

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Silvio Barge Bhering

**INFLUÊNCIA DO MANEJO DO SOLO E DA DINÂMICA DA
ÁGUA NO SISTEMA DE PRODUÇÃO DO TOMATE DE
MESA: SUBSÍDIOS A SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA DO
NOROESTE FLUMINENSE**

**RIO DE JANEIRO - BRASIL
MARÇO DE 2007**

SILVIO BARGE BHERING

INFLUÊNCIA DO MANEJO DO SOLO E DA DINÂMICA DA ÁGUA NO
SISTEMA DE PRODUÇÃO DO TOMATE DE MESA: SUBSÍDIOS A
SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA DO NOROESTE FLUMINENSE

Tese apresentada à Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos do Programa de Pós-graduação em Geografia para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Nelson Ferreira Fernandes

RIO DE JANEIRO - BRASIL

MARÇO DE 2007

SILVIO BARGE BHERING

INFLUÊNCIA DO MANEJO DO SOLO E DA DINÂMICA DA ÁGUA NO SISTEMA DE PRODUÇÃO DO TOMATE DE MESA: SUBSÍDIOS A SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA DO NOROESTE FLUMINENSE

Tese apresentada à Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos do Programa de Pós-graduação em Geografia para obtenção do título de Doutor em Ciências.

APROVADA: 8 de março de 2007

Prof. Dr. Nelson Ferreira Fernandes - Orientador

Dr. José Ronaldo Macedo - Co-orientador

Prof. Dr. Antônio José Teixeira Guerra

Prof. Dr. Evaristo de Castro Júnior

Dr. Aluisio Granato de Andrade

Dr. Nuno Rodrigo Madeira

Ficha catalográfica

BHERING, Silvio Barge, 1960-

Influência do manejo do solo e da dinâmica da água no sistema de produção do tomate de mesa: subsídios a sustentabilidade agrícola do noroeste fluminense / Silvio Barge Bhering – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Rio de Janeiro: UFRJ, 2007.

211 p.

Orientador: Nelson Ferreira Fernandes

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Inclui bibliografia

1- Dinâmica da água no solo 2- Sistema de produção de tomate de mesa 3- Manejo de solo e água

I. Universidade Federal do Rio de Janeiro

Dedico esse trabalho,

A meus pais, Livio e Fátima, pelo permanente incentivo e irrestrito apoio;

A minha esposa, Albina, e aos meus filhos Pedro, João Paulo e Ana Clara e aos meus sobrinhos Karina, Karoline e Arnon como um incentivo;

Ao meu falecido sogro Paulo Elmo de Mello Rodrigues, pelo seu exemplo de dedicação e correção;

E a Paulo Adão e Silvinho, como símbolos daqueles homens simples da nossa sociedade que edificam suas vidas na dignidade do trabalho, do companheirismo e da solidariedade;

E a todos àqueles que acreditam que a educação é o caminho para a construção de uma sociedade mais justa para todos.

Agradecimentos

A minha instituição Embrapa que tornou possível esta pesquisa;

Ao PRODETAB pelo apoio financeiro ao Projeto na qual esta pesquisa buscou contribuir;

Aos Drs. Nelson Ferreira Fernandes e José Ronaldo Macedo, pela preciosa orientação e permanente incentivo;

À amiga Andréa Paula de Souza pela contribuição nessa pesquisa;

Ao Dr. Pedro de Freitas, líder do Projeto PRODETAB pelo irrestrito apoio na concepção e desenvolvimento desta pesquisa;

Ao colega Dr. Nuno Rodrigo Madeira da Embrapa Hortaliças pela orientação na concepção dessa pesquisa

Aos colegas Nuno, Neli e Polidora pelo apoio no delineamento experimental e na análise estatística dos dados;

Aos colegas da EMATER de São José do Ubá, Evandro e Norma pelo apoio, orientação técnica e no entendimento da sociedade local;

Às amigas da Embrapa Solos, Maria José Zaroni e Jacqueline Mattos por aquela ajuda ;

Aos colegas do " laboratório do Nelson" sempre dispostos a ajudar no que for preciso;

A toda a minha família, meu irmão, cunhadas e concunhados, e sogra pelo incentivo e compreensão;

E ao Paulo Adão e ao Silvinho, pelos ensinamentos passados e pela dedicação na compreensão, análise e avaliação das nossas proposições.

O meu sincero, muito obrigado.

"O valor das coisas não está no tempo em que elas duram, mas na intensidade com que acontecem. Por isso existem momentos inesquecíveis, coisas inexplicáveis e pessoas incomparáveis".

Fernando Pessoa

Resumo

Esta pesquisa visou contribuir na busca de sistemas de produção sustentáveis para a lavoura de tomate na região noroeste fluminense, e no entendimento da influência das práticas de manejo do solo e da água no comportamento hidrológico dos solos. O estudo foi desenvolvido na microbacia do Barro Branco no município de São José do Ubá no estado do Rio de Janeiro. Nesse estudo foram implantados e comparados três sistemas de produção: o sistema de produção convencional, e o de cultivo mínimo, ambos com irrigação por “mangueirão”, e o sistema de plantio direto com irrigação por gotejamento. Nesses sistemas de produção foram estudadas as propriedades físicas e físico-hídricas, a dinâmica da água no solo e a temperatura do solo, o volume de água aplicado por irrigação, o desenvolvimento do sistema radicular, e a produtividade. Os resultados obtidos demonstraram que não houve alterações significativas nas propriedades físicas e físico-hídricas em função dos sistemas de produção. O sistema de produção por plantio direto proporciona temperaturas médias do solo e amplitude térmica inferiores além de disponibilizar mais água para as plantas e para a recarga do aquífero. Também foi identificada a concentração de 75% de raízes até 30 cm de profundidade, e a existência de estresse hídrico, principalmente, nas etapas de frutificação, maturação e colheita nos sistemas de produção convencional e de cultivo mínimo. Por fim, foi obtido o aumento de cerca de 50% na produção de tomate quando cultivado no sistema de produção de plantio direto em função da disponibilidade hídrica, quando comparado com o sistema de cultivo convencional. Portanto, os resultados desta pesquisa atestam que a adoção de técnicas conservacionistas de solo e água podem contribuir na busca da sustentabilidade ambiental do cultivo de tomate de mesa na região noroeste fluminense.

Abstract

This study aimed to contribute towards the development of sustainable production systems for the tomato farming in the northwestern part of Rio de Janeiro state, as well as the improvement of our understanding on the role played by soil and water management practices on soil hydrology, especially on the amount of water available for the plants. The research was carried on in the Barro Branco watershed, São José do Ubá county, and compared three production systems: conventional tillage, minimum tillage, both with “wetting irrigation with garden hose” and no-tillage with drip irrigation. For each production system, soil physical properties were characterized and soil water potential (SWP) and soil temperature (20, 40 and 80 cm depth) continuously monitored, as well as the total water volume used in irrigation, the root system development and the final productivity. The results obtained in this study did not detect significant modifications on soil physical properties among the three systems. The no-tillage system presented the lower values for average soil temperature and amplitude while supplying more water to the plants, favoring groundwater recharge on the long-term. On the other hand, conventional and minimum tillage systems presented water stress conditions, especially during fruiting, maturation and harvest periods, and 75% of the root system is concentrated on the first 30cm of the soil profile. The results also suggested a 50% increase in the production of tomato for the no-tillage system, when compared to conventional system. Therefore, the results presented here attest that the implementation of soil and water conservation practices play an important role towards an environmental sustainability of the tomato farming in the northwestern portion of Rio de Janeiro state.

Lista de Figuras

Figura 1. O solo como um sistema trifásico.....	37
Figura 2. (a) Leitor watermarker portátil da irrometer inc., (b) Detalhe do sensor de matriz granular também da irrometer inc.....	51
Figura 3. Mapa de localização da Meso-região Noroeste Fluminense.....	54
Figura 4. Município de São José do Ubá no estado do Rio de Janeiro/RJ.....	61
Figura 5. Comportamento pluviométrico – Município de São José do Ubá.....	67
Figura 6. Balanço hídrico mensal – Município de São José do Ubá.....	68
Figura 7. Mapa Geológico da Bacia do Rio São Domingos.....	70
Figura 8. Distribuição de ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELO eutróficos (bege) e distróficos (marron) na Bacia do Rio São Domingos.....	72
Figura 9. Vista das unidades experimentais na localidade do Barro Branco – São José do Ubá.....	75
Figura 10. Vista do perfil de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO na unidade experimental.....	77
Figura 10a. Amostras dos horizontes do solo para determinação da cor.	78
Figura 11. (a) Detalhe da coleta de amostra indeformada, (b) Detalhe da divisão de horizontes no perfil de solo.....	79
Figura 12. (a) Detalhe do furo de trado utilizado para realização do teste de condutividade hidráulica, com carga hidráulica de 5 cm, (b) Detalhe do furo de trado com carga hidráulica de 10 cm.....	81
Figura 13 (a) e (b) – Detalhes do “Permeâmetro de Guelph Modificado” no teste em execução (a) Vista Geral do Permeâmetro no local dos testes (b).....	82
Figura 14. Marcação das curvas de nível e dos terraços.....	84
Figura 15 (a), (b) e (c). Detalhe da construção do terraço com junta de boi e arado de aiveca.....	84
Figura 16. Alguns cultivares de tomate de mesa plantados na região.....	85
Figura 17. Detalhe da montagem do sistema de espaldar utilizando hastes de eucalipto tratado.....	85
Figura 18. (a) Produtor vestido com Equipamento de Proteção Individual (b) Equipamento para pressurização para aplicação de produtos fitossanitários, (c) Detalhe da pressão de serviço – próximo a 160 psi.....	86

Figura 19. (a) Detalhe da aplicação de adubação de base, adubação fosfática, (b) Detalhe do adubo no fundo da cova na área de cultivo mínimo.....	87
Figura 20. (a) Detalhe da aplicação de irrigação por mangueirão, (b) Detalhe da aplicação em forma de jato no mesmo sistema de irrigação por mangueirão.....	90
Figura 21. Detalhe da inspeção do sistema de espaldar na área de produção no sistema de cultivo mínimo – Prof. Dr. Nelson Ferreira Fernandes e Dr. José Ronaldo Macedo.....	91
Figura 22. Detalhe do sistema de bombeamento e dos tanques de fertirrigação ..	92
Figura 23. Detalhe do sistema de irrigação por gotejamento	92
Figura 24. Detalhe do termopluviógrafo instalado na área experimental.....	94
Figura 25. Geotermômetros instalados para monitoramento da temperatura do solo.....	95
Figura 26. Hidrômetro utilizado para registro dos volumes de água aplicados.....	96
Figura 27. Localização dos sensores GMS, termopluviógrafo e linha principal de adução do sistema de irrigação.....	97
Figura 28. Detalhe do sensor “GMS” e do local de instalação.....	99
Figura 29 (a) Detalhe das parcelas de monitoramento da produção (b) o resultado da produção obtida	100
Figura 29 (c). Plano amostral com as parcelas de monitoramento da produção	101
Figura 30. Detalhe do desenvolvimento do sistema radicular.....	102
Figura 31. Modelo de declividade e digital de elevação da unidade experimental...	117
Figura 32. Porosidade Total média por sistema de produção.....	123
Figura 33. Macroporosidade média por sistema de produção.....	123
Figura 34. Microporosidade média por sistema de produção.....	124
Figura 35. Condutividade hidráulica média por sistema de produção.....	125
Figura 36. (a) Valores médios de Ksat e (b) Infiltração determinados por Guelph.....	128
Figura 37. Retenção média no sistema de Plantio Direto por horizonte.....	131
Figura 38. Retenção média no sistema de Cultivo Mínimo por horizonte.....	131

