no neossolo, diferença esta não observada para o latossolo.

Tabela 68 - Valores médios dos teores de fósforo do solo na interação solo x adubação x irrigação, para a terceira coleta de solo (Botucatu, abril de 2011).

Irrigação, para a terceira colônia de solo (2.ª colônia, abril de 2011):			
Tipo de Solo	Adubação	Irrigação	
		Tratada	Residuária
		-----mg dm ⁻³ -----	
Neossolo	Química	139,5000 B	205,5000 A
Neossolo	Lodo	101,5000 B	187,0000 A
Latossolo	Química	217,0000 A	240,0000 A
Latossolo	Lodo	208,0000 A	189,0000 A
Nitossolo	Química	234,5000 A	114,0000 B
Nitossolo	Lodo	328,0000 A	340,0000 A

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,01 de probabilidade; DMS= 31,6878

Já para o nitossolo, submetido a adubação química, os teores de fósforo foram inferiores quando da utilização de água residuária, comparado com água tratada. Já no caso do nitossolo submetido a adubação do lodo de esgoto compostado, não observou-se diferença estatística entre a irrigação com água tratada e a irrigação com água residuária (Tabela 68).

4.2.4 Potássio (K)

Não foram observados efeitos significativos, ao analisar os teores de potássio no solo, para a variável solo e para as interações solo x irrigação e adubação x irrigação, na primeira coleta (Tabela 69).

Tabela 69 - Resumo da análise de variância para os teores de potássio do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios		
		1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta
Solo	2	10,3179 ns	9,1400 **	0,3854 ns
Adubação	1	71,7604 **	39,5267 **	6,6150 *
Irrigação	1	7,5938 *	0,2400 ns	0,1667 ns
Solo x Adubação	2	8,8579 *	4,5117 **	0,1838 ns
Solo x Irrigação	2	0,6538 ns	0,1950 ns	0,0729 ns
Adubação x Irrigação	1	0,1838 ns	0,2017 ns	0,1667 ns
Solo x Adubação x Irrigação	2	4,5538 *	0,1067 ns	0,2879 ns
Coefficiente de Variação (%) Solo		13,97	8,35	17,68
Coefficiente de Variação (%) Adubação		14,84	12,65	12,98
Coefficiente de Variação (%) Irrigação		14,92	16,45	14,44

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F

NS - Não significativo

Em relação a segunda coleta (Tabela 69) observou-se efeito significativo para as variáveis solo, adubação, bem como sua interação. Para a terceira coleta, efeito significativo apenas para a variável adubação.

Ao avaliar os valores médios dos teores de potássio do solo na interação solo x adubação, para a primeira coleta de solo (Tabela 70), observou-se redução dos teores deste nutriente ao se utilizar o lodo de esgoto, comparado a adubação química convencional. Tais resultados eram esperados uma vez que o lodo de esgoto apresenta baixos teores de potássio. No processo de tratamento de esgoto ocorrem perdas significativas de potássio pela retirada de água, em que o elemento se encontra solubilizado (PAGLIA, et al., 2006). Desta forma, quando utilizado na agricultura se justifica a necessidade de complementação da adubação orgânica com adubação potássica o que, segundo Troeh & Thompson (1993), poderá interferir no equilíbrio iônico da solução do solo, uma vez que a demanda de potássio é elevada.

Tabela 70 - Valores médios dos teores de potássio do solo na interação solo x adubação, para a primeira coleta de solo (Botucatu, abril de 2010).

Tipo de Solo	Adubação	
	Químico	Lodo
	----- mmol _e dm ⁻³ -----	
Neossolo	6,53 bA	3,38 aB
Latossolo	5,95 bA	4,43 aA
Nitossolo	9,88 aA	4,18 aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=1,8713; DMS na linha= 1,9097

Observando a Tabela 71, verifica-se que a adubação química, apresentou maiores teores de potássio para o neossolo e latossolo quando irrigada com água tratada, enquanto que para o nitossolo fertilizado com lodo de esgoto, teores mais elevados foram encontrados também com a irrigação com água tratada.

Tabela 71 - Valores médios dos teores de potássio do solo na interação solo x adubação x irrigação, para a primeira coleta de solo (Botucatu, abril de 2010).

Tipo de Solo	Adubação	Irrigação	
		Tratada	Residuária
		----- mmol _e dm ⁻³ -----	
Neossolo	Química	7,60 A	5,45 B
Neossolo	Lodo	3,20 A	3,55 A
Latossolo	Química	7,25 A	4,65 B
Latossolo	Lodo	4,90 A	3,95 A
Nitossolo	Química	9,45 A	10,30 A
Nitossolo	Lodo	5,30 A	3,05 B

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; DMS=2,0886

Ao avaliar os valores médios dos teores de potássio do solo na interação solo x adubação, para a segunda coleta de solo (Tabela 72), da mesma forma que na primeira coleta, observou-se redução dos teores deste nutriente ao se utilizar o lodo de esgoto, comparado a adubação química convencional, resultados atribuídos ao processo de tratamento do esgoto, onde ocorrem perdas significativas de potássio pela retirada de água.

Tabela 72 - Valores médios dos teores de potássio do solo na interação solo x adubação, para a segunda coleta de solo (Botucatu, outubro de 2010).

Tipo de Solo	Adubação	
	Químico	Lodo
	----- mmol _e dm ⁻³ -----	
Neossolo	3,50 bA	1,75 abB
Latossolo	2,95 bA	1,30 bB
Nitossolo	6,33 aA	2,03 aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,01 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=0,7238; DMS na linha= 0,8469

4.2.5 Cálcio (Ca)

Ao analisar os teores de cálcio do solo submetido a aplicação de lodo de esgoto compostado e água residuária de esgoto (Tabela 73), verificou-se efeito significativo para as variáveis solo, adubação e irrigação na primeira coleta. Já na segunda coleta, efeitos significativos a 1% de probabilidade foram observados para a variável irrigação e a interação solo x adubação x irrigação. Na terceira coleta, efeitos significativos a 5% de probabilidade foram observados para a variável solo e também para a interação solo x adubação x irrigação.

Tabela 73 - Resumo da análise de variância para os teores de cálcio do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios		
		1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta
Solo	2	5018,00 *	1227,0417 ns	1842,1667 *
Adubação	1	51522,67 **	9,3750 ns	66,6667 ns
Irrigação	1	3750,00 *	651,0417 **	280,1667 ns
Solo x Adubação	2	2404,67 ns	142,1250 ns	52,1667 ns
Solo x Irrigação	2	513,50 ns	124,0417 ns	188,1667 ns
Adubação x Irrigação	1	1768,17 ns	135,3750 ns	32,6667 ns
Solo x Adubação x Irrigação	2	367,17 ns	0,1250 **	363,1667 *
Coeficiente de Variação (%) Solo		17,52	14,10	19,71
Coeficiente de Variação (%) Adubação		20,58	20,28	17,06
Coeficiente de Variação (%) Irrigação		18,41	16,63	17,33

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F

NS - Não significativo

Ao avaliar os valores médios dos teores de cálcio do solo na interação solo x adubação x irrigação, para a segunda coleta (Tabela 74) observou-se diferença estatística apenas para o Nitossolo submetido a adubação com lodo de esgoto, sendo que a irrigação com água tratada mostrou-se superior a adubação com água residuária.

Tabela 74 - Valores médios dos teores de cálcio do solo na interação solo x adubação x irrigação, para a segunda coleta de solo (Botucatu, outubro de 2010).