Figura 39- Retenção média no sistema de Cultivo Mínimo por horizonte - detalhe	132
Figura 40. Retenção média no sistema de Cultivo Convencional por horizonte.....	132
Figura 41. Retenção média no horizonte Ap por sistema de produção.....	137
Figura 42. Retenção média no horizonte BA por sistema de produção.....	137
Figura 43. Retenção média no horizonte Bt por sistema de produção.....	138
Figura 44. Retenção média no horizonte Bt por sistema de produção – detalhe....	138
Figura 45. Temperatura média e amplitude térmica às 7 hs.....	140
Figura 46. Temperatura média e amplitude térmica às 12 hs.....	141
Figura 47. Temperatura média e Amplitude térmica às 17 hs.....	142
Figura 48. Produção média por planta por sistema de produção.....	144
Figura 49. Volume médio de água aplicado por planta por irrigação.....	149
Figura 50. Vazão média do sistema de irrigação.....	150
Figura 51. Esquema geral das fases de desenvolvimento da lavoura de tomate, com respectivas datas limite aproximada; características de umidade especiais da fase de desenvolvimento da lavoura, número de leituras realizadas por fase da cultura	152
Figura 52. Variação do potencial matricial da água no solo para o sistema de produção de cultivo convencional, dados em $Kpa^{(-1)}$	154
Figura 53. Variação do potencial matricial da água no solo para o sistema de produção de cultivo mínimo, dados em $Kpa^{(-1)}$	154
Figura 54. Variação do potencial matricial da água no solo para o sistema de produção de plantio direto, dados em $Kpa^{(-1)}$	155
Figura 55. Variação do potencial matricial da água no solo para a profundidade monitoradas de 20 cm. em função do sistema de produção, dados em $Kpa^{(-1)}$	160
Figura 56. Variação do potencial matricial da água no solo para a profundidade monitoradas de 40 cm. em função do sistema de produção, dados em $Kpa^{(-1)}$	161
Figura 57. Variação do potencial matricial da água no solo para a profundidade monitoradas de 60 cm. em função do sistema de produção, dados em $Kpa^{(-1)}$	162
Figura 58. Variação do potencial matricial da água no solo para a profundidade monitoradas de 80 cm. em função do sistema de produção, dados em $Kpa^{(-1)}$	163
Figura 59. Variação do potencial matricial da água no solo para sistema de produção com cultivo convencional, nas quatro profundidades monitoradas,	

entre-plantas, dados em $Kpa^{(-1)}$	164
Figura 60. Variação do potencial matricial da água no solo para sistema de produção com cultivo mínimo, nas quatro profundidades monitoradas, entre-plantas, dados em $Kpa^{(-1)}$	166
Figura 61. Variação do potencial matricial da água no solo para sistema de produção com cultivo mínimo, nas quatro profundidades monitoradas, entre-plantas, dados em $Kpa^{(-1)}$	168
Figura 62. Variação do potencial matricial da água no solo para a profundidade de 20 cm., entre-plantas, de acordo com o sistema de produção, dados em $Kpa^{(-1)}$	169
Figura 63. Variação do potencial matricial da água no solo para a profundidade de 40 cm., entre-plantas, de acordo com o sistema de produção, dados em $Kpa^{(-1)}$	169
Figura 64. Variação do potencial matricial da água no solo para a profundidade de 60 cm., entre-plantas, de acordo com o sistema de produção, dados em $Kpa^{(-1)}$	170
Figura 65. Variação do potencial matricial da água no solo para a profundidade de 80 cm., entre-plantas, de acordo com o sistema de produção, dados em $Kpa^{(-1)}$	170

Lista de Tabelas

Tabela 1. Instrumentos para mensuração do potencial matricial do solo.....	50
Tabela 2. Resumo das operações dos sistemas de produção	88
Tabela 3. Resumo da análise de variância empregada no tratamento estatístico...	103
Tabela 4. Descrição morfológica do perfil representativo	106
Tabela 5. Resultados das determinações físicas e químicas.....	107
Tabela 6. Média e desvio padrão da composição granulométrica da unidade de pesquisa.....	110
Tabela 7. Valores das profundidades médias dos horizontes diagnósticos dos perfis das unidades experimentais e profundidade média de coleta das amostras para determinações físicas e físico-hídricas dos três Sistemas de Produção	111
Tabela 8. Comparação das médias dos valores das frações granulométricas por Análise estatística do Horizonte Ap para os três Sistemas de Produção: Cultivo Convencional, Cultivo Mínimo e Plantio Direto com teste t-student para n= 6.....	112
Tabela 9 - Comparação das médias dos valores das frações granulométricas por Análise estatística do Horizonte BA para os três Sistemas de Produção: Cultivo Convencional, Cultivo Mínimo e Plantio Direto com teste t-student para n= 6.....	113
Tabela 10 - Comparação das médias dos valores das frações granulométricas por Análise estatística do Horizonte Bt para os três Sistemas de Produção: Cultivo Convencional, Cultivo Mínimo e Plantio Direto com teste t-student para n= 6.....	114
Tabela 11 – Valores médios e desvio padrão de densidade do solo, densidade da partícula, porosidade total, macroporosidade e microporosidade, condutividade hidráulica.....	116
Tabela 12 - Comparação dos valores médios de densidade do solo e da partícula, da porosidade e da condutividade hidráulica por Análise estatística do Horizonte Ap para os três Sistemas de Produção, com teste t-student para n= 6.	118
Tabela 13 - Comparação das médias dos valores da densidade do solo, da densidade da partícula, da porosidade total, da macroporosidade, da microporosidade e da condutividade hidráulica por Análise estatística do	

Horizonte BA para os três Sistemas de Produção: Cultivo Convencional, Cultivo Mínimo e Plantio Direto com teste t-student para n= 6.....	121
Tabela 14 - Comparação das médias dos valores da densidade do solo, da densidade da partícula, da porosidade total, da macroporosidade, da microporosidade e da condutividade hidráulica por Análise estatística do Horizonte Bt para os três Sistemas de Produção: Cultivo Convencional, Cultivo Mínimo e Plantio Direto com teste t-student para n= 6.....	122
Tabela 15 – Valores de Ksat e infiltração média e desvio padrão obtidos pelo permeâmetro de Guelph.....	127
Tabela 16 - Dados médios e desvio padrão da retenção de umidade nas diversas tensões, por sistema de produção e por horizonte. Valores em MPa.....	130
Tabela 17 – Comparação das médias dos valores da retenção de umidade nas diferentes tensões por Análise estatística do Horizonte Ap para os três Sistemas de Produção: Cultivo Convencional, Cultivo Mínimo e Plantio Direto com teste t-student para n= 6.....	134
Tabela 18 – Comparação das médias dos valores da retenção de umidade nas diferentes tensões por Análise estatística do Horizonte BA para os três Sistemas de Produção: Cultivo Convencional, Cultivo Mínimo e Plantio Direto com teste t-student para n= 6.....	135
Tabela 19 – Comparação das médias dos valores da retenção de umidade nas diferentes tensões por Análise estatística do Horizonte Bt para os três Sistemas de Produção: Cultivo Convencional, Cultivo Mínimo e Plantio Direto com teste t-student para n= 6.....	136
Tabela 20 – Comparação das médias dos valores de produção por análise estatística para os três Sistemas de Produção: Cultivo Convencional, Cultivo Mínimo e Plantio Direto com teste t-student para n= 14.....	145
Tabela 21 – Resultado das determinações de água de irrigação.....	146
Tabela 22 – Comparação dos valores médios obtidas na determinação da tensão na linha de plantio e análise estatística para as quatro profundidades, 20, 40, 60 e 80 cm, na FASE I, para os três Sistemas de Produção: Cultivo Convencional,	

Cultivo Mínimo e Plantio Direto com teste t-student para n= 4.....	156
Tabela 23 – Comparação dos valores médios obtidas na determinação da tensão na linha de plantio e análise estatística para as quatro profundidades, 20, 40, 60 e 80 cm, na FASE II, para os três Sistemas de Produção: Cultivo Convencional, Cultivo Mínimo e Plantio Direto com teste t-student para n= 4.....	157
Tabela 24 – Comparação dos valores médios obtidas na determinação da tensão na linha de plantio e análise estatística para as quatro profundidades, 20, 40, 60 e 80 cm, na FASE III, para os três Sistemas de Produção: Cultivo Convencional, Cultivo Mínimo e Plantio Direto com teste t-student para n= 4.....	158
Tabela 25 – Comparação dos valores médios obtidas na determinação da tensão na linha de plantio e análise estatística para as quatro profundidades, 20, 40, 60 e 80 cm, na FASE IV, para os três Sistemas de Produção: Cultivo Convencional, Cultivo Mínimo e Plantio Direto com teste t-student para n= 4.....	158
Tabela 26 – Comparação dos valores médios obtidas na determinação da tensão na entre plantas e análise estatística para as quatro profundidades, 20, 40 ,60 e 80 cm, na FASE I, para os três Sistemas de Produção: Cultivo Convencional, Cultivo Mínimo e Plantio Direto com teste t-student para n= 4.....	171
Tabela 27 – Comparação dos valores médios obtidas na determinação da tensão na entre plantas e análise estatística para as quatro profundidades, 20, 40 ,60 e 80 cm, na FASE II, para os três Sistemas de Produção: Cultivo Convencional, Cultivo Mínimo e Plantio Direto com teste t-student para n= 4.....	172
Tabela 28 – Comparação dos valores médios obtidas na determinação da tensão na entre plantas e análise estatística para as quatro profundidades, 20, 40 ,60 e 80 cm, na FASE III, para os três Sistemas de Produção: Cultivo Convencional, Cultivo Mínimo e Plantio Direto com teste t-student para n= 4.....	172
Tabela 29 – Comparação dos valores médios obtidas na determinação da tensão na entre linha de plantio e análise estatística para as quatro profundidades, 20, 40 ,60 e 80 cm, na FASE IV, para os três Sistemas de Produção: Cultivo Convencional, Cultivo Mínimo e Plantio Direto com teste t-student para n= 4.....	173
Tabela 30 – Valores absolutos do tratamento das fotografias digitais das unidades experimentais para os sistemas de produção de cultivo convencional,	

repetições 1, 2 e 3, do perfil 1, para a profundidade de 0 a 50 cm.....	176
Tabela 31 – Valores absolutos do tratamento das fotografias digitais das unidades experimentais para os sistemas de produção de cultivo convencional, repetições 1, 2 e 3, do perfil 2, para a profundidade de 0 a 50 cm.....	177
Tabela 32 – Valores absolutos do tratamento das fotografias digitais das unidades experimentais para os sistemas de produção de cultivo mínimo, repetições 1, 2 e 3, do perfil 1, para a profundidade de 0 a 50 cm.....	178
Tabela 33 – Valores absolutos do tratamento das fotografias digitais das unidades experimentais para os sistemas de produção de cultivo mínimo, repetições 1, 2 e 3, do perfil 2, para a profundidade de 0 a 50 cm.....	179
Tabela 34 – Valores absolutos do tratamento das fotografias digitais das unidades experimentais para os sistemas de produção de plantio direto, repetições 1, 2 e 3, do perfil 1, para a profundidade de 0 a 50 cm.....	180
Tabela 35 – Valores absolutos do tratamento das fotografias digitais das unidades experimentais para os sistemas de produção de plantio direto, repetições 1, 2 e 3, do perfil 2, para a profundidade de 0 a 50 cm.....	181
Tabela 36 – Comparação dos valores médios obtidas na determinação da área ocupada pelas raízes e tratamento estatístico para a profundidade de 0 a 50 cm; nos três Sistemas de Produção: Cultivo Convencional, Cultivo Mínimo e Plantio Direto, com teste t-student para n= 6.....	182
Tabela 37 – Comparação da distribuição de raízes ao longo do perfil, obtidas a partir da determinação do percentual de raízes por profundidade frente ao total de raízes emitidas e tratamento estatístico para as três profundidades, 0 a 10 cm; 10 a 30 cm; e 30 a 50 cm, nos três Sistemas de Produção: Cultivo Convencional, Cultivo Mínimo e Plantio Direto com teste t-student para n= 6.....	183

Lista de Equações

Equação 1. Porosidade com base em umidade volumétrica.....	38
Equação 2. Porosidade com base na densidade.....	39
Equação 3. Potencial total de água no solo.....	45
Equação 4. Condutividade hidráulica saturada	81
Equação 5. Infiltração saturada tridimensional.....	82

Sumário

1. Introdução.....	1
2 Influências do manejo do solo na dinâmica da água e na produtividade.....	11
2.1 Sistemas de avaliação da sustentabilidade de agroecossistemas.....	11
2.2 Interações do manejo com as propriedades físicas e a hidrologia do solo...	15
2.2.1 Relação entre o plantio direto, cultivo mínimo e cultivo convencional	16
2.2.2 Aspectos relativos a produção do tomate de mesa.....	20
2.2.2.1 Histórico da cultura.....	21
2.2.2.2 Aspectos agronômicos da tomaticultura.....	22
2.2.2.3 O uso da água na lavoura do tomate.....	26
2.2.3 Relações do manejo com as propriedades físicas e físico-hídricas do solo.....	31
2.2.4 O efeito do manejo na temperatura do solo, na produtividade e no desenvolvimento radicular.....	40
2.3 Dinâmica da água no solo.....	44
2.4 Mensuração da água no solo.....	47
3 Área de estudo.....	53
3.1 Características gerais da meso-região Noroeste Fluminense.....	55
3.1.1 Características sócio-econômicas.....	55
3.1.2 Características do meio físico.....	58
3.2 Município de São José do Ubá.....	60
3.2.1 Caracterização sócio-econômica do município de São José do Ubá	61
3.2.2 Caracterização do meio físico do município de São José do Ubá.....	64
4 Metodologia.....	73
4.1 Escolha da área experimental – critérios utilizados.....	73

4.2	Caracterização das unidades de pesquisa participativa e demonstrativa.....	75
4.2.1	Levantamento topográfico da área.....	75
4.2.2	Caracterização pedológica da área	76
4.2.2.1	Propriedades morfológicas.....	77
4.2.2.2	Propriedades químicas.....	78
4.2.2.3	Propriedades físicas.....	79
4.3	Caracterização físico-hídrico.....	79
4.3.1	Obtenção da curva de retenção de umidade.....	80
4.3.2	Mensuração da condutividade hidráulica de laboratório.....	80
4.3.3	Condutividade hidráulica do solo “in situ”.....	80
4.3.4	Mensuração da infiltração do solo.....	81
4.4	Sistemas de produção.....	83
4.4.1	Aspectos gerais do sistema de produção.....	83
4.4.2	Sistema de produção em plantio convencional.....	89
4.4.3	Sistema de produção em cultivo mínimo.....	90
4.4.4	Sistema de produção em plantio direto.....	91
4.5	Monitoramento da temperatura do ar e das chuvas.....	93
4.6	Monitoramento da temperatura do solo.....	94
4.7	Monitoramento da irrigação.....	95
4.8	Monitoramento do potencial da água do solo.....	96
4.9	Monitoramento da qualidade da água de irrigação.....	99
4.10	Monitoramento da produção.....	100
4.11	Avaliação do desenvolvimento do sistema radicular.....	101
4.12	Tratamento estatístico dos dados.....	102

5 Resultados e discussões	104
5.1 Planialtimetria da unidade experimental.....	104
5.2 Características morfológica, físico e químico da unidade experimental.....	105
5.3 Características físicas e físico-hídricas das parcelas experimentais	109
5.3.1 Granulometria.....	109
5.3.2 Densidade, porosidade e Condutividade hidráulica	115
5.3.3 Condutividade hidráulica “in situ”.....	125
5.3.4 Retenção de água no Solo.....	130
5.4 Influência do sistema de produção na temperatura do solo.....	139
5.5 Análise da produção face aos sistemas de produção.....	143
5.6 Qualidade da água de irrigação.....	146
5.7 Volume de água de irrigação aplicada.....	147
5.8 Dinâmica da água no solo nos sistemas de produção.....	151
5.9 Análise do desenvolvimento do sistema radicular.....	175
6 Conclusões e recomendações.....	186
7 Referências bibliográficas.....	193

1 – Introdução

O aumento da população mundial, com a conseqüente ampliação da demanda por alimentos, associado às questões econômicas dos países em desenvolvimento, cada vez mais carentes por superávits em moeda forte, além da disponibilidade de novos recursos tecnológicos de produção como: novos cultivares, adubos mais eficientes, defensivos agrícolas mais poderosos, tudo isso, amparado em equipamentos de mecanização agrícolas, cada vez mais potentes, têm gerado sistemas produtivos que têm colocado cada vez mais em risco o equilíbrio das variáveis do meio ambiente e acelerado os processos geradores de desequilíbrios.

O uso sustentável de agroecossistemas requer a formulação de planejamentos conservacionistas e integrados, compreendendo um conjunto de tecnologias e práticas que levam em consideração a conservação de solo e da água nestes sistemas. A capacidade de recarga ou de infiltração de água no solo depende diretamente das formas de intervenção do homem e do conhecimento do comportamento pedoambiental em diferentes modelos de exploração agropecuária.

Na América Latina, atualmente, estima-se que cerca de 75% da população viva nos grandes centros urbanos (CEPAL, 2005), sem relação direta, nem controle sobre a produção de alimentos. No Brasil, mais de 80% da população é urbana (CEPAL, 2005), e no estado do Rio de Janeiro, este número chega a 95% da população (CIDE, 2005), ou seja, a maior parte dos consumidores modernos encontra os alimentos nas prateleiras dos mercados ou armazéns e, geralmente, não se preocupam em saber, de onde vêm ou como são produzidos. Todavia, na última década, este quadro tem se alterado significativamente, principalmente, com o crescimento da agricultura orgânica.

Ao final da década de 90 estimava-se que o planeta possuía cerca de 68 milhões de hectares das terras agrícolas em processo de degradação. No Brasil, apesar da inexistência de levantamentos quantitativos confiáveis de áreas degradadas ou em estágio de degradação, muitos trabalhos relacionados a este tema têm sido publicados por SILVA et al. (2000); BEUTLER et al. (2001); IMHOFF et al. (2001); e SILVA & ROSOLEM (2001), dentre outros.

Já, no início desta década, ciente destas questões (BRASIL, 1991), o Brasil, como os demais países signatários da CNUMAD/92, assumiu o compromisso de elaborar e implementar a sua própria Agenda 21, onde foram definidos seis eixos temáticos básicos, dentre os quais destacamos “a busca por uma agricultura sustentável”.

A Agenda 21 Brasileira realça a relação da agricultura com a preservação quando descreve: “a importância territorial da agricultura brasileira faz com que tudo o que diga respeito à organização socioeconômica, técnica e espacial da produção agropecuária deva ser considerado de interesse estratégico e vital, do ponto de vista dos impactos sobre o meio ambiente. Apesar disso, a pesquisa em ciências agrárias e as políticas de desenvolvimento no Brasil, salvo raras exceções, estiveram por longo tempo e, em grande parte permanecem, dissociadas dos princípios e dos conhecimentos acumulados pela ecologia. Esse fato explica porque a agricultura é reconhecida hoje como uma das principais causas e, ao mesmo tempo, uma das principais vítimas dos problemas ambientais da atualidade...”.

Face as suas peculiaridades, como o seu relevo acidentado, a Região Noroeste do Estado do Rio de Janeiro não se insere nas áreas de produção extensiva de grãos, sujeita à mecanização agrícola intensa. O seu ciclo de desenvolvimento foi calcado na expansão da cultura cafeeira que ocorreu no final do século XIX e início do século XX. A decadência

econômica veio associada ao fim do ciclo do café e posterior substituição pela pecuária de corte e de leite (CIDE, 2005).

A herança desses ciclos econômicos, baseados em sistemas de produção que adotavam técnicas de manejo inadequado dos solos, sem preocupações conservacionistas, deixou como legado, elevado estágio de degradação ambiental, e a diminuição da capacidade de suporte dessas terras e o conseqüente êxodo rural. Neste sentido, a região clama por sistemas de produção sustentáveis que permitam o soerguimento das atividades agropecuárias na região.

Nessa região, esses sistemas de produção, potencialmente não sustentáveis, são agravados, pois o Noroeste Fluminense encontra-se sobre um dos sistemas hídricos mais vulneráveis à intervenção humana, o Sistema Hídrico Cristalino, onde a maior parte da água disponível ocorre na forma de aquíferos fissurais. Estes aquíferos controlam o nível de base regional e são abastecidos pela água que infiltra em determinadas áreas chamadas zonas de recarga, compreendendo uma vasta região de relevo acidentado nas Regiões Sul/Sudeste, onde predomina a agricultura familiar.

Associado a esses fatores, a região caracteriza-se pelo relevo acidentado de declividades acentuadas em áreas ocupadas anteriormente pela Mata Atlântica, pelo regime pluviométrico e pelo desmatamento indiscriminado potencializado pela pecuária extensiva. Atualmente, a cobertura florestal de toda região Noroeste do Estado é de apenas 5%, constituída de pequenos fragmentos de matas secundárias, bastante alterados (CIDE, 2005).

Esses sistemas de produção podem ser caracterizados de forma genérica em três principais grupos: Convencional, que não adota conceitos e técnicas conservacionistas; Sistema de Cultivo Mínimo que utiliza conceitos intermediários entre os dois sistemas,

adotando algumas práticas conservacionistas; e o Sistema de Plantio Direto, que emprega os mais modernos conceitos de conservação de solo e água, ciclagem de nutrientes e rotação de culturas.

A partir do início da década de 60, com a introdução da olericultura na região, em especial da cultura do tomate de mesa, em sistemas de produção intensivos que incluem: o preparo do solo morro abaixo, o plantio adensado em sistemas de “covão”, a técnica de acumulação de recursos hídricos, com barragens indiscriminadas nos cursos de água, o sistema de molhamento por mangueirão e, principalmente, o abandono das áreas de cultivo após dois ou, no máximo, três ciclos de cultivo. Essas práticas têm gerado um quadro desolador, com sérios impactos no regime hídrico nas localidades em que a cultura do tomate é a principal atividade econômica, como por exemplo, o município de São José do Ubá, maior produtor do estado.

Esse sistema de exploração convencional conduziu a graves processos erosivos tornando o solo menos permeável, prejudicando a plena recarga dos sistemas hídricos, levando ao assoreamento e desaparecimento de rios temporários e a migração de nascentes, comprometendo a manutenção dos ecossistemas terrestres e aquáticos e a produção agropecuária (FIDALGO et al., 2005).

Como resultado deste quadro, a região Noroeste do estado do Rio de Janeiro vem sofrendo um agravamento das restrições de abastecimento de água para consumo humano e animal, em função da escassez hídrica dos últimos anos. Em decorrência desta situação, estabeleceu-se na região um ciclo de decadência econômica baseada no binômio, pobreza x degradação ambiental, contribuindo para que atualmente a região apresente os menores índices de desenvolvimento e as maiores taxas de indigência do Estado, comparáveis, apenas, aos do sertão do Nordeste Brasileiro.

Essa situação motivou o desenvolvimento do Projeto “Planejamento Conservacionista das Terras Visando a Recarga do Sistema Hídrico em Bacias Hidrográficas sobre o Embasamento Cristalino”. Este projeto contou com financiamento do PRODETAB - Programa de Apoio ao Desenvolvimento de Tecnologias Agropecuárias para o Brasil - e foi executado em parceria por diversas instituições, dentre as quais, podemos destacar a Embrapa Solos, o Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro e Departamento de Recursos Naturais do Estado do Rio de Janeiro.

Neste contexto, a cultura do tomate de mesa reverte-se de grande relevância na Região Noroeste Fluminense, uma vez que é o sistema de exploração agrícola mais intensivo, seja com relação à geração de emprego e renda, seja como uma das principais causas da degradação ambiental da região.

SMITH & MCDONALD (1998) afirmam que é relevante na avaliação da sustentabilidade de agroecossistemas, em especial, no contexto geográfico, considerar diferentes escalas de análise, uma vez que estas suscitam modelos distintos de avaliação. Pois, em escala de campo, os interesses recaem em indicadores do crescimento das plantas e como as diferentes características de disponibilidade hídrica, fertilidade dos solos, suscetibilidade à erosão, clima, e pragas e doenças afetam o desenvolvimento. Esse foco de avaliação considera às variáveis vinculadas, as práticas de manejo e de como estas e as condições ambientais afetam a produção das culturas.

Sob esta ótica, as práticas de manejo do solo adotadas nos sistemas de produção e a dinâmica da água no sistema solo-água-plantas adquirem ainda maior relevância, uma vez que o uso agrícola das terras altera, normalmente, as propriedades do solo. Dessa forma, diferentes sistemas de manejo do solo resultam em mudanças na composição e arranjo

dos seus constituintes, que podem, em alguns casos, prejudicar a conservação desse recurso natural e reduzir a produtividade das culturas (REINERT, 1998).

Dentre os sistemas de manejo do solo, podemos citar duas vertentes, a dos sistemas conservacionistas e a dos sistemas convencionais de preparo do solo. Esses sistemas apresentam características muito distintas em relação às técnicas utilizadas. Enquanto o sistema de plantio direto, conservacionista, busca atuar de forma a causar o mínimo de perturbações no solo, através do plantio em nível, do não revolvimento do solo, da rotação de culturas e da geração e manutenção de palhada de cobertura através dos restos culturais na superfície do solo (FREITAS, 1997), o sistema de preparo convencional, que não respeita as curvas de nível do terreno, empregando implementos agrícolas que revolvem excessivamente o solo, de uma maneira geral, provoca diversas transformações na matriz do solo.