Irrigação, para a Segunda Coluna do Solo (Distribuição, outubro de 2016):			
Tipo de Solo	Adubação	Irrigação	
		Tratada	Residuária
		----- mmol _c dm ⁻³ -----	
Neossolo	Química	26,00 A	20,50 A
Neossolo	Lodo	37,00 A	21,50 A
Latossolo	Química	46,50 A	48,50 A
Latossolo	Lodo	40,50 A	33,50 A
Nitossolo	Química	57,00 A	43,50 A
Nitossolo	Lodo	62,50 A	39,50 B

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,01 de probabilidade; DMS=16,1595

Da mesma forma, ao avaliar os valores médios dos teores de cálcio do solo na interação solo x adubação x irrigação, para a terceira coleta (Tabela 75) observou-se diferença estatística apenas para o nitossolo, quando submetido a adubação química convencional, sendo que a irrigação com água tratada mostrou-se superior a adubação com água residuária.

Tabela 75 - Valores médios dos teores de cálcio do solo na interação solo x adubação x irrigação, para a terceira coleta de solo (Botucatu, abril de 2011).

Tipo de Solo	Adubação	Irrigação	
		Tratada	Residuíria
		----- mmol _e dm ⁻³ -----	
Neossolo	Química	28,00 A	16,50 A
Neossolo	Lodo	25,50 A	33,00 A
Latossolo	Química	36,00 A	52,50 A
Latossolo	Lodo	50,50 A	33,00 A
Nitossolo	Química	62,50 A	44,00 B
Nitossolo	Lodo	67,50 A	50,00 A

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; DMS=17,6285

4.2.6 Magnésio (Mg)

Os valores do resumo da análise de variância para os teores de magnésio do solo submetido a aplicação de lodo de esgoto e água residuária de esgoto compostado, em três diferentes tipos de solo, encontram-se na Tabela 76. Na primeira coleta, observaram-se diferenças estatísticas para as variáveis solo, adubação e irrigação, além da interação solo x adubação. Na segunda coleta, efeitos significativos também foram encontrados nas variáveis solo e adubação, bem como para a sua interação. Na terceira coleta observou-se efeito significativo para todas as variáveis e interações analisadas, com exceção das interações solo x irrigação e adubação x irrigação.

Tabela 76 - Resumo da análise de variância para os teores de magnésio do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios		
		1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta
Solo	2	54,1667 *	61,5417 **	35,5417 *
Adubação	1	210,0417 **	126,0417 **	92,0417 **
Irrigação	1	5,0417 *	3,3750 ns	7,0417 *
Solo x Adubação	2	32,1667 *	40,0417 **	27,5417 **
Solo x Irrigação	2	0,1667 ns	2,6250 ns	2,7917 ns
Adubação x Irrigação	1	0,3750 ns	0,0417 ns	0,0417 ns
Solo x Adubação x Irrigação	2	0,5000 ns	3,2917 ns	6,2917 *
Coeficiente de Variação (%) Solo		18,65	11,47	18,21
Coeficiente de Variação (%) Adubação		18,31	19,87	5,05
Coeficiente de Variação (%) Irrigação		15,36	11,56	13,14

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F

NS - Não significativo

A Tabela 77 apresenta os valores médios dos teores de magnésio do solo na interação solo x adubação, para a primeira coleta de solo. Resultados superiores dos nitossolos, quando submetidos a adubação química, são em função de serem solos de

média a alta fertilidade, em decorrência de seu baixo grau de intemperismo. Já os latossolos são solos profundos, altamente intemperizados, de baixa fertilidade natural. Os neossolos são solos muito arenosos e por serem profundos, não existe limitação física para o desenvolvimento radicular em profundidade. No entanto, a presença de caráter álico ou do caráter distrófico limita o desenvolvimento radicular em profundidade, agravado devido a reduzida quantidade de água disponível, com teores de matéria orgânica, macro e micronutrientes relativamente baixos (EMBRAPA, 1999).

A adubação química mostrou-se superior no latossolo e no nitossolo quando comparado a adubação com lodo de esgoto.

Tabela 77 - Valores médios dos teores de magnésio do solo na interação solo x adubação, para a primeira coleta de solo (Botucatu, abril de 2010).

Tipo de Solo	Adubação	
	Químico	Lodo
	----- mmol _c dm ⁻³ -----	
Neossolo	3,75 cA	2,00 aA
Latossolo	9,75 bA	3,50 aB
Nitossolo	12,75 aA	3,00 aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=2,4299; DMS na linha= 2,3865

Da mesma forma que observado na primeira coleta, verificou-se resultados superiores dos nitossolos, quando submetidos a adubação química, na segunda (Tabela 78) e na terceira coleta de solo (Tabela 79), quando se avaliou os valores médios dos teores de magnésio do solo na interação solo x adubação.

Tabela 78 - Valores médios dos teores de magnésio do solo na interação solo x adubação, para a segunda coleta de solo (Botucatu, outubro de 2010).

Tipo de Solo	Adubação	
	Químico	Lodo
	----- mmol _c dm ⁻³ -----	
Neossolo	2,00 cA	1,25 bA
Latossolo	7,25 bA	3,75 aB
Nitossolo	11,75 aA	2,25 abB

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,01 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=1,7337; DMS na linha= 2,1047

Tabela 79 - Valores médios dos teores de magnésio do solo na interação solo x adubação, para a terceira coleta de solo (Botucatu, abril de 2011).

Tipo de Solo	Adubação	
	Químico	Lodo
	----- mmol _c dm ⁻³ -----	
Neossolo	2,00 cA	1,25 bB
Latossolo	6,50 bA	3,50 aB
Nitossolo	9,50 aA	1,50 abB

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,01 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=2,2359; DMS na linha=0,4593

Quanto a interação tripla solo x adubação x irrigação, para os teores de magnésio no solo, verificou-se redução nos teores de magnésio quando se utilizou água residuária no latossolo submetido a adubação com lodo de esgoto e no nitossolo submetido a adubação química convencional (Tabela 80).

Tabela 80 - Valores médios dos teores de magnésio do solo na interação solo x adubação x irrigação, para a terceira coleta de solo (Botucatu, abril de 2011).

Tipo de Solo	Adubação	Irrigação	
		Tratada	Residuária
		----- mmol _c dm ⁻³ -----	
Neossolo	Química	2,00 A	2,00 A
Neossolo	Lodo	1,00 A	1,50 A
Latossolo	Química	6,50 A	6,50 A
Latossolo	Lodo	5,50 A	1,50 B
Nitossolo	Química	11,00 A	8,00 B
Nitossolo	Lodo	1,50 A	1,50 A

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; DMS=2,2886

4.2.7 Enxofre (S)

O resumo da análise de variância para os teores de enxofre do solo submetido a aplicação de lodo de esgoto e água residuária de esgoto compostado, em três diferentes tipos de solo, encontram-se na Tabela 81. Observou-se efeito significativo para as variáveis solo e adubação, e para a interação solo x irrigação na primeira coleta ($p < 0,01$). Ao contrário, na segunda coleta, não foi observado efeito significativo para a interação solo x irrigação. Na terceira coleta, as variáveis solo e adubação apresentaram efeito significativo a 5% e a 1% respectivamente, além do efeito encontrado na interação solo x adubação ($p < 0,05$).

De acordo com Prosab (1999), as quantidades de enxofre presentes no lodo de esgoto são suficientes para suprir as necessidades da maioria das culturas, mesmo quando aplicado em pequenas doses.