Além disso, quando tratamos de um sistema de produção sob irrigação, a adoção de um determinado conjunto de técnicas de manejo está associada não apenas ao preparo do solo, mas, também, às características do sistema de irrigação e ao seu manejo. Esta interação é complexa, visto que, necessita-se avaliar para cada tipo de sistema, COMO, QUANDO e QUANTO irrigar.

Este manejo da irrigação é importante para a otimização da produção e a sustentabilidade do sistema de produção, uma vez que, a produtividade, a rentabilidade, a qualidade ambiental e a relação custo-benefício dos sistemas de produção, que fazem uso da irrigação, estão intimamente associadas à qualidade, e ao manejo da água, para que o solo não fique sujeito a processos de salinização, lixiviação de nutrientes e a erosão (HAMBLIN, 1985; SHOCK, 1998; NOGUEIRA et al., 2000; SARWAR et al., 2001; ABOUDRARE et al., 2006; e GEORGAKAKOS & CARPENTER, 2006).

Segundo REICHARDT (1985), a relação entre o solo, a água, as plantas, e a compreensão dos níveis de umidade do solo são fundamentais e muito relevantes, visto a sua importância como fator determinante na disponibilidade de água para as culturas, na recarga dos aquíferos subterrâneos, na ocorrência e magnitude do escoamento superficial e no manejo e conservação do solo e da água.

DUNNE & LEOPOLD (1978) afirmaram que o movimento dos fluxos de água no solo pode ocorrer em quatro diferentes rotas, sendo estas, o fluxo superficial hortoniano, o fluxo subterrâneo de base, o fluxo subsuperficial e o fluxo superficial de saturação.

REICHARDT (1985) afirma que os fluxos que ocorrem no interior da matriz solo fazem parte dos processos do ciclo hidrológico. Por exemplo, ao término do processo de infiltração, o movimento da água no perfil do solo não cessa, e pode persistir por muito tempo. Esse movimento da água, posterior a infiltração é denominado drenagem interna ou redistribuição de umidade e caracteriza-se por aumentar a umidade das camadas mais profundas pela água contida nas camadas superficiais inicialmente umedecidas.

Ao longo do tempo, muitos trabalhos procuraram discutir as alterações dos atributos físicos e físico-hídricos do solo em função das técnicas de manejo adotadas, freqüentemente, a partir de atributos determinados analiticamente em laboratório, como densidade do solo, densidade da partícula, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e condutividade hidráulica saturada (SIDIRAS et al., 1984; SILVA et al., 1986; BRAGNOLO & MIELNICZUK, 1990 a; BRAGNOLO & MIELNICZUK, 1990 b; ANJOS et al., 1994; CANALLI & ROLOFF, 1997; CARVALHO et al., 1999).

Todavia, é de conhecimento que este tipo de determinação apresenta resultados variados, devido a fatores diversos, dentre os quais, destaca-se a variabilidade espacial das propriedades do solo, o tamanho das amostras, e/ou as perturbações que as amostras

possam sofrer durante a coleta (CAVALCANTE et al., 1978; ARYA et al., 1998; CENTURION et al., 2001; CHICOTA et al., 2003; CHICOTA & LIER, 2004).

Por outro lado, os estudos que buscam avaliar o sistema de produção a partir da influência do manejo do solo e a dinâmica da água através da avaliação dos potenciais de água no solo, e seus impactos na produção e as suas implicações na recarga de aquíferos, ainda são muito pouco discutidos.

Esta pesquisa procurou contribuir com a inserção do conceito da sustentabilidade de agroecossistemas, realizando os seus estudos em unidade de pesquisa participativa e demonstrativa, selecionada com base em critérios biofísicos, e socioeconômicos de acordo com o arranjo produtivo local.

No intuito de contribuir na busca da sustentabilidade dos sistemas de produção de tomate, esta pesquisa buscou o seguinte objetivo: “Avaliar a influência dos sistemas de produção do tomate de mesa no aumento da infiltração de água no solo, favorecendo a capacidade de recarga dos aquíferos fissurais sob embasamento cristalino”.

Em termos específicos esta pesquisa pretende:

- Caracterizar as propriedades físicas do solo em diferentes sistemas de manejo;
- Analisar o comportamento da água no solo nos três sistemas de manejo utilizados;
- Avaliar as relações entre as propriedades físicas e o comportamento hidrológico do solo;
- Avaliar e compreender o processo de infiltração e armazenagem da água no solo em três sistemas de manejo;

- Analisar a influência do sistema de manejo do solo e da água na produtividade, na qualidade do tomate e no desenvolvimento do sistema radicular;
- Avaliar a adequação dos sistemas de irrigação empregados em diferentes sistemas de produção.

Com o intuito de atingir estes objetivos, esta pesquisa avaliou a hipótese de que “O sistema de produção influencia o comportamento hidrológico dos solos e a produtividade das lavouras, favorecendo a capacidade de recarga dos aquíferos fissurais sob embassamento cristalino”.

Para facilitar a compreensão desta pesquisa, este trabalho foi estruturado da seguinte forma:

O Capítulo I contextualiza e apresenta a relevância e os objetivos desenvolvidos durante essa pesquisa.

O Capítulo II discute as Interações entre o Manejo do Solo, a Dinâmica da Água, e a Produtividade, apresentando os conceitos e princípios empregados: na avaliação da sustentabilidade de agroecossistemas, e da influência do manejo do solo nas propriedades físicas e físico-hídricas, além dos impactos do sistema de produção do tomate de mesa na dinâmica da água, incluindo os aspectos de irrigação e os equipamentos empregados para a medição do potencial matricial de água no solo.

No Capítulo III, faz-se uma caracterização geral da Região Noroeste Fluminense, tanto no aspecto sócio-econômico, quanto no aspecto do seu meio físico. Caracteriza a bacia hidrográfica do Rio São Domingos, afluentes do Rio Muriaé, a qual praticamente coincide com os limites do município de São José de Ubá.

O Capítulo IV apresenta a metodologia empregada no desenvolvimento desta pesquisa, incluindo: os critérios adotados para a seleção da área experimental; a definição dos sistemas de manejo do solo e da água; do sistema de produção empregado; da caracterização das propriedades físicas, químicas e morfológicas; além da metodologia de monitoramento das chuvas; da temperatura do solo; da temperatura do ar; do volume e da qualidade da água de irrigação; do potencial matricial de água no solo; da avaliação do desenvolvimento do sistema radicular; e da produção das unidades de pesquisa participativa e demonstrativa.

No Capítulo V, são apresentados e discutidos os seguintes resultados quanto às características das unidades de pesquisa participativa e demonstrativa implantadas na localidade do Barro Branco; com relação a sua fisiografia; quanto a seus aspectos pedológicos; as propriedades físicas dos solos; o comportamento hidrológico dos diferentes sistemas de manejo; a produção da lavoura e as relações entre os sistemas de manejo do solo e da água com a produtividade; o comportamento hidrológico, além da avaliação do desenvolvimento do sistema radicular nos diferentes sistemas de produção.

O Capítulo VI apresenta as conclusões e as considerações finais deste trabalho.

E por fim, no Capítulo VII são apresentadas as referências bibliográficas.

2 – Influências do manejo do solo na dinâmica da água e na produtividade

Neste capítulo, serão abordados os aspectos relativos à avaliação da sustentabilidade de sistemas de produção em agroecossistemas. Inicialmente, serão descritos os principais modelos empregados utilizados como base desta análise e como estes contribuíram nesta pesquisa. Por fim, serão discutidos aspectos relativos ao principal sistema de manejo conservacionista empregado em agroecossistemas, em especial, as suas interrelações com as propriedades físicas e físico-hídricas do solo com a dinâmica da água e seu impacto na produtividade das lavouras.

2.1 - Sistemas de avaliação da sustentabilidade de agroecossistemas

As preocupações mais explícitas com as questões ambientais começaram ainda durante a década de 60. Os seus marcos históricos são: a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano em 1972, na cidade de Estocolmo na Suécia; o Relatório da Comissão Brundtland, de 1987; e a Conferência das Nações Unidas do Rio de Janeiro em 1992, cujo tema central foi “Meio Ambiente e Desenvolvimento”.

Na avaliação do desenvolvimento sustentável existem diversas interpretações, porém, duas predominam na literatura, a abordagem holística e a mecanicista. A abordagem holística condiciona que para o desenvolvimento ser sustentável ele deve *“valorizar o patrimônio natural tanto quanto o construído pelo homem com o objetivo de que a próxima geração herde não menos do que a geração atual herdou”* (PEARCE et al., 1989). A abordagem mecanicista enfoca o desenvolvimento sustentável em três principais componentes: da sustentabilidade ecológica que requer que o desenvolvimento seja compatível com a manutenção dos processos ecológicos; da sustentabilidade econômica que requer que o desenvolvimento seja economicamente factível; e o da sustentabilidade social que requer que o desenvolvimento seja socialmente aceitável (ANON, 1990).

Quando se discute os modelos empregados na avaliação da sustentabilidade de agroecossistemas a abordagem mecanicista tem sido à base de discussão predominante, porém dentro desta, distintas visões são apresentadas, refletindo a diversidade de compreensão do conceito de sustentabilidade nas atividades agrícolas, como pode ser percebido a seguir:

DOUGLASS (1984) considera como critérios principais à plena disponibilidade de alimentos, o equilíbrio e a não degradação do meio ambiente e a viabilidade econômica e social das comunidades rurais, enquanto que YUNLONG & SMIT (1994) realça os critérios de sustentabilidade com foco nos processos e funções biofísicos, nos fatores de manutenção de longo prazo dos processos de produção agrícola e nos aspectos sociais de satisfação das necessidades humanas por alimentos, segurança alimentar, equidade social, liberdade, educação e recreação.

Segundo PESEK (1994), essas diferentes abordagens levam a distintos modelos de análise. Todavia, em geral, todos buscam apresentar uma visão multidimensional do processo; coincidindo em três importantes critérios: qualidade ambiental e sanidade ecológica; produtividade animal e vegetal satisfatória; e viabilidade socioeconômica.

Vale ressaltar que os atributos da agricultura variam, em escala espacial, desde o nível de campo nas interações solo – planta até o nível dos arranjos internacionais em escala global (SMITH & MCDONALD, 1998).

Na perspectiva econômica, a agricultura é uma atividade empresarial em nível de fazenda e um importante setor da economia regional ou nacional e é avaliada em termos de modelos que consideram os custos de produção e a viabilidade econômica de permanência da atividade face às condições ambientais, sociais e econômicas.

Finalmente, numa perspectiva social, a agricultura é vista numa escala macro como a atividade capaz de produzir as demandas por alimentos, fibras e energia. Neste compartimento, a sustentabilidade considera à qualidade e segurança do fornecimento das necessidades da sociedade em nível nacional ou global, na transferência de tecnologias e no eficiente sistema de distribuição de alimentos.

HANSEN (1996) também cita a existência de duas interpretações básicas nas abordagens de avaliação de agricultura sustentável. A primeira é calcada na sustentabilidade como uma abordagem ideológica da agricultura que descarta os princípios da tradicional agricultura de larga escala, com o uso de fertilizantes químicos, defensivos agrícolas, mecanização e práticas de manejo.

A outra abordagem coloca a sustentabilidade como uma propriedade da agricultura, sendo desta forma interpretada como a capacidade da agricultura de satisfazer um conjunto de objetivos ao longo do tempo. A principal virtude desta abordagem é que ela captura a multidimensão da sustentabilidade agrícola, porém, sua desvantagem é que estes objetivos podem ser satisfeitos, isoladamente, sem avaliar a persistência da agricultura como sistema (HANSEN, 1996).

Ao longo do tempo, a valoração da sustentabilidade agrícola tem gerado um amplo conjunto de proposições metodológicas, todas com base nas diferentes abordagens conceituais; holística ou mecanicista. A valoração através do método da aderência segue os preceitos da sustentabilidade como uma abordagem ideológica da agricultura; e a valoração através do uso de múltiplos indicadores qualitativos e quantitativos, ou por meio da análise de resiliência é consistente com a abordagem de sustentabilidade como uma propriedade da agricultura, capaz de atender a diferentes objetivos, associada à capacidade da agricultura persistir no tempo.

Nesta pesquisa, nos concentramos nos modelos associados à abordagem de sustentabilidade como uma propriedade da agricultura, cuja base conceitual predominante é a análise particionada de sistemas ambientais. Nesta linha, os modelos mais comuns apresentados são aqueles que utilizam múltiplos indicadores, como os apresentados por TORQUEBIAU (1992), LAL et al. (1990), STOCKLE et al. (1994), CONNOLLY (1998), SINGH et al. (2000).