Tabela 81 - Resumo da análise de variância para os teores de enxofre do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios		
		1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta
Solo	2	119762,67 **	18351,50 *	71768,6667 *
Adubação	1	2827007,04 **	53298,38 **	659685,0417 **
Irrigação	1	3243,38 ns	15862,04 **	40,0417 ns
Solo x Adubação	2	152025,17 ns	13134,50 *	41206,1667 *
Solo x Irrigação	2	63,50 **	453,167 ns	7043,1667 ns
Adubação x Irrigação	1	4845,04 ns	10542,04 **	330,0417 ns
Solo x Adubação x Irrigação	2	2530,67 ns	1216,17 *	14708,1667 ns
Coefficiente de Variação (%) Solo		7,65	14,31	17,94
Coefficiente de Variação (%) Adubação		11,72	15,70	13,35
Coefficiente de Variação (%) Irrigação		15,10	13,07	17,32

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F

NS - Não significativo

Os valores médios dos teores de enxofre do solo na interação solo x irrigação, para a primeira coleta de solo, encontram-se na Tabela 82. Os maiores teores de enxofre foram encontrados no latossolo, seguido do nitossolo e por fim do neossolo.

Tabela 82 - Valores médios dos teores de enxofre do solo na interação solo x irrigação, para a primeira coleta de solo (Botucatu, abril de 2010).

Tipo de Solo	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	----- mg dm ⁻³ -----	
Neossolo	275,00 bA	254,75 bA
Latossolo	513,75 aA	484,00 aA
Nitossolo	453,75 abA	434,00 abA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,01 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=212,7181; DMS na linha= 244,4690

Quanto aos valores médios dos teores de enxofre do solo na interação solo x adubação, para a segunda coleta de solo (Tabela 83), observou-se resultados superiores quando da utilização do lodo de esgoto, comparado a adubação química convencional. Os maiores teores de enxofre foram encontrados no nitossolo.

Tabela 83 - Valores médios dos teores de enxofre do solo na interação solo x adubação, para a segunda coleta de solo (Botucatu, outubro de 2010).

Tipo de Solo	Adubação	
	Químico	Lodo
	-----mg dm ⁻³ -----	
Neossolo	18,25 aA	54,00 bA
Latossolo	10,25 aB	70,50 bA
Nitossolo	27,75 aB	214,50 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=52,5001; DMS na linha=52,9169

Para os valores médios dos teores de enxofre do solo na interação adubação x irrigação, na segunda coleta de solo (Tabela 84), a adubação com lodo de esgoto mostrou-se superior a adubação química, principalmente quando associada a irrigação com água tratada.

Tabela 84 - Valores médios dos teores de enxofre do solo na interação adubação x irrigação, para a segunda coleta de solo (Botucatu, outubro de 2010).

Adubação	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	-----mg dm ⁻³ -----	
Químico	23,50 bA	14,00 bA
Lodo	159,67 aA	66,33 aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,01 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=27,9683; DMS na linha=21,4668

Os valores médios dos teores de enxofre do solo na interação solo x adubação x irrigação, para a segunda coleta de solo, encontram-se na Tabela 85. O uso de água tratada para irrigação mostrou-se superior quando associada a adubação com lodo de esgoto, tanto para o neossolo, quanto para o nitossolo e latossolo.

Tabela 85 - Valores médios dos teores de enxofre do solo na interação solo x adubação x irrigação, para a segunda coleta de solo (Botucatu, outubro de 2010).

Tipo de Solo	Adubação	Irrigação	
		Tratada	Residuária
		-----mg dm ⁻³ -----	
Neossolo	Química	31,50 A	5,00 A
Neossolo	Lodo	87,50 A	20,50 B
Latossolo	Química	11,50 A	9,00 A
Latossolo	Lodo	108,50 A	32,50 B
Nitossolo	Química	27,50 A	28,00 A
Nitossolo	Lodo	283,00 A	146,00 B

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; DMS= 37,1816

Já em relação aos valores médios dos teores de enxofre do solo na interação solo x irrigação, para a terceira coleta de solo (Tabela 86), resultados positivos foram encontrados quando da utilização do lodo de esgoto, comparado a adubação química convencional.

Tabela 86 - Valores médios dos teores de enxofre do solo na interação solo x irrigação, para a terceira coleta de solo (Botucatu, abril de 2011).

Tipo de Solo	Adubação	
	Químico	Lodo
	----- mg dm ⁻³ -----	
Neossolo	10,0000 aB	239,7500 bA
Latossolo	35,7500 aB	305,0000 bA
Nitossolo	59,0000 aB	554,7500 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=94,8699; DMS na linha=105,4414

4.2.8 Soma de bases

Ao avaliar a soma de bases dos diferentes tipos de solo analisados, verificou-se efeito significativo para as variáveis solo, adubação e irrigação na primeira coleta, e solo e irrigação na segunda coleta, sendo que as diferentes interações não apresentaram efeito significativo (Tabela 87). No caso da terceira coleta, efeito significativos foram encontrados também para as variáveis solo e irrigação, bem como para a interação solo x adubação x irrigação ($p < 0,05$).

Tabela 87 - Resumo da análise de variância para os valores de soma de bases do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios		
		1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta
Solo	2	6494,04 *	2019,542 *	2382,5417 *
Adubação	1	41666,67 **	442,042 ns	24,0000 ns
Irrigação	1	4320,17 *	570,375 *	352,6667 *
Solo x Adubação	2	1800,29 ns	224,292 ns	76,6250 ns
Solo x Irrigação	2	514,04 ns	117,125 ns	219,0417 ns
Adubação x Irrigação	1	1666,67 ns	135,375 ns	32,6667 ns
Solo x Adubação x Irrigação	2	467,79 ns	3,375 ns	481,2917 *
Coefficiente de Variação (%) Solo		16,70	19,73	16,99
Coefficiente de Variação (%) Adubação		18,17	19,34	15,63
Coefficiente de Variação (%) Irrigação		14,90	17,74	15,67

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F

NS - Não significativo

Os valores médios da soma de bases na interação solo x adubação x irrigação, para a terceira coleta de solo, encontram-se na Tabela 88. A melhor associação observada para o latossolo foi a adubação química associada a irrigação com água residuária, no entanto sem diferir estatisticamente da adubação com lodo de esgoto e água tratada. No caso do nitossolo, valores inferiores foram encontrados quando se utilizou a adubação química convencional associada com a utilização de água residuária na irrigação.

Tabela 88 - Valores médios da soma de bases na interação solo x adubação x irrigação, para a terceira coleta de solo (Botucatu, abril de 2011).

Tipo de Solo	Adubação	Irrigação	
		Tratada	Residuária
		----- mmol _c dm ⁻³ -----	
Neossolo	Química	32,00 A	20,50 A
Neossolo	Lodo	27,00 A	35,50 A
Latossolo	Química	43,00 B	61,00 A
Latossolo	Lodo	56,00 A	34,50 B
Nitossolo	Química	76,50 A	54,00 B
Nitossolo	Lodo	69,50 A	52,50 A

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; DMS=17,9509

4.2.9 CTC

As partículas coloidais do solo podem apresentar cargas negativas que atraem cátions dissociados, os quais podem ser substituídos por outros, adicionados por soluções salinas ou ácidas. A propriedade do solo de trocar cátions com a solução é conhecida como capacidade de troca de cátions (CTC), a qual é de grande importância agrícola. Ao analisar a CTC, foram observadas diferenças estatísticas para as variáveis solo, adubação e irrigação, na primeira coleta, e solo e adubação tanto na segunda quanto na terceira coleta (Tabela 89).

Tabela 89 - Resumo da análise de variância para a capacidade de troca catiônica do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios		
		1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta
Solo	2	9933,04 *	5236, 292 *	6709,0417 *
Adubação	1	107468,17 **	4816,667 **	4592,6667 **
Irrigação	1	2440,17 *	253,500 ns	13,5000 ns
Solo x Adubação	2	2406,54 ns	105,292 ns	598,0417 ns
Solo x Irrigação	2	773,79 ns	32,375 ns	122,6250 ns
Adubação x Irrigação	1	1536,00 ns	10,667 ns	6,0000 ns
Solo x Adubação x Irrigação	2	596,63 ns	44,042 ns	225,1250 ns
Coeficiente de Variação (%) Solo		12,22	9,93	10,11
Coeficiente de Variação (%) Adubação		11,18	4,44	11,43
Coeficiente de Variação (%) Irrigação		13,16	22,59	11,13

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F; * Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; NS - Não significativo

De acordo com Moreno (1996), a elevada capacidade de troca catiônica (CTC) conferida pelos grupos funcionais (COOH^- e OH^-) das substâncias húmicas, presentes no lodo de esgoto, ajudam a tornar disponíveis os macronutrientes, como o potássio, devido ao seu elevado poder de retenção e troca de ions entre os grupos e o solo.

4.2.10 Saturação por bases (V%)

A saturação por bases (V%) é um excelente indicativo das condições gerais de fertilidade do solo. Um índice V% baixo significa que há pequenas quantidades de cátions, como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , saturando as cargas negativas dos colóides. Na primeira coleta, observou-se efeito significativo apenas para a variável irrigação ($p < 0,01$). A segunda coleta apresentou efeito significativo tanto para adubação como irrigação ($p < 0,01$), bem como para a interação dessas duas variáveis, além da interação solo x irrigação ($p < 0,05$). A terceira coleta, por sua vez, apresentou efeito significativo para as variáveis adubação e irrigação ($p < 0,01$), e para as interações solo x adubação e solo x adubação x irrigação a 5% de significância (Tabela 90).

Tabela 90 - Resumo da análise de variância para saturação por bases do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios		
		1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta
Solo	2	142,875 ns	118,167 ns	158,3750 ns
Adubação	1	77,042 ns	4401,042 **	1683,3750 **
Irrigação	1	459,375 **	234,375 **	513,3750 **
Solo x Adubação	2	9,042 ns	106,167, ns	247,8750 *
Solo x Irrigação	2	21,875 ns	62,000 *	26,3750 ns
Adubação x Irrigação	1	3,375 ns	108,375 *	2,0417 ns
Solo x Adubação x Irrigação	2	5,375 ns	3,500 ns	366,5417 *
Coefficiente de Variação (%) Solo		6,22	11,36	9,26
Coefficiente de Variação (%) Adubação		7,86	12,98	7,81
Coefficiente de Variação (%) Irrigação		10,93	5,84	11,32

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F

NS - Não significativo

A irrigação com água tratada mostrou-se vantajosa quando comparada a irrigação com água residuária, de acordo com os valores médios da saturação por bases na interação solo x irrigação, na segunda coleta de solo (Tabela 91).

Tabela 91 - Valores médios da saturação por bases na interação solo x irrigação, para a segunda coleta de solo (Botucatu, outubro de 2010).

Tipo de Solo	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	----- % -----	
Neossolo	55,00 aA	47,75 aB
Latossolo	58,50 aA	58,25 aA
Nitossolo	63,25 aA	52,00 aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas, DMS para colunas=14,8159; DMS na linha=5,6391

Já a interação adubação x irrigação (Tabela 92) revelou, também a partir dos dados da segunda coleta, que os melhores tratamentos foram aqueles que receberam adubação química convencional, quando comparado a adubação com lodo de esgoto.

Tabela 92 - Valores médios da saturação por bases na interação adubação x irrigação, para a segunda coleta de solo (Botucatu, outubro de 2010).

Adubação	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	----- % -----	
Químico	70,33 aA	68,33 aA
Lodo	47,50 bA	37,00 bB

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas. DMS para colunas=9,0107; DMS na linha=4,6043

Analisando os valores médios da saturação por bases do solo na interação adubação x irrigação, para a segunda coleta de solo (Tabela 92), observou-se maior saturação por bases quando da adubação química. Ao se utilizar água residuária na irrigação, combinado com a adubação com lodo de esgoto, observou-se menor saturação por bases, comparado com a irrigação com água tratada.

Tabela 93 - Valores médios da saturação por bases na interação solo x adubação, para a terceira coleta de solo (Botucatu, abril de 2011).

Tipo de Solo	Adubação	
	Químico	Lodo
	----- % -----	
Neossolo	51,00 bA	46,50 aA
Latossolo	66,50 aA	47,00 aB
Nitossolo	69,25 aA	43,00 aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas. DMS para colunas=11,5357; DMS na linha=9,4683

Os valores médios da saturação por bases na interação solo x adubação x irrigação, para a terceira coleta de solo, revelaram que para o neossolo, a melhor associação é a adubação química irrigada com água tratada. O lodo de esgoto associado a irrigação com água residuária também não se mostrou vantajoso para o latossolo, enquanto não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos para as comparações realizadas no nitossolo (Tabela 94).

Tabela 94 - Valores médios da saturação por bases na interação solo x adubação x irrigação, para a terceira coleta de solo (Botucatu, abril de 2011).

Irrigação, para a terceira coléita de solo (Botucatu, abril de 2011):			
Tipo de Solo	Adubação	Irrigação	
		Tratada	Residuária
		----- % -----	
Neossolo	Química	62,50 A	39,50 B
Neossolo	Lodo	44,50 A	48,50 A
Latossolo	Química	62,50 A	70,50 A
Latossolo	Lodo	56,50 A	37,50 B
Nitossolo	Química	76,50 A	62,00 A
Nitossolo	Lodo	48,50 A	37,50 A

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; DMS=14,9239

4.2.11 Boro (B)

Em relação aos teores de boro disponíveis nos diferentes tipos de solos avaliados, verificou-se efeito significativo para a variável a adubação e para a interação solo x adubação, na primeira e terceira coleta. Na segunda coleta, efeitos significativos foram encontrados para as variáveis solo e irrigação, bem como para a interação adubação x irrigação (Tabela 95).

Tabela 95 - Resumo da análise de variância para os teores de boro do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios		
		1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta
Solo	2	0,3487 ns	0,2141 **	0,2096 ns
Adubação	1	1,3443 **	0,0323 ns	0,2501 **
Irrigação	1	0,0817 ns	0,0308 *	0,0222 ns
Solo x Adubação	2	0,3053 *	0,0027 ns	0,0880 **
Solo x Irrigação	2	0,0190 ns	0,0019 ns	0,0161 ns
Adubação x Irrigação	1	0,0400 ns	0,0434 *	0,0005 ns
Solo x Adubação x Irrigação	2	0,0418 ns	0,0093 ns	0,0125 ns
Coeficiente de Variação (%) Solo		13,74	8,50	15,14
Coeficiente de Variação (%) Adubação		11,22	12,32	6,76
Coeficiente de Variação (%) Irrigação		13,07	13,22	20,00

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F

NS - Não significativo

Analisando os valores médios dos teores de boro do solo na interação solo x adubação, para a primeira coleta de solo (Tabela 96), observou-se que o uso do lodo de esgoto mostrou-se vantajoso tanto para o latossolo quanto para o nitossolo.

Tabela 96 - Valores médios dos teores de boro na interação solo x adubação, para a primeira coleta de solo (Botucatu, abril de 2010).

Tipo de Solo	Adubação	
	Químico	Lodo
	----- mg dm ⁻³ -----	
Neossolo	0,9075 aA	0,9425 bA
Latossolo	0,6775 aB	1,2775 bA
Nitossolo	0,9175 aB	1,7025 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas, DMS para colunas=0,3358; DMS na linha=0,2703

Gomes (2004) comenta que o lodo de esgoto apresenta em sua composição expressivas quantidades de micronutrientes como ferro, zinco e manganês, além de baixas quantidades de cobre, boro, molibdênio e cloro. Os valores médios dos teores de boro na interação adubação x irrigação, para a segunda coleta de solo, encontram-se na Tabela 97. Resultados positivos foram obtidos com o uso do lodo de esgoto quando irrigado com água tratada, no entanto, ao se utilizar água residuária na irrigação, não se encontrou diferença estatística entre a adubação química e o lodo de esgoto.