Os principais modelos empregados para estimar a sustentabilidade de agroecossistemas encontram-se na categoria de Modelos de Simulação, como o descrito por LEROHL (1991), que modela a relação da produção com a dinâmica dos solos ou o de SINGH & THORNTON (1992) que descreve o modelo com base na relação da produção com a degradação das terras. Outros modelos de simulação, como CROPWAT (FAO, 1988), WOFOST (VAN DIEPES et al., 1988), QUEFTS (JANSSEN et al., 1989) e IBSNAT (IBSNAT/SMSS, 1987) são modelos de caráter preditivo, com foco na estimativa de produção.

Ainda considerando a abordagem conceitual de sustentabilidade como uma propriedade da agricultura, os métodos que têm predominado são os que empregam modelos baseados em indicadores de sustentabilidade, os quais também podem ser percebidos em diferentes escalas espaciais, como descrito por BOUMA (2002) e dimensões, como a biofísica, a econômica e a social, como descrita por RIGBY et al. (2001).

Muitos autores apresentaram propostas de indicadores, sejam eles biofísicos, sociais, ou econômicos como BOUMAN (1998); BINDRABAN, et al. (2000); BYERLEE & MURGAI (2001); SAYSEL et al., (2002); ARSHAD e MARTIN (2002), entre outros.

Nessa linha, a iniciativa do Programa de Indicadores de Qualidade das Terras (LQI), desenvolvido e implementado pelo Banco Mundial tomou como primeira ação o desenvolvimento de identificadores que pudessem caracterizar os impactos das intervenções humanas na paisagem das principais zonas agroecológicas, seja em nível global ou nacional; através de fatores econômicos e sociais (DUMANSKI & PIERI, 2000).

HERRICK (2000) apresentou um estudo que argüia a qualidade do solo e suas propriedades como indicadores de sustentabilidade no manejo das terras. Por outro lado, outros pesquisadores já apresentaram propostas mais concretas, apresentando indicadores para avaliar a qualidade do solo (REYNOLDS et al., 2002), o desenvolvimento das plantas e a produção para quantificar as condições do solo (BENJAMIN et al., 2003) e uma proposta de agrupar várias propriedades do solo em fatores, tais como: condutividade hidráulica, aeração, porosidade, retenção de água, umidade, e vários outros (SHUKLA et al., 2006).

Em consonância com os diferentes estudos e modelos de avaliação de sustentabilidade de agroecossistemas, esta pesquisa procurou adotar critérios e indicadores que pudessem representar aspectos sócio-econômicos e biofísicos como linha mestra para a avaliação da sustentabilidade dos sistemas de produção adotados.

2.2 - Interações do manejo com as propriedades físicas e a hidrologia dos solos

Neste item serão discutidas as relações entre as técnicas de manejo do solo nas propriedades físicas e na hidrologia dos solos. Por fim, serão discutidos os aspectos relativos à produtividade das culturas e ao desenvolvimento do sistema radicular, com ênfase aos aspectos da dinâmica da água no solo.

2.2.1 - Relação entre plantio direto, cultivo mínimo e cultivo convencional

O solo é a base da produção de alimentos e um dos fatores mais importantes para o meio ambiente. Para a proteção dos recursos naturais e a segurança alimentar da humanidade, é imprescindível assegurar um solo não-erodido, a fim de garantir a sustentabilidade da produção agrícola. A rápida degradação dos solos e o seu uso não sustentável, em especial em países em desenvolvimento, são ao mesmo tempo a causa e a consequência de uma pobreza generalizada (DERPSCH, 1997).

Há décadas que a erosão é apontada como a principal causa do comprometimento da sustentabilidade da agricultura em todo o mundo. O processo erosivo é determinado pelas condições climáticas, em especial pelo regime de chuvas, pelos atributos do solo e, sobretudo, pelo uso de práticas agrícolas inadequadas. No interior das áreas de cultivo, o nível de movimentação do solo nas operações de preparo e plantio e o grau de cobertura e proteção são fatores determinantes da erosão (CANNELL & HAWES, 1994).

Segundo BERTOLINI & LOMBARDI NETO (1993), a intensa movimentação de máquinas e o revolvimento do solo, como empregado nos sistemas convencionais de produção, além de facilitar o trabalho erosivo, tende a reduzir seu potencial produtivo, por manter pouca quantidade de resíduos na superfície e acelerar sua decomposição, diminuir a atividade biológica, compactar o solo e destruir sua estrutura superficial.

Como descrito por BERTONI & LOMBARDI NETO (1999), o processo de erosão dos solos compreende o desprendimento e arraste de partículas do solo pela água e pelo vento, sendo a chuva o fator climático de maior importância. A erosão hídrica é provocada por *forças ativas* (características da chuva, declividade e comprimento da pendente do terreno, infiltração e capacidade de absorção de água pelo solo) e *forças passivas* (resistência do solo à ação erosiva, densidade da cobertura vegetal). A água da chuva

exerce sua ação erosiva na degradação do solo pelo impacto das gotas, que caem com velocidade e energia cinética variáveis (dependente do diâmetro da gota), e pelo escorrimento da enxurrada. O volume e a velocidade da enxurrada dependem, por sua vez, da intensidade, duração e frequência das chuvas.

A intensificação do uso agropecuário do solo ocorrido ao longo das últimas décadas impôs sérias transformações no solo pelos processos convencionais de preparo intensivo, com o emprego de arados e grades pesadas. BERTONI & LOMBARDI NETO (1999) relatam a perda, apenas para o estado de São Paulo, por efeito da erosão, de cerca de 130.000.000 (cento e trinta milhões) de toneladas anualmente de solo, representando 25% das perdas do Brasil. Estes valores de perdas de solo, se mantidos nos dias de hoje, por estimativa, representariam quatro toneladas de solo perdido por erosão, para cada tonelada de grãos produzida. Ou seja, um indicador de que o sistema de produção não é sustentável.

De acordo com DENARDIN (1984), as operações de manejo do solo quando adequadamente realizadas devem englobar um conjunto de práticas agrícolas que proporcionem ao solo características, tais como: ampliar a retenção ao máximo da água das chuvas, aumentar a velocidade de infiltração de água e ampliar a capacidade de armazenamento de água no solo.

Dentre as técnicas de manejo do solo podemos dividi-las em dois grandes grupos: a) sistema convencional e b) sistema conservacionista. No sistema convencional utilizam-se basicamente as operações de subsolagem, aração e gradagem, com o uso de implementos agrícolas como: subsoladores, arados de discos e de aiveca e grades. Normalmente, toda a área cultivada é revolvida e os implementos produzem a incorporação total ou parcial dos resíduos das lavouras anteriores. Em cultivo de hortaliças esse

problema é agravado pelo uso intensivo de enxada rotativa que destorroa o solo. No preparo conservacionista, o princípio fundamental é o do não revolvimento do solo, sendo comum a utilização de escarificadores que servem para quebrar a estrutura do solo sem revolvê-lo intensamente, procurando não destruir os agregados do solo e deixando o resíduo da cultura anterior sobre a superfície. O plantio ocorre sem a utilização de aração ou de gradagem. Dentre estes sistemas, o destaque é o plantio direto, também conhecido por “*no tillage*”, “*zero tillage*”, “*direct-planting*” e “*no-till*”.

Segundo BERTOL et al. (2004), o cultivo do solo altera suas propriedades físicas em relação ao solo não cultivado, tal como aquele encontrado em áreas de “campos nativos”. Tais alterações são mais pronunciadas nos sistemas convencionais de preparo do que nos conservacionistas, as quais se manifestam, em geral, na densidade do solo, volume e distribuição de tamanho dos poros e estabilidade dos agregados do solo, influenciando a infiltração da água, a erosão hídrica e o desenvolvimento das plantas.

O plantio direto é um processo de semeadura em solo não revolvido, ou o revolvimento é mínimo, restrito as linhas de plantio ou, em casos específicos, às covas de plantio, no qual a semente é colocada em sulcos ou covas, com largura e profundidade suficientes para obter adequados contato e cobertura da semente com a terra. De acordo com este conceito, o sistema plantio direto pressupõe três requisitos básicos: *i*) semeadura sobre restos de culturas anteriores (sem prévia destruição e incorporação ao solo); *ii*) movimentação mínima do solo (restrita aos sulcos de semeadura, no máximo em 25-30% da superfície do solo); e *iii*) controle de plantas daninhas. Em síntese, consiste numa seqüência de três operações fundamentais: *i*) colher e esparramar os restos da cultura; *ii*) controlar as plantas daninhas; e *iii*) semear com equipamento especial (MAZUCHOWSKI & DERPSCH, 1984; MUZILLI, 1985).

Segundo SÁ (1995), o conceito de plantio direto assume a visão integrada de um sistema envolvendo não apenas a combinação de práticas culturais ou biológicas, como por exemplo, o uso de produtos químicos ou práticas mecânicas no manejo de culturas destinadas à adubação verde, para formação de cobertura do solo; a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo; a adoção de métodos integrados de controle de plantas daninhas, através de cobertura do solo e herbicidas; e o não revolvimento do solo, exceto nos sulcos de semeadura.

Este sistema elimina as operações de aração e gradagem e outras práticas convencionais de preparo do solo. A semeadura é realizada em solo coberto por uma camada de resíduos vegetais da cultura anterior, e pelos resíduos de plantas mortas por herbicidas dessecantes (MUZILLI, 1981).

Dessa forma, conforme PRIMAVESI (1979), o plantio direto não é simplesmente a *omissão da aração*, e sim uma técnica completa que pretende conservar a estrutura grumosa do solo em sua superfície. Para isso, recorre-se ao sistema de *não revolver o solo*, de aplicar periodicamente matéria orgânica junto com os adubos minerais necessários e a proteção desta estrutura grumosa contra o impacto das chuvas e a insolação direta.

Em síntese, pode-se afirmar que os principais pesquisadores consideram que o sistema de produção de Plantio Direto é um sistema que foca a conservação do solo e da água, enquanto que o sistema convencional não tem esse foco principal. Por outro lado, o sistema de cultivo mínimo busca ser uma etapa intermediária para a adoção das práticas conservacionistas contempladas no plantio direto, como mínimo revolvimento do solo, manutenção dos restos das lavouras anteriores e a rotação de culturas.

2.2.2 - Aspectos relativos à produção do tomate de mesa

Atualmente, a produção mundial de tomate é de mais de 100 milhões de toneladas e o Brasil colhe mais de três milhões e quinhentas mil de toneladas, o que lhe garante a sétima posição no ranking mundial, com aproximadamente 3% da produção (AGRIANULA, 2005). O Estado de São Paulo é responsável por aproximadamente 22% da produção nacional, sendo o maior produtor de tomate de mesa, com uma produção anual de cerca de 500.000 t e produtividade média de 60 t.ha⁻¹ (CAMARGO FILHO & MAZZEI, 2002).

A cultura do tomate é a segunda hortaliça em área cultivada no mundo, superada apenas pela batata. Porém, é a primeira em volume industrializado. No Brasil, o principal estado produtor é São Paulo, onde se emprega moderna tecnologia na produção, com uso intensivo de insumos nos tratos culturais e de sementes híbridas que tiveram significativo melhoramento genético para as variedades de tomate para mesa (estaqueado). Por outro lado, as variedades de tomate rasteiro, em que não se colocam estacas em sua condução, e conseqüentemente de condução menos laboriosa, são conhecidas como tomate industrial, pois sua produção é realizada em grande escala, com variedades específicas e destinada às indústrias de processamento.

Segundo GRAZIANO (2004), “A importância maior do movimento da agricultura sustentável não está na criação de novas tecnologias ditas alternativas ou sustentáveis, mas na criação de uma nova consciência social a respeito das relações homem-natureza; na produção de novos valores filosóficos e morais”.

As áreas de olerícolas vêm crescendo também gradativamente, com a utilização da técnica de plantio direto, sendo o estado de Santa Catarina o precursor desta experiência. Desde o início da década de 80 já existem áreas de plantio direto com hortaliças nesta

região. No estado de São Paulo, mais especificamente em Ibiúna, desde 1997, passou-se também a utilizar plantio direto para o cultivo de hortaliças.

2.2.2.1 - Histórico da cultura

O tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), planta da família das solanáceas, é originário da região central da América do Sul (planalto Peruano-Equatoriano-Boliviano), mais precisamente entre o Equador e o norte do Chile. Atribui-se como centro de domesticação do tomate cultivado o México há séculos atrás, na região de Puebla e Vera Cruz. O tomate foi levado do Peru para a Europa, e por lá se difundiu por ação dos portugueses e espanhóis através de suas colônias intramarinas. O seu uso foi amplamente difundido do século XIX em diante, pois antes desse período havia a crença de que o tomate era uma planta venenosa, pois, algumas variedades são relativamente tóxicas, variedades silvestres (MINAMI, 1978).

O nome "*tomati*" vem do Nahuatl, grupo de nativos do México. A palavra tomate é de origem espanhola. Em inglês é "tomato"; em italiano, "pomodoro", pois os primeiros tomates introduzidos na Itália eram amarelos. Hoje o tomate é cultivado em muitas áreas da região tropical e subtropical, bem como em regiões mais frias, em estufas (MINAMI, 1978). Há indícios de que a introdução do tomate no Brasil deveu-se a imigrantes europeus, principalmente italianos e portugueses, a mais de um século atrás.

Na última década, o termo "longa-vida" tem sido usado para designar frutos de tomate que demoram mais tempo para iniciar o processo de deterioração após a colheita, pois, em comparação, os frutos de tomateiros tradicionais possuem uma vida bem mais curta após a colheita. Essa característica se traduz em frutos mais firmes, sem amolecimento, por um período de tempo prolongado após a colheita (ALVARENGA, 2004).

O uso dessa expressão “longa-vida” no Brasil remonta o final da década de 90, e o termo foi utilizado em clara associação com o consagrado para as embalagens de leite. Ainda segundo ALVARENGA (1994), a criação ou o desenvolvimento de cultivares de tomate com essa característica pode ser realizado de três processos distintos.

O primeiro através das técnicas de melhoramento genético convencional, através da seleção de alelos de firmeza, resultando em frutos conhecidos como longa-vida estrutural, cujas principais cultivares disponíveis no Brasil são: Débora, Diana, Monalisa, Rodas, Rocio, dentre outras. O segundo processo também emprega técnicas de melhoramento genético convencional, porém, emprega mutantes de amadurecimento num longo e tortuoso caminho até a obtenção de um híbrido heterozigoto F1. O terceiro processo para a criação de cultivares de tomate do tipo longa-vida é através do emprego de técnicas de biologia molecular, o que resulta em cultivares longa-vida transgênicas. No Brasil ainda não existem esses cultivares disponíveis em lavouras comerciais.

Segundo ALVARENGA (1994), a trajetória da cultura do tomate no Brasil é de uma fantástica evolução, marcada pela habilidade do produtor e a criatividade e perseverança do pesquisador brasileiro. Atualmente, estima-se que mais de 70% do mercado consumidor é abastecido com tomate do tipo “longa-vida”. Quando computados os híbridos F1 comuns, esse número pode chegar a aproximadamente 85%, praticamente abolindo o uso de cultivares de polinização aberta.

2.2.2.2 - Aspectos agronômicos da tomaticultura

Segundo ALVARENGA (2004), o tomateiro originalmente integrava o gênero *Solanum*, até que em 1754, Miller separou os tomates das batatas, criando um novo gênero denominado *Lycopersicon*, para diferenciar de *Solanum*. Dessa forma, o tomateiro passou a ter a seguinte classificação taxonômica: Classe – Dicotiledoneae; Ordem –

Tubiflorae; Família – Solanaceae; Gênero – *Lycopersicon*; e Subgêneros – *Eulycopersicon* (frutos avermelhados quando maduros) e *Eriopersicon* (frutos verdes, amarelos ou esbranquiçados).

O tomateiro é uma planta perene de porte arbustivo, porém quando cultivada, seu cultivo é anual. A planta pode desenvolver-se de forma rasteira, semi-ereta ou ereta. O crescimento é limitado nas variedades de crescimento determinado e ilimitado nas variedades de crescimento indeterminado, podendo chegar, neste caso, a mais de 10 metros de altura em um ano (ALVARENGA, 2004).

Face às suas origens, o tomateiro cresce bem em condições de clima tropical de altitude e o subtropical, fresco e seco, com bastante luminosidade. No que diz respeito à temperatura, a faixa de 20 a 25°C favorece a germinação e a faixa de 18 a 25°C ajuda o desenvolvimento vegetativo. Já temperaturas acima de 32°C ou abaixo de 4°C causam distúrbios fisiológicos irreversíveis. Chuvas e alta umidade relativa do ar, associadas às variações de temperatura favorecem a incidência de pragas e doenças e dificulta o seu controle. A melhor época de plantio do tomateiro é aquela que oferece clima e temperaturas citados e baixos índices de chuvas por um período de 5 a 6 meses (EMBRAPA, 1993).

O sistema radicular do tomateiro é constituído de raízes principal, secundárias e adventícias. A principal pode atingir até 1,5 m de profundidade, desde que não haja interrupções provocadas pelo transplante. Neste caso, há um desenvolvimento acentuado das raízes secundárias que podem atingir até 1,5 m de diâmetro e uma profundidade de até 0,50 m. Normalmente, cerca de 70% das raízes do tomateiro encontram-se a até 20 cm de profundidade (ALVARENGA, 2004).

De acordo com FAYAD et al. (2002), o tomateiro é uma planta bastante exigente em nutrientes, sendo que os mais absorvidos (em ordem decrescente), são: N, K, Ca, S, P, Mg, Cu, Mn, Fe, e Zn. Os fatores que afetam a absorção e a utilização de nutrientes pela cultura do tomateiro são bastante numerosos e podem ser divididos em externos e internos.

O pH do solo tem ação sobre a absorção de íons, principalmente de cátions, o que ocorre pela sua influência no funcionamento das bombas de prótons existentes na membrana plasmática (FURLANI, 2001). O pH também é importante no desenvolvimento de microorganismos do solo, como fungos e bactérias, influenciando assim a população de microorganismos benéficos, importantes para a otimização da absorção de nutrientes.

Outro aspecto preponderante da influência do pH sobre a absorção de nutrientes diz respeito à solubilidade dos nutrientes na solução do solo, pois alguns micronutrientes, como o Mn, apresentam alta solubilidade em faixas de baixo pH, podendo causar fitotoxidez às plantas. A aeração do solo também tem influência sobre a absorção dos nutrientes do solo, influência exercida através da mineralização da matéria orgânica e da oxidação de elementos (CARVALHO et al., 2004).

Embora os processos físicos sejam pouco afetados pela temperatura, as reações químicas sofrem grande influência da temperatura. Uma das possíveis explicações para a influência da temperatura sobre a absorção de íons pelas plantas é a depressão da atividade de enzimas ligadas ao sistema de transporte de íons através das células vegetais.

A água é o veículo através do qual os íons se movimentam do solo para o sistema radicular das plantas, principalmente quando este movimento se dá por fluxo de massa e difusão. A falta de níveis adequados de umidade no solo leva obrigatoriamente à deficiência de nutrientes. O exemplo clássico da importância da água na absorção de

nutrientes pelas plantas é a deficiência de Ca, que na cultura do tomate leva ao distúrbio conhecido como fundo preto, e que se manifesta com mais frequência e intensidade em situações de estresse hídrico.

A presença de um íon na solução do solo não garante a sua total absorção. A absorção dos nutrientes pelas plantas dá-se na seguinte ordem decrescente: moléculas sem carga – cátions monovalentes – ânions monovalentes – cátions bivalentes – ânions bivalentes – cátions trivalentes – ânions trivalentes. Para os íons de mesma valência, as plantas absorvem preferencialmente aqueles de menor raio iônico. Com relação às interações entre os íons, as principais são: a inibição da absorção, e o sinergismo.

A inibição pode se dar de duas formas: inibição competitiva e inibição não competitiva. A inibição competitiva ocorre quando os íons competem pelo mesmo sítio ativo de transporte na célula vegetal. Já na inibição não competitiva, os íons não competem por um sítio, sendo um processo que não é revertido simplesmente pelo aumento de fornecimento de um determinado íon (CARVALHO et al., 2004).

As micorrizas são associações simbióticas de determinados fungos com o sistema radicular das plantas. Os benefícios desta associação para as plantas são o aumento da superfície de absorção das raízes, o aumento da eficiência dos mecanismos de absorção, o aumento de resistência aos estresses hídricos e nutricionais, e a proteção contra patógenos de solo.

Tipo de solo – O solo possui grande influência na disponibilidade de nutrientes para as plantas, pois solos muito compactados prejudicam o crescimento radicular e o movimento dos íons na solução do solo. Solos arenosos tendem a apresentar grande lixiviação de nutrientes para camadas mais profundas do solo podendo, inclusive, levar à contaminação de águas subterrâneas.

2.2.2.3 - O uso da água na lavoura do tomate

No Brasil, a maior parte dos produtores de tomate de mesa utiliza a irrigação por sulcos, ou aplicam a água através de mangueirões em suas lavouras. A irrigação por sulcos consiste na condução da água através de canais ou sulcos, situados paralelos às linhas de plantas, permanecendo o tempo necessário para que a água infiltrada ao longo do sulco seja suficiente para umedecer o solo na zona radicular da cultura. O mangueirão, na realidade, não é um método de irrigação, mas sim, uma técnica de rega. Consiste basicamente no plantio das mudas de tomate em bacias construídas manualmente com o auxílio de enxadas. Nesta técnica, muito utilizada nas regiões produtoras do estado do Rio de Janeiro, a água é depositada nesta bacia, que funciona como um vaso, sendo que, o volume de água aplicada fica limitado à capacidade da bacia construída.

Ambos os sistemas são largamente utilizados por ter baixo custo de implantação e operação, pois não utilizam grande volume de tubulações, e ainda pela facilidade de instalação já que a cultura do tomate é geralmente itinerante e a cada ano ou dois anos é necessária a mudança de todo o sistema para outro local. Atualmente, este método tem sido criticado, pois sua baixa eficiência de condução, distribuição e aplicação de água em campo, em relação a outros métodos, o torna um problema com a atual falta de água, principalmente nas épocas de seca (COLETTI & TESTEZLAF, 2004).

De acordo com BERNARDO (1995), os métodos de irrigação por superfície, destacando-se os por sulcos, muito raramente alcançam uma eficiência de uso da água de irrigação superior a 50%, dada a não uniformidade da aplicação da água e a sua percolação. Dessa forma, conduzir uma lavoura com baixa eficiência de uso da água acarreta uma maior necessidade de água a ser aplicada para satisfazer as necessidades da planta e com isso há um aumento no consumo desta, ou ainda, a subirrigação, com a

aplicação de volumes de água que comprometem a produtividade e a qualidade da produção.

Em muitas regiões produtoras de tomate no Brasil, em especial na Região Noroeste Fluminense, este tipo de sistema de irrigação é aplicado em áreas com acentuado declive. Isso faz com que a irrigação do tomate se torne um potencial agente de poluição dos corpos de água, além de ser o responsável pelo elevado consumo.

Quando a irrigação é mal conduzida, os possíveis excessos de água, que venham ocorrer, na irrigação por sulcos, poderão resultar em perdas de água por percolação e/ou por escoamento no final do sulco ("runoff"). Outros problemas são: a perda de nutrientes por lixiviação para as camadas inferiores à zona radicular das culturas; o afloramento do lençol freático nas áreas a jusante das áreas irrigadas ou na própria área de irrigação; e a possível salinização e por consequência, o baixo rendimento da cultura e a baixa eficiência da prática da irrigação (BERNARDO, 1995).

Neste contexto, a irrigação por gotejamento pode ser uma alternativa viável devido à possibilidade de trabalhar em locais com pouca disponibilidade hídrica, menor custo de energia associado com bombeamento, potencial para minimizar os impactos negativos da irrigação sobre o solo e pela possibilidade de uso da fertirrigação. Ao contrário, a irrigação por sulcos utilizada em larga escala no Brasil é considerada de baixa eficiência por ser manejada de forma incorreta, com alto potencial para causar impactos ambientais.

Segundo GOMES & TESTEZLAF (2003), alguns tomaticultores da região de Campinas, no estado de São Paulo, preocupados com o considerável desperdício de água e com os impactos sobre os recursos naturais, buscaram como alternativa para melhorar os seus sistemas de irrigação por sulcos, a utilização de uma mangueira para abastecê-los. Outros mudaram para o gotejamento. No entanto, o investimento inicial e a exigência de

mão-de-obra especializada, são fatores significativos que impedem uma difusão ainda maior do sistema de irrigação por gotejamento na região.

Na região Noroeste Fluminense, a realidade é outra, face à adoção quase que exclusiva da técnica de rega conhecida como “irrigação por mangueirão”. Todavia, assim como em outras regiões que se utilizam as técnicas de irrigação, o manejo do sistema é de grande valia na sustentabilidade, social, econômica e ambiental do sistema de produção.