Tabela 97 - Valores médios dos teores de boro do solo na interação adubação x irrigação, para a segunda coleta de solo (Botucatu, outubro de 2010).

Adubação	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	----- mg dm ⁻³ -----	
Químico	0,4567 bA	0,4700 aA
Lodo	0,6150 aA	0,4583 aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas. DMS para colunas=0,0850; DMS na linha=0,0933

Analisando os valores médios dos teores de boro do solo na interação solo x adubação, agora para a terceira coleta de solo (Tabela 98), observou-se que, da mesma forma que na primeira coleta, o uso do lodo de esgoto mostrou-se vantajoso tanto para o latossolo quanto para o nitossolo.

Tabela 98 - Valores médios dos teores de boro do solo na interação solo x adubação, para a terceira coleta de solo (Botucatu, abril de 2011).

Tipo de Solo	Adubação	
	Químico	Lodo
	----- mg dm ⁻³ -----	
Neossolo	0,6150 aA	0,6350 aA
Latossolo	0,4750 aB	0,6350 aA
Nitossolo	0,6475 aB	1,0800 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,01 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=0,5192; DMS na linha=0,1036

4.2.12 Cobre (Cu)

Ao avaliar os teores de cobre disponível nos diferentes tipos de solo, verificou-se efeito significativo para a variável solo nas três coletas realizadas. A primeira coleta apresentou ainda efeito significativo para a variável adubação e a interação solo x irrigação, e a terceira coleta para a variável irrigação, sendo que as demais variáveis analisadas apresentaram-se não estatisticamente significativas (Tabela 99).

Tabela 99 - Resumo da análise de variância para os teores de cobre do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios		
		1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta
Solo	2	123,390 **	234,6904 *	132,7829 **
Adubação	1	180,950 **	4,5067 ns	1,6538 ns
Irrigação	1	1,760 ns	77,760 ns	49,0204 *
Solo x Adubação	2	6,255 ns	45,938 ns	4,3238 ns
Solo x Irrigação	2	1,768 *	13,344 ns	1,3304 ns
Adubação x Irrigação	1	0,700 ns	15,682 ns	6,5104 ns
Solo x Adubação x Irrigação	2	0,068 ns	32,028 ns	2,7829 ns
Coeficiente de Variação (%) Solo		9,25	14,29	9,71
Coeficiente de Variação (%) Adubação		17,60	15,39	16,36
Coeficiente de Variação (%) Irrigação		7,66	16,06	17,60

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F

NS - Não significativo

Os micronutrientes, entre eles, o cobre, embora exigidos em pequenas quantidades, são essenciais para a planta completar seu ciclo vegetativo e, suas deficiências provocam diminuição na produtividade (LUCHESE et al., 2004). Os valores médios dos teores de cobre do solo na interação solo x irrigação, para a primeira coleta de solo, encontram-se na Tabela 100. Observou-se valores elevados de cobre nos tratamentos aplicados no nitossolo.

Tabela 100 - Valores médios dos teores de cobre do solo na interação solo x irrigação, para a primeira coleta de solo (Botucatu - SP, abril de 2010).

Tipo de Solo	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	----- mg dm ⁻³ -----	
Neossolo	5,23 bA	6,13 bA
Latossolo	5,03 bA	4,50 cA
Nitossolo	11,35 aB	12,60 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=1,4402; DMS na linha=0,9894

4.2.13 Ferro (Fe)

Já os valores de F calculados por meio de análises de variância para os teores de ferro do solo submetido a aplicação de lodo de esgoto e água residuária de esgoto compostado, em três diferentes tipos de solo, encontram-se na Tabela 101.

Tabela 101 - Resumo da análise de variância para os teores de ferro do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios		
		1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta
Solo	2	319,042 ns	3953,375 **	538,7917 ns
Adubação	1	91513,500 **	143995,042 **	38640,3750 **
Irrigação	1	60,167 ns	392,042 ns	1365,0417 ns
Solo x Adubação	2	547,625 ns	2867,042 *	870,1250 ns
Solo x Irrigação	2	486,542 ns	700,292 ns	84,0417 ns
Adubação x Irrigação	1	0,667 ns	950,042 ns	176,0417 ns
Solo x Adubação x Irrigação	2	52,792 ns	575,292 ns	1224,5417 ns
Coefficiente de Variação (%) Solo		15,18	3,98	19,40
Coefficiente de Variação (%) Adubação		13,06	8,66	15,54
Coefficiente de Variação (%) Irrigação		12,33	15,53	17,48

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F

NS - Não significativo

Efeitos significativos foram encontrados ao avaliar os teores de fósforo disponíveis no solo para a variável adubação nas três coletas realizadas. Também foram encontrados efeitos significativos para a variável solo e a interação solo x adubação na segunda coleta.

Independente do tipo de solo, quando submetido a adubação com lodo de esgoto, os teores de ferro foram superiores comparados a adubação química convencional (Tabela 102).

Tabela 102 - Valores médios dos teores de ferro do solo na interação solo x adubação, para a segunda coleta de solo (Botucatu - SP, outubro de 2010).

Tipo de Solo	Adubação	
	Químico	Lodo
	----- mg dm ⁻³ -----	
Neossolo	32,75 aB	215,25 aA
Latossolo	46,75 aB	217,25 aA
Nitossolo	34,25 aB	146,00 bA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=19,4454; DMS na linha=22,4859

4.2.14 Manganês (Mn)

Ao avaliar os resultados dos teores de manganês disponíveis nos diferentes tipos de solos, verificou-se efeito significativo para as variáveis solo, adubação e irrigação, bem como para a interação solo x adubação na primeira coleta, e para as variáveis solo, adubação, e a interação solo x adubação na segunda coleta. Já na terceira coleta, observou-se efeito significativo apenas para a variável solo e sua interação com adubação, a 5% de significância (Tabela 103).

Tabela 103 - Resumo da análise de variância para os teores de manganês do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios		
		1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta
Solo	2	57,279 *	6,2067 *	36,6354 *
Adubação	1	177,670 **	5,2267 **	8,5204 ns
Irrigação	1	6,304 *	0,1067 ns	12,4704 ns
Solo x Adubação	2	51,240 *	11,5267 **	29,9504 *
Solo x Irrigação	2	2,109 ns	0,1517 ns	5,3179 ns
Adubação x Irrigação	1	1,984 ns	0,0067 ns	6,5104 ns
Solo x Adubação x Irrigação	2	2,974 ns	0,2817 ns	7,9879 ns
Coefficiente de Variação (%) Solo		9,66	12,58	13,78
Coefficiente de Variação (%) Adubação		18,08	7,52	17,92
Coefficiente de Variação (%) Irrigação		9,18	17,56	20,34

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F

NS - Não significativo

Os valores médios dos teores de manganês do solo na interação solo x adubação, para a primeira coleta de solo encontram-se na Tabela 104. O Latossolo, quando submetido a adubação química, apresentou teores baixos de manganês, comparado ao neossolo e ao nitossolo.

Tabela 104 - Valores médios dos teores de manganês do solo na interação solo x adubação, para a primeira coleta de solo (Botucatu - SP, abril de 2010).