O grande interesse pelo método de irrigação por gotejamento advém principalmente pelas expectativas de economia de água e aumento na produção e qualidade da cultura, pois, quando bem manejado, a umidade do solo é mantida sempre próxima da capacidade de campo, facilitando a absorção de água e nutrientes pelo sistema radicular da cultura. Com a água e nutrientes sendo mais facilmente absorvidos, ocorre um aumento na transpiração que acelera o metabolismo vegetal e proporciona aumento da produção.

De acordo com MANTOVANI & RAMOS (1994), os valores do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) na irrigação por gotejamento devem estar compreendidos numa faixa de 90 a 95%, portanto, valores bastante elevados que garantem uma adequada eficiência no uso dos recursos.

O manejo de irrigação busca suprir a necessidade hídrica da cultura na medida certa, sem déficit e nem excesso. É muito importante para se obter sucesso na produção e também para preservar o meio ambiente, que o manejo de irrigação seja feito de forma adequada. Existem diferentes métodos de manejo de irrigação, sendo os mais utilizados aqueles baseados no solo ou em dados climáticos. Ainda, pode-se fazer combinações entre estes. Em todo manejo de irrigação, o importante é determinar quando e quanto de água aplicar.

Segundo BERNARDO (1995), o manejo de irrigação baseado em dados do solo costuma ser bastante preciso, sendo que os dados normalmente utilizados são os teores de umidade ou potencial da água no solo.

Na literatura, o potencial de água no solo para a cultura do tomate de mesa encontra-se numa faixa entre -30 e -100 kPa (MAROUELLI et al, 1996). No entanto, posteriormente, passou-se a utilizar valores cada vez maiores de potencial de água no solo (menos negativo), próximos de -50 kPa (MAROUELLI et al, 1998). Por outro lado, estudos realizados no Norte da China indicam a divisão em duas fases, a primeira, com valor de -20 KPa deve ser utilizado durante o estabelecimento da lavoura e a segunda, de -50 KPa no resto do ciclo da planta (WANG et al., 2006).

THOMPSON et al. (2007) apresentaram um estudo em que eles definem o teor de umidade no solo através do uso de sensores de umidade para definir o potencial matricial de água no solo e, a partir da avaliação do aspecto geral da planta, definir o manejo da irrigação. Neste estudo, realizado na Espanha, os valores indicados para a lavoura do tomate de mesa variaram de -38 a -58 KPa.

Todavia, SÁ et al. (2005), estudando várias tensões em ambiente protegido para a produção de tomate híbrido Raísa de crescimento indeterminado, concluíram que as maiores produtividades totais, de frutos comerciais e a menor incidência de podridão apical foram obtidas com irrigações quando o solo apresentava potencial de -80 KPa a 10 centímetros de profundidade.

Com relação à qualidade de água de irrigação, o tomate é uma planta sensível à presença de sais na água, os quais afetam a produção e a sustentabilidade das lavouras (GAWAD et al., 2005; MALASH, et al., 2005).

MARQUELLI et al. (2003) estudaram a viabilidade técnica e econômica de espaçamento entre gotejadores e o uso de fileiras simples ou duplas, enquanto que MARQUELLI et al. (2005) estudaram a frequência de irrigação do tomateiro durante o seu período vegetativo. Ambos os estudos foram conduzidos para plantios de tomate industrial rasteiro na região de cerrados do Brasil. Os resultados obtidos indicaram espaçamento melhor para 0,10m entre gotejadores em fileiras simples enquanto que com relação à frequência de irrigação não foi verificado resultado significativo de produção por massa de fruto e por planta.

DALVI et al. (1999), estudaram na Índia o impacto da irrigação por gotejo na lavoura do tomate e uma forma de otimizar o manejo da água. Os resultados obtidos por eles indicaram aumento da produção de 27%, economia de água de 21% e 4% de economia com fertilizantes quando comparado com o tratamento testemunha.

O manejo de irrigação também pode ser realizado com base em dados climáticos através da determinação da evapotranspiração da cultura (ET_c). De uma maneira simples, a evapotranspiração da cultura (ET_c) corresponde à água transferida para atmosfera através da evaporação do solo e da transpiração das plantas. A estimativa da evapotranspiração pode ser determinada por métodos diretos, com o uso de lisímetros ou por métodos indiretos, por evaporímetros ou por equações matemáticas.

Todo esse esforço procura apenas com que a planta não tenha em nenhum período do seu ciclo qualquer condição de estresse (BERNARDO, 1995; PANDA et al., 2003; MOFOKE et al., 2006; WANG et al., 2005; WANG et al., 2007).

MARQUELLI, et al., (2006) estudaram o efeito da quantidade de palhada sobre o solo, em sistema de plantio direto contra o sistema de plantio convencional no plantio de

tomateiro para processamento, com irrigação por aspersão convencional, e identificaram economia de água de 25% para o sistema de plantio direto.

Uma avaliação geral dos estudos apresentados nos permite indicar que não é apenas a adoção de um determinado sistema de irrigação eficiente, mas também, e principalmente, o uso de métodos adequados de manejo da irrigação, em especial, àqueles baseados em dados de umidade do solo, através do uso de sensores de umidade, que podem levar os sistemas de produção a conservar os recursos hídricos disponíveis e a obter resultados positivos de volume e qualidade de produção.

2.2.3- Relações do manejo com as propriedades físicas e físico-hídricas do solo

Ao longo do tempo, muitos trabalhos vêm estudando e identificando as modificações causadas no solo pelos diferentes sistemas de manejo nas propriedades físico-hídricas do solo (SILVA et al., 2005). Dentre estes trabalhos, podemos citar estudos que investigaram os efeitos nas propriedades químicas e físicas (FALLEIRO et al., 2003), os que focaram a porosidade, a densidade e a resistência à penetração (COSTA, et al., 2003; LIPIEC & HATANO, 2003; ALVES & SUZUKI, 2004), os que focaram as alterações nas características micromorfológicas, físicas e químicas do solo (EDWARDS et al., 1988; ELTZ et al., 1989; PAGLIAI et al., 1989; CERRI et al., 1991; SILVA et al., 1998; VANDERBYGAART et al., 1999; USÓN & POCH, 2000; SHARRATT et al., 2006), àqueles que estudaram a pulverização da camada arável e as alterações nos agregados do solo (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990; PALADINI et al., 1991; CAMPOS et al., 1995; FULLER et al., 1995; LUCARELLI, 1997; COSTA et al., 2003).

Outros trabalhos estudaram formas de prever os efeitos do manejo do solo nas propriedades hidráulicas (KLEIN & LIBARDI, 2002; GREEN et al., 2003; GUZHA, 2004) as relações entre as propriedades físicas e a condutividade hidráulica saturada (TORMENA et

al., 1998; MESQUITA & MORAES, 2004), bem como os que estudaram a alteração dos teores de umidade e de temperatura do solo (VOMOCIL & FLOCKER, 1966; SIDIRAS et al., 1983; SIDIRAS & PAVAN, 1986; BRAGAGNOLO & MIELNICZUK, 1990a; BRAGAGNOLO & MIELNICZUK, 1990b; MOROTE et al., 1990; ANJOS et al., 1994; LYON et al., 1998; CARVALHO et al., 1999; FABRIZZI et al., 2005), e os que avaliaram impactos sobre as taxas de erosão (BENATTI et al., 1977; BERTOL et al., 1989; HERNANI et al., 1997).

Estudos de longo prazo também buscam identificar o impacto do manejo do solo sob plantio direto nos seus atributos físicos e nas suas propriedades hidráulicas, face o não revolvimento do solo por longos anos. Dentre estes estudos, SHARRATT et al. (2006) estudou a densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, retenção de umidade, por 20 anos no Alaska. CANQUI-BLANCO et al. (2007) estudaram o impacto do manejo na condutividade hidráulica saturada de uma lavoura de milho em Ohio – EUA, enquanto que WAIRIU & LAL (2006) apresentaram seus estudos sobre manejo e uso do solo na microporosidade do solo. Nos três estudos anteriormente citados, os autores identificaram efeitos do manejo do solo nas propriedades analisadas.

TORMENA et al. (2004) procuraram avaliar o impacto do manejo em um Latossolo Vermelho eutrófico submetido a plantio direto. Esse estudo revela uma preocupação permanente com a compactação da camada superficial de solos argilosos e muito argilosos quando submetidos a Plantio Direto sem revolvimento da camada superficial por muitos anos.

Nessa linha muitos estudos buscaram identificar os efeitos de longo prazo nas propriedades físicas do solo quando submetidos a Plantio Direto e ao Sistema Convencional de produção. ASSIS & LANÇAS (2005) compararam atributos físicos desses

sistemas de exploração com os de um solo de mata nativa e não identificaram alteração na porosidade total, na resistência à penetração no solo. Todavia, nos estudos realizados, tanto a condutividade hidráulica saturada, quanto a velocidade de infiltração tridimensional foram inferiores na área de exploração sob sistema convencional.

BERTOL et al. (2004) estudaram a influência de diferentes sistemas de manejo na densidade do solo, nos volumes de macroporos, de microporos e no total de poros, e nos teores de carbono orgânico e na estabilidade de agregados em água em sistemas de cultivo rotacionado com cereais. Estes autores identificaram que a densidade do solo, o teor de carbono orgânico e a estabilidade dos agregados foram maior para a camada superficial nos sistemas de semeadura direta (plantio direto), enquanto que o volume total de macroporos e a relação de macroporos / volume total de poros foi maior nos sistemas convencionais.

Ainda segundo BERTOL et al. (2004), estes valores se justificam pela ação das práticas de preparo do solo nos sistemas convencionais e pela ausência quase que absoluta de qualquer operação de manejo do solo nas áreas de semeadura direta. Esses resultados corroboram que as práticas de manutenção dos restos culturais do cultivo anterior são preponderantes na contenção da erosão hídrica em plantio direto.

BERTOLINO (2004), estudando alterações nas propriedades físicas e micromorfológicas do solo em função de diferentes sistemas de manejo em parcelas experimentais de erosão em Paty do Alferes – Rio de Janeiro, confirmou a porosidade, em especial a macroporosidade, como a propriedade física do solo que sofre a maior influência do sistema de manejo. Neste estudo, ela identificou que os parâmetros de estrutura, morfologia, conexão e quantidade dos poros influenciaram diretamente nas variações da recarga e drenagem do solo e que só podem ser analisadas através da micromorfologia.

Todavia, os resultados obtidos nestas análises micromorfológicas são coerentes com o comportamento hidrológico observado.

COSTA, et al. (2003), estudando os efeitos de longo prazo (21 anos) dos sistemas de manejo convencional e plantio direto comparados a solo de mata nativa nas propriedades físicas do solo, registraram as melhorias obtidas pelo sistema de plantio direto em relação ao sistema de cultivo convencional. Segundo os autores, estes valores foram significativos para densidade do solo, na temperatura máxima do solo, no diâmetro médio dos agregados na superfície do solo, conteúdo de água volumétrico entre 0-10 cm. Por outro lado, o mesmo estudo registra que não houve diferenças quanto aos efeitos do manejo em relação à porosidade, na condutividade hidráulica saturada, na resistência do solo à penetração e no grau de flocculação.

Porém, ao investigarmos um sistema de produção que inclui a prática da irrigação, a importância das características hidrológicas dos solos, suas interações com as técnicas de preparo e as formas de compreender esses fluxos de água no solo revestem-se de grande significado. No sentido de ampliar estes conhecimentos, vários estudos vêm sendo realizados ao longo do tempo (WISCHMEIER & SMITH, 1958; WISCHNEIER, 1959; HAMBLIN, 1985; HUDSON, 1961; MORGAN, 1986; PREVEDELLO et al., 1991; STARR & PALTINEAUNU, 1998; TORMENA, et al., 1998; LOYOLA & PREVEDELLO, 2003; GÁLVEZ-FERNANDES & SIMMONDS, 2006; SINGH et al., 2006; ENAMORADO et al., 2007).

REICHARDT (1985) relata a importância da relação entre o solo, a água e as plantas, e a compreensão dos níveis de umidade no solo. Dentre estes níveis, destaca o teor máximo de água disponível no solo, agronomicamente conhecido como capacidade de campo, e o teor mínimo armazenado disponível para as plantas, conhecido como ponto de

murcha. Todavia, a variabilidade espacial do solo, decorrente de sua formação e do manejo agrícola, acarreta uma elevada variabilidade em suas propriedades físicas e físico-hídricas (CHICOTA et al., 2003; CHICOTA & LIER, 2004).