Tipo de Solo	Adubação	
	Químico	Lodo
	----- mg dm ⁻³ -----	
Neossolo	10,63 aA	10,45 bA
Latossolo	2,93 bB	12,58 bA
Nitossolo	9,68 aB	16,53 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=3,7914; DMS na linha=4,2565

Já quando submetido a adubação com lodo de esgoto, resultados positivos foram encontrados para o nitossolo. O uso do lodo de esgoto na adubação proporcionou resultados positivos em relação a adubação química convencional, quanto aos teores de manganês no solo, tanto para o latossolo quanto para o nitossolo.

Analisando os valores médios dos teores de manganês do solo na interação solo x adubação, para a segunda coleta de solo (Tabela 105), observou-se resultados positivos da adubação com lodo de esgoto no latossolo e no nitossolo, enquanto que para o neossolo, o maior teor de manganês foi alcançado na adubação química convencional.

Tabela 105 - Valores médios dos teores de manganês do solo na interação solo x adubação, para a segunda coleta de solo (Botucatu - SP, outubro de 2010).

Tipo de Solo	Adubação	
	Químico	Lodo
	----- mg dm ⁻³ -----	
Neossolo	4,40 aA	2,70 bB
Latossolo	1,00 bB	4,00 aA
Nitossolo	3,50 aB	5,00 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,01 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=1,0464; DMS na linha=0,5809

Avaliando os valores médios dos teores de manganês do solo na interação solo x adubação, para a terceira coleta de solo, observou-se que o melhor tratamento foi a utilização de lodo de esgoto em nitossolo (Tabela 106).

Tabela 106 - Valores médios dos teores de manganês do solo na interação solo x adubação, para a terceira coleta de solo (Botucatu - SP, abril de 2011).

Tipo de Solo	Adubação	
	Químico	Lodo
	----- mg dm ⁻³ -----	
Neossolo	7,20 aA	4,08 bB
Latossolo	1,78 bB	6,13 bA
Nitossolo	7,03 aA	9,38 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=2,1515; DMS na linha=2,3905

4.2.15 Zinco (Zn)

Em relação aos teores de zinco no solo, não foram encontrados efeitos significativos em todas as variáveis analisadas, na primeira coleta. Já na segunda, efeitos significativos foram observados para as variáveis solo ($p < 0,05$) e adubação ($p < 0,01$). Não foram observados efeitos significativos para a interação solo x adubação x irrigação na terceira coleta, tendo as demais variáveis apresentado níveis de significância (Tabela 107).

Nas plantas, o zinco potencializa a produção do hormônio de crescimento auxina (TAIZ & ZEIGER, 2004), que pode promover o crescimento da raiz diretamente pela estimulação da elongação da célula vegetal ou divisão celular. Consequentemente, o melhor desenvolvimento radicular irá promover aumento de produtividade e biomassa (CARVALHO et al., 2010). Logo, manejos de adubação que promovam a elevação dos teores de zinco no solo são benéficos.

Tabela 107 - Resumo da análise de variância para os teores de zinco do solo. FCA/UNESP, Botucatu – SP, 2013.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios		
		1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta
Solo	2	4,70167 ns	1750,166 *	1305,7267 *
Adubação	1	22,81500 ns	5667,227 **	3542,9400 **
Irrigação	1	1,04167 ns	88,935 ns	190,4067 **
Solo x Adubação	2	3,21500 ns	481,640 ns	518,8200 **
Solo x Irrigação	2	7,93167 ns	30,976 ns	68,0267 *
Adubação x Irrigação	1	10,40167 ns	1,127 ns	199,5267 **
Solo x Adubação x Irrigação	2	0,50667 ns	14,890 ns	40,9267 ns
Coefficiente de Variação (%) Solo		21,28	23,00	17,73
Coefficiente de Variação (%) Adubação		29,74	23,81	14,81
Coefficiente de Variação (%) Irrigação		28,96	19,50	12,67

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F

NS - Não significativo

Analisando os valores médios dos teores de zinco do solo na interação solo x adubação, para a terceira coleta de solo (Tabela 108), observou-se que a aplicação de lodo de esgoto promoveu incrementos nos teores de zinco para o latossolo e nitossolo em comparação a adubação química, enquanto o neossolo, não apresentou diferenças para o tipo de adubação empregada.

Tabela 108 - Valores médios dos teores de zinco no solo na interação solo x adubação, para a terceira coleta de solo (Botucatu - SP, abril de 2011).

Tipo de Solo	Adubação	
	Químico	Lodo
	----- mg dm ⁻³ -----	
Neossolo	9,55 aA	15,35 bA
Latossolo	19,50 aB	54,70 aA
Nitossolo	14,65 aB	46,55 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,01 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=10,9125; DMS na linha=8,9039

Analisando os valores médios dos teores de zinco do solo na interação solo x irrigação, para a terceira coleta de solo (Tabela 109), observou-se que para o nitossolo não houve incremento nos teores de zinco em função do tipo de água utilizada na irrigação.

Tabela 109 - Valores médios dos teores de zinco no solo na interação solo x irrigação, para a terceira coleta de solo (Botucatu - SP, abril de 2011).

Tipo de Solo	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	----- mg dm ⁻³ -----	
Neossolo	11,90 bA	13,00 bA
Latossolo	41,55 aA	32,65 aB
Nitossolo	35,15 aA	26,05 aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=10,2926; DMS na linha=5,8548

Analisando os valores médios dos teores de zinco do solo na interação adubação x irrigação, para a terceira coleta de solo (Tabela 110), observou-se que ao se utilizar a adubação com lodo de esgoto, há um incremento bastante considerável nos teores de zinco do solo, quando comparado a adubação química convencional.

Tabela 110 - Valores médios dos teores de zinco no solo na interação adubação x irrigação, para a terceira coleta de solo (Botucatu - SP, abril de 2011).

Adubação	Irrigação	
	Tratada	Residuária
	----- mg dm ⁻³ -----	
Químico	14,50 bA	14,63 bA
Lodo	44,57 aA	33,17 aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,01 de probabilidade; letras minúsculas comparam médias nas colunas e maiúsculas nas linhas.

DMS para colunas=5,0205; DMS na linha=4,7804

5 CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que:

A aplicação de lodo de esgoto compostado ao solo proporciona:

- Redução nos valores de argila natural do solo para as duas camadas avaliadas;
- Elevação da condutividade hidráulica em solo saturado;
- Menores valores de densidade do solo e densidade de partículas;
- Melhor retenção de água na camada de 11 a 20 cm e maior porosidade total de 0 a 10 cm;
- Redução do pH, K, Mg e saturação por bases V%, e elevação da concentração de P, S, B, Fe, Mn e Zn.

A irrigação com água residuária proporciona:

- Elevação da condutividade hidráulica em solo saturado, para o Nitossolo;
- Diminuição do pH, P e saturação por bases V% e incremento na concentração de S, Cu e Zn.

O lodo de esgoto compostado pode ser utilizado como fonte de nutrientes e condicionador do solo.

6 REFERÊNCIAS

ALLEONI, L. R. F.; BEAUCLAIR, E. G. F. Cana-de-açúcar cultivada após milho e amendoim, com diferentes doses de adubo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 52, n. 3, p. 409-415, 1995.

ALOISI, R.R., DEMATTÊ, J.A.M., FIORIO, P.R. A aplicação de resíduos da indústria cítrica em três solos de São Paulo e o crescimento inicial de planta de milho em casa de vegetação. **Revista Laranja**, v.22, n.2, p. 533-548, 2001.

ANJOS, A. R. M.; MATTIAZZO, M. E. Lixiviação de íons inorgânicos em solos repetidamente tratados com bio sólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.927-938, 2000.