LOYOLA & PREVEDELLO (2003) propõem dois modelos analíticos para predição do processo de redistribuição da água no solo a partir do potencial hidráulico unitário na equação de Richards. Esses modelos revestem-se de grande relevância face à elevada variabilidade espacial dessas propriedades, associado à demanda de custo e de tempo na sua obtenção em campo.

Outro fator muito relevante é a infiltração de água no solo, que pode ser definido como a passagem de água da superfície para o interior do solo. Essa característica é determinante na disponibilidade de água para as culturas, na recarga dos aquíferos subterrâneos, na ocorrência e magnitude do escoamento superficial e no manejo e conservação do solo e da água. (REICHARDT, 1985; GÁLVEZ-FERNANDES & SIMMONDS, 2006).

De acordo com CARVALHO et al. (1999) que estudaram em Viçosa – Minas Gerais, a variação nos teores de matéria orgânica; na granulometria; na densidade do solo; na densidade de partículas; na porosidade total, na macroporosidade, na microporosidade, nos agregados e na curva de retenção da água no solo, com o objetivo de avaliar a influência dos diferentes sistemas de manejo sobre estas propriedades físico hídricas do solo. Neste estudo, identificou-se que o maior revolvimento do solo no cultivo convencional gera uma maior macroporosidade, assim como uma maior retenção de umidade do sistema de plantio direto.

CAVALIERI et al. (2006), avaliaram as propriedades físico-hídricas de diferentes sistemas de manejo, dentre os quais, o plantio direto, o cultivo mínimo, e o plantio

convencional; cultivados com mandioca, no qual identificou influência do sistema de manejo na densidade do solo, na resistência à penetração, assim como valores de intervalo hídrico ótimo e retenção de umidade com maiores valores em superfície nos sistemas de manejo convencional e mínimo em detrimento do sistema de plantio sem revolvimento.

De acordo com LETEY (1985), o desenvolvimento vegetal é dependente de diversos fatores, alguns de ação direta sobre os vegetais, outros de ação indireta. Os que afetam diretamente são: a água, o oxigênio, a temperatura e a resistência mecânica do solo para o desenvolvimento radicular e os fatores de ação indireta relacionam-se a densidade do solo, estabilidade dos agregados, agregação, textura e tamanho e distribuição dos poros.

Segundo REICHARDT (1990), a água é o fator fundamental para o desenvolvimento de qualquer cultura agrícola, sendo que tanto o excesso quanto a falta são prejudiciais ao desenvolvimento da cultura. Ainda segundo o mesmo autor, o mais importante não é o conteúdo de água no solo, mas, sim, o seu potencial matricial, pois é este que define a energia necessária para a água ser removida do solo pelas plantas.

O conhecimento da demanda hídrica de uma dada cultura, em uma fase do seu ciclo de desenvolvimento, de forma a obter-se o rendimento ótimo desta cultura, é um passo muito complexo, o qual envolve além da demanda hídrica da cultura, a definição do balanço hídrico local, o conhecimento do potencial matricial e o respectivo conteúdo de umidade do solo.

De acordo com REICHARDT & TIMM (2004), o ar do solo ocupa o espaço poroso não ocupado pela água e esse processo de aeração é de grande importância na produtividade do solo, pois para a maioria das plantas, a transferência do oxigênio da atmosfera para as raízes precisa ser em proporções suficientes para suprir suas necessidades.

A figura 1, a seguir, apresenta o diagrama esquemático de um solo, com o objetivo definir as relações entre massa e volume das três fases do solo. A fase sólida constituída pelas partículas de solo; a fase líquida constituída pela água ou pela solução do solo; e a fase gasosa constituída pelo ar contido no solo.

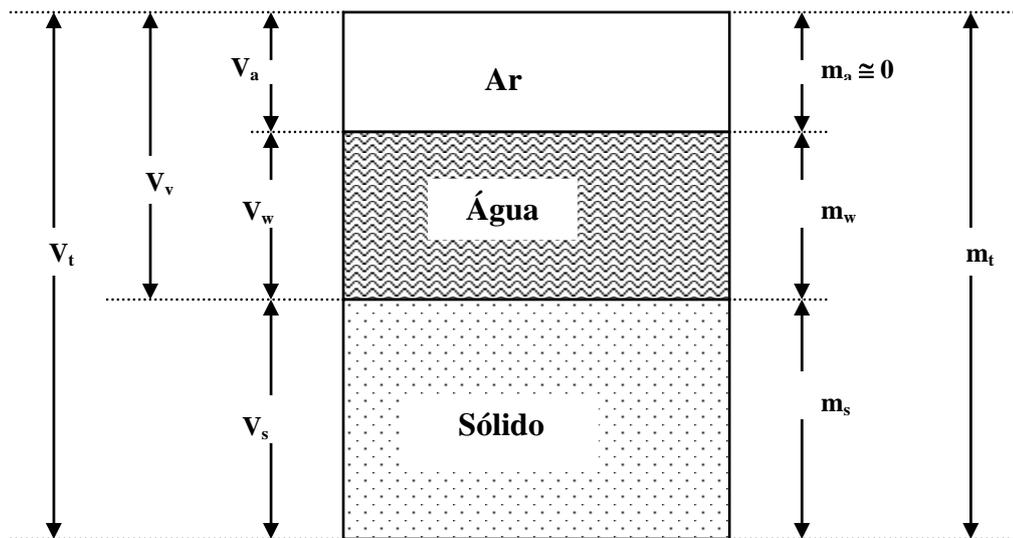


Figura 1 – O solo como um sistema trifásico.

Fonte: HILLEL, 1971.

O diagrama apresentado acima na figura 1 representa o solo como um sistema trifásico, as fases do solo estão representadas proporcionalmente aos volumes que ocupam, facilitando a determinação das relações entre elas. Os volumes (V) de cada fase estão representados à esquerda do diagrama, enquanto que as massas (m) à direita. O V_t representa o volume total de uma amostra de solo; o V_v representa o volume de vazios ocupado pelos poros do solo, isto é, a soma dos volumes ocupados pelo ar e pela água; V_a é o volume de ar contido numa amostra de solo; V_w é o volume de água de uma amostra de solo; enquanto que, o V_s é o volume de sólidos de uma amostra de solo. Da mesma forma, m_t é a massa total de uma amostra de solo; m_a é a massa de ar em uma amostra

de solo; m_w é a massa de água em uma amostra de solo; e, m_s é a massa de sólidos em uma amostra de solo (HILLEL, 1971).

Quando avaliado no ambiente, os solos apresentam quantidades variadas de água e de ar, pois o sistema é muito dinâmico, com grande variabilidade espacial e temporal, pois, a evapotranspiração pode diminuir a quantidade de água no solo, substituindo-a por ar, e a compressão do solo pode provocar a saída de ar e de água, reduzindo o volume de poros. Todavia, o solo, no que se refere às partículas que o constituem, permanece o mesmo. Porém, o seu estado se altera, determinando que as diversas propriedades do solo dependem do estado em que se encontra num dado momento na natureza.

Com base no solo como um sistema trifásico, conforme demonstrado no diagrama da figura 1, podem-se melhor compreender os termos utilizados para expressar as inter-relações quantitativas dos três constituintes primários do solo. O índice mais relevante para o estudo da água nos solos é a porosidade, pois esse desempenha um importante papel no estudo das propriedades dos solos, uma vez que estas compreendem uma interação dos seus constituintes e das proporções relativas entre eles, assim como da interação de uma das fases com as outras.

A porosidade (η), porosidade total, volume total de poros ou espaço poroso (porção do volume do solo não ocupado por sólidos), é um índice que pode traduzir a capacidade máxima do solo de reter água e pode ser expresso pela seguinte equação:

$$\eta = \frac{V_v}{V_t} = \frac{V_w + V_a}{V_s + V_w + V_a} \quad \text{Equação 1}$$

A relação entre porosidade e densidade do solo pode ser escrita como:

$$\eta = \frac{\rho_s - \rho_b}{\rho_s} = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s} \quad \text{Equação 2}$$

Segundo KLAR (1988), a porosidade do solo é fundamental para controlar o regime hídrico, a temperatura interna do solo e, conseqüentemente, a biologia do solo, o desenvolvimento do sistema radicular, a absorção de nutrientes e a produção, ou seja, a porosidade é propriedade do solo que está diretamente relacionada aos processos físico-mecânico e biológico que ocorrem no interior do solo.

Todavia, do ponto de vista da drenagem, o valor da porosidade total pode não ser muito relevante, pois o mais relevante é a distribuição do tamanho dos poros, que influi diretamente no fluxo de ar e água no solo. Desta forma, solos de granulometria mais grosseira em geral apresentam baixo valor de porosidade e são mais permeáveis por apresentarem domínio de macroporos. Por outro lado, solos com altos teores da fração argila na granulometria e alta porosidade, em geral podem ser pouco permeáveis se a porcentagem de macroporosidade for baixa. Neste sentido, quanto maior o percentual de microporos, geralmente maior é a capacidade do solo em armazenar água. Assim, os solos de granulometria mais fina costumam apresentar maior capacidade de retenção de água disponível que os solos de textura mais grosseira.

MACEDO et al. (2005), reconhecendo a importância da fração aerada do solo, apresentaram uma ampla proposta de classificação físico-hídrica para ser inserida nos níveis categóricos inferior do sistema brasileiro de classificação de solos.

REICHARDT & TIMM (2004), em seus estudos, reafirmam a relevância da presença de oxigênio para o adequado desenvolvimento das raízes, ou seja, teores adequados de

aeração, de tal forma que as trocas de gases entre a atmosfera e o solo ocorre em velocidades suficientes para não permitir a deficiência de oxigênio ou o excesso de dióxido de carbono no solo.

Como preceito geral, os estudos apresentados indicam alterações nos atributos físicos e físico-hídricos do solo em função das práticas de manejo adotadas. Merece destaque o fato de que essas alterações ocorrem em magnitude e tempo distintos em função do atributo do solo considerado.

2.2.4 - O efeito do manejo na temperatura do solo, na produtividade e no desenvolvimento radicular.

Com o intuito de minimizar os efeitos da temperatura nos plantios vários experimentos vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de diminuir as oscilações térmicas. BRAGAGNOLO & MIELNICZUK (1990) testaram a aplicação de quatro doses de palha de trigo sobre a superfície do solo com o objetivo de avaliar o impacto dos resíduos sobre a temperatura e a umidade do solo. Este estudo identificou, que entre as doses testadas, aquela onde se aplicou maior volume de resíduo em superfície obteve uma diminuição da temperatura máxima do solo e um aumento do teor de umidade volumétrica em superfície quando comparadas com a menor dose e com a testemunha.

ZAFFARONI et al. (1991) estudaram os efeitos do preparo convencional, do cultivo mínimo e de plantio direto na produtividade nas lavouras de milho e de feijão num Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso no campo experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba e não identificaram diferenças significativas entre os diferentes sistemas de manejo.

MELO FILHO & SILVA (1993) avaliaram o sistema de plantio direto e cultivo convencional na produtividade do milho no teor de água no solo, e a perda de solo e água

por erosão de um Podzólico Vermelho-Amarelo na área de experimentação agrônômica do campus da Universidade Federal do Ceará. Eles registraram um resultado muito positivo na redução das perdas de solo e água por erosão no período chuvoso e, uma maior produtividade do milho no plantio direto.

SILVA et al. (2006) determinaram num experimento em blocos ao acaso a temperatura do solo para três sistemas de manejo durante todo o ciclo da cultura do feijão em leituras com intervalos de 10 minutos. Os resultados obtidos indicaram uma menor amplitude térmica para o sistema de plantio direto e não identificou diferenças na produtividade de grãos na cultura do feijoeiro.

SANTOS et al. (1995) estudaram o efeito do sistema de manejo do solo na fertilidade e no rendimento de grãos de culturas em rotação com cevada, no campo experimental do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo da Embrapa, no município de Passo Fundo, Rio Grande do Sul. Nestes estudos, identificou-se uma diferença significativa no rendimento da cevada no sistema de plantio direto em detrimento do preparo convencional, que foi justificado pela precipitação pluviométrica inferior à média, demonstrando a maior eficiência na conservação da água pelo sistema de plantio direto.

SECCO et al. (2004) estudaram no município de Cruz Alta no Rio Grande do Sul a compactação sob sistema de plantio direto em um Latossolo Vermelho férreo com 427 g kg⁻¹ de argila e seus efeitos nas propriedades físicas do solo e na produtividade de seis cultivares de soja. Os autores relatam valores menores de densidade do solo e espaço poroso na camada superficial, porém, não identificam alteração nos níveis de produtividade da soja nas seis cultivares avaliados