ASANO, T., LEONG, L.Y.C., RIBGY, M.C., SAKAJI, R.H. Evaluation of the California waste water reclamation criteria using enteric viruses monitoring data. **Water Science and Technology** , v. 26, n.7-8, p. 1513-1524, 1992.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991, 218p.

BARRETO, M.C.V. **Degradação da fração orgânica de diferentes resíduos e efeitos em algumas propriedades químicas e físicas de dois solos**. Piracicaba, 1995, 196 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

BASTOS, R.K.X. Fertirrigação com águas residuárias. In: WORKSHOP DE FERTIRRIGAÇÃO, 1, 1999, Piracicaba.....**Anais...**Piracicaba: Guaíba Agropecuária, 1999, p. 279-291.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. . C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas, Instituto Agronômico, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S. da; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A. de O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo em ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.7-18.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2008. 596 p.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 312p.

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

BITTENCOURT, V. C.; STRINI, A. C.; CESARIM, L. G.; SOUZA, S. R. **Torta de Filtro enriquecida**. Idea News, Ribeirão Preto, v. 6, n. 63, p. 2-6, 2006.

BLUMENTHAL, U.J., STRAUSS, M., MARA, D.D., CAIRNCROSS, S. Generalized model 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, 1989.

BOUWER, H., IDELOVITCH, E. Quality requeriments for irrigation with sewage water. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 113, n. 4, p. 510-535, 1987.

BREDA, C. C. **Ensaio de tratamento de efluentes de indústria de chapa dura de fibra de madeira**. Botucatu, 1999. 98p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

BROWN, S.; ANGLE, J.S. & CHANEY, R.L. Correction of limed biosolid induced anganese deficiency on a long term field experiment. **J. Environ. Qual.**, 26:1375-1384, 1997.

CAMARGO, O. A. **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 41p.

CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A. et al. **Managing grazing systems: Reaching nutrient cycling and soil improvement with pasture management**. Nutrient Cycling Agroecosystems, Bonn, v. 88, n.1, p. 259-273, 2010.

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

CARVALHO, W. A.; ESPÍNDOLA, C. R.; PACCOLA, A. A. Levantamento desolos da Fazenda Lageado – Estação Experimental “Presidente Médici”. **Boletim Científico da Faculdade de Ciências Agronômicas**, Botucatu, n. 1, 1983. 95 p.

CASTRO FILHO, C. Atributos do solo avaliados pelos seus agregados. In: MORAES, M. E.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo: métodos de estudo: sistema de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: Funep, 2002. p. 357-396.

CASTRO, O. M. **Preparo do solo para a cultura do milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1989. 41p.

CHANEY, R.L. & RYAN, J.A. Toxic metals and toxic organics compounds in MSW-composts: research results on phytoavailability, bioavailability, fate, etc. In: HOITINK, H.A. & KEENER, H.M., eds. **Science and engineering of composting: Design, environmental, microbiological and utilization aspects**. Worthington: Renaissance Publ., 1993. p.451-506.

COELHO, Y.S. Frutas cítricas importadas no mercado de Salvador, Bahia. **Bahia Agrícola**, Salvador, v.5, n.2, p.29-33, 2002.

COLINO, M. de M. **Uso de lodo de estações de tratamento de água e de esgoto urbano como condicionador desolo, com ênfase nas propriedades físicas do solo**. Botucatu, 2006, 133 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n. 375/2006, 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, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 167, p. 141-146, 30 ago.2006. Seção 1.

COREY, R. B.; KING, L. D.; LUE-HING, C.; FANNING, D. S.; STREET, J. J. e WALKER, J. M. Effects of sludge properties on accumulation of trace elements by crops. In: PAGE, A. L.; LOGAN, T. J. e RYAN, J. A. (Ed). **Land application of sludge – food chain implications**. Chelsea: Lewis Publishers, 1987. p.25-51.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1999. 412p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. **Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection**. Berlin, Springer-Verlag. 224p., 1991.

FILIZOLA, H. F. et al. Aspectos físicos de um solo tratado com lodo de esgoto: estabilidade de agregados e argila dispersa em água. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Eds.). **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006.p. 137-148.

FOLONI, J.S.S. **Crescimento radicular da soja (*Gycine max. (L.) Merrill*) e de cinco adubos verdes em função da compactação do solo**. Botucatu, 1999, 73 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

FREITAG, E. E. **Escória de aciaria, lama cal e lodos de esgoto no cultivo da soja sob sistema plantio direto**. Botucatu, 2008, 292 p. (Doutorado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas/UNESP.

FUNDECITRUS - **Brasil: Safra Recheada de Decepções**. 2009. Disponível em: <http://www.freshplaza.es/news_detail.asp?id=16966> Acesso em: 02/09/2009.

GOELL, A. Fisiologia da Irrigação. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITROS, 2, 1992, Bebedouro. **Anais...** Bebedouro: Fundação Cargill, 1992, p. 173-81.

GRASSI FILHO, H. **Adições de calcário e boro influenciando características fenológicas e composição foliar do limoeiro Siciliano enxertado sobre dois porta-enxertos**. Piracicaba, 1995, 77 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

GRASSI FILHO, H. **Nutrição e Adubação de Citros**. Botucatu - SP: FEPAF, 1996. 52p.

GRUPO PAULISTA DE ADUBAÇÃO E CALAGEM PARA CITROS. Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo. **Boletim Técnico Instituto Agrônômico**, n. 100, 1996, 286p.

GUEDES, M.C. **Efeito do lodo de esgoto (lodo de esgoto) sobre a nutrição, ciclagem de nutrientes e crescimento de sub-bosque, em plantação de eucalipto**. Piracicaba, 2000, 74 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

HARUVY, N. **Wastewater reuse - regional and economic considerations**. Resources, Conservation and Recycling, v.23, 1998.

HEINRICHS, Regis. **Densidade do solo e de partículas**. 2010. Disponível em: http://www.dracena.unesp.br/graduacao/arquivos/solos/aula_3_densidade_do_solo_e_de_particulas.pdf. Acesso em: 20 março, 2013.

HOODA, P.S.; ALLOWAY, B.J. The plant availability and DTPA extractability of trace metals in sludge-amended soils. **The Science of the Total Environment**, v.149, p.39-51, 1993.

HOSETTI, B. B.; FROST, S. **A review of the sustainable value of effluents and sludges from wastewater stabilization ponds**. 1995, Ecological Engineering, 5 (4).

ILLERA, V., WALTER, I., SOUZA, P., CALA, V. **Short-term of biosolid and municipal solid waste applications on heavy metals distribution in a degraded soil under a semi-arid environment**. The Science of the Total Environment, v.255, p. 29-44, 2000.

JUSTE, C.; SOLDA, P. Factors influencing heavy metal availability in field experiments with sewage sludges. In: LESCHBER, R.; DAVIES, R. D.; L'HERMITÉ, P. **Chemical methods for assessing bioavailability metals in sludge and soils**. London: Elsevier, 1985.

KONDO, M. K. **Densidade de partículas – método balão volumétrico**. Disponível em: www.carisia.com.br/MecSolosI-aula2propriedadesdaspaticulasdossolos.pdf. Acesso em: 23 mar. 2013.

MALAVOLTA, E., VIOLANTE NETTO, A. Nutrição mineral, calagem, gessagem e adubação dos citros. In: SIMPÓSIO DE CITRICULTURA, 3, 1988, Jaboticabal. **Anais ...**, Jaboticabal. FUNEP, 1988, p.233-84.

MALAVOLTA, E., VITTI, G. C., OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: **Potafos**, 1997. 304 p.

MALAVOLTA, E.; YAMADA, T.; GUIDOLIN, J. A. **Nutrição e adubação do cafeeiro**. São Paulo: Instituto da Potassa & Fosfato, 1981, 224p.

MARCIANO, C. R. **Incorporação de resíduos urbanos e as propriedades físico-hídricas de um latossolo vermelho**. Piracicaba, 1999, 93 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

MARCIANO, C. R.; MORAES, S. O.; OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Efeito do lodo de esgoto e do composto de lixo urbano sobre a condutividade hidráulica de um Latossolo Amarelo saturado e não saturado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.1-9, 2001.

MARECOS DO MONTE, M.H.F. **Major benefits and minor disadvantages of crop irrigation with pond effluent: a case study.**In: IAWQ INTERNATIONAL SPECIALIST CONFERENCE

MARTINS, P. F. S. **Propriedades de solos sob floresta natural e sua alternativa em consequência do desmatamento e cultivo na amazonia oriental.** Piracicaba, 1987, 233 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

MCBRIDE, M. B. Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: are USEPA regulations protective. **Journal of Environmental Quality.** Madison, v. 24, n.5-18, 1995.

MELI, S.; PORTO, M.; BELLIGNO, A.; BUFO, S. A.; MAZZATURA, A.; SCOPA, A. Influence of irrigation with lagooned urban wastewater on chemical and microbiological soil parameters in a citrus orchard under Mediterranean condition. **The Science of the Total Environment**, v.285, p.69-77, 2002.

MENDEL, K. Interrelation between tree performance and some virus disease. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL ORGANIZATION OF CITRUS VIROLOGIST, 4., Florida, 1968. **Proceedings.** Gainesville, University of Florida, 1968. p.310-3.

MENDEL, K. New concepts in stionic relations os citrus. In: INTERNATIONAL CITRUS SIMPOSIUM, Riverside, 1969. **Proceedings.** Riverside, University of California, 1969. p.387-90.

METZGER, L., YARON, B. Influence of sludge organic matter on soil physiscal properties. **Adv. Soil Sci.**, v. 7, p. 141-63, 1987.

MORENO, J. L. **La matéria orgânica em los agrosistemas.** Ministério de Agricultura, Pesca y Alimentación e Mundi-Prensa, 1996, Madri, 174 p.

MOURÃO FILHO, F. A. **Efeito de diferentes porta-enxertos no vigor e produtividade das plantas e nas concentrações de macro e micronutrientes nas folhas de Laranja Pera (Citrus sinensis, L., Osbeck).** Botucatu, 1989, 189p. (Mestrado em Agronomia/Horticultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP.

NEVES, C.S.V.J. **Influência de sistemas de manejo em características de tangerina ‘Poncã’ sobre limão ‘Cravo’ e de um latossolo roxo.** Piracicaba, 1998, 158 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, F.C. **Metais pesados e formas nitrogenadas em solos tratados com lodo de esgoto.** Piracicaba, 1995, 90 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, F. C. **Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo num Latossolo Vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar**. 2000. 247p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ABREU JÚNIOR, C. H. Fitodisponibilidade e teores de metais pesados em um Latossolo Amarelo Distrófico e em plantas de cana-de-açúcar adubadas com composto de lixo urbano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.3, p.737-746, jul./set. 2002.

OMS. Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Ginebra: **Organización Mundial de la salud**, 1989. 90 p. (Serie Informes Tecnicos, 78).

ON WASTE STABILIZATION PONDS, 3., João Pessoa, 1995. **Proceedings...**João Pessoa: International Association on Water Quality, 1995.

PAGLIA, Edmilson C. et al. Doses de potássio na lixiviação do solo com lodo de esgoto. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** 2007, vol.11, n.1 [cited 2013-03-30], pp. 94-100.

PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**.Rio de Janeiro: PROSAB, 1999. 97p.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van; PIZA JUNIOR, C. T. Frutíferas. In:RAIJ, B. van et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. p. 119-154.

RAIJ, B. VAN; ANDRADE, J. C.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 284p.

ROMEIRO, J. C. T. **Atributos químicos do solo e crescimento de laranjeiras ‘pera’ irrigadas com efluente de esgoto tratado e fertilizadas com lodo de esgotocompostado**. Botucatu, 2012, 158f. (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrômicas/UNESP.

SALOMÃO, H. Fertirrigação em Citros. In: WORKSHOP DE FERTIRRIGAÇÃO, 1, 1999, Piracicaba.....**Anais...**Piracicaba: Guaíba Agropecuária, 1999, p. 285-392.

SAMPAIO, T. F.**Crescimento de espécies nativas da mata atlântica, modificações de atributos físicos do solo e de metais pesados no solo e na planta, em resposta à aplicação de lodo de esgoto**. Botucatu, 2010, 96p. (Mestrado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agrômicas/UNESP.

SANTOS, E. B. dos. **Atributos Físicos e Químicos de um Solo Degradado Cultivado com Eucalipto e Braquiária após Reaplicação de Biossólido**. Ilha Solteira, 2009, 71p. (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia/UNESP.

SHELEF, G. Wastewater reclamation and water and water resources management in Israel. **Water Science and Tecnology**, v. 24, n. 9, p.251-265, 1991.

SILVA, F. A. S. **Software assistat: assistência estatística**. Versão 7.6 beta. Campina Grande: DEAG-CTRN-UFCG, 2012.

SILVA, F. C. da. **Uso agronômico de lodo de esgoto: efeitos em fertilidade do solo e qualidade da cana de açúcar**. Piracicaba, 1995, 159 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, H. B.; PEXE, C. A.; BERNARDES, E. M. Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um argissolo vermelho amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.5, 2001.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; SHARMA, R. D. Alternativa agronômica para o biossólido no Distrito Federal. I-Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em latossolo no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.2, 2002.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. **Biologia e bioquímica do solo**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2001. 291 p.

SIMONETE, M.A. **Alterações nas propriedades químicas de um argissolo adubado com lodo de esgoto e desenvolvimento e acúmulo de nutrientes em plantas de milho**. Piracicaba, 2001, 89 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

SIMONETE, M. A.; KIEHL, J. C. Extração e fitodisponibilidade de metais em resposta a adição de lodo de esgoto no solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.19, n.3, 2002.

SPADOTTO, C. A.; RIBEIRO, W. C. **Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria**. Botucatu: FEPAF, 2006. 316p. : il., grafs., tabs..

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 526p.

TIESSEN, H.; MOIR, J. O. **Characterization of available P by sequential extraction**. In: CARTER, M. R., (Ed.). Soil sampling and methods of analysis. Boca Raton, Lewis, 1993. p.75-86.

TIRITAN, C. S.; SANTOS, D. H.; FOLONI, J. S. S.; ALVES JÚNIOR, R. Adubação fosfatada mineral e organomineral no desenvolvimento do milho. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 6, n. 1, p. 8-14, 2010.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Soils and soil fertility**. New York:Oxford University Press, 1.ed. 1993. 462p.

TSUTYA, M. T. **Alternativas de disposição final de bio sólidos gerados em estações de tratamento de esgoto**. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: Embrapa, 2000. Cap. 4, p.69-106.

TURNER, B. L.; MAHIEU, N.; CONDRON, L. M. **The phosphorus composition of temperate pasture soils determined by NaOH-EDTA extraction and solution ^{31}P NMR spectroscopy**. Organic Geochemistry, Sevilla, v. 34, n. 1, p. 1199-1210, 2003.

VIEIRA; SILVA, 2004. **Utilização de lodo de esgoto como fonte de fósforo na cultura de soja**. Circular Técnica, EMBRAPA, 2004.

VIEIRA, D.B. Fertirrigação e manejo de irrigação em citros. **Laranja**, Cordeirópolis, n. 9, p. 370-6, 1988.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1995. 240 p. (princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1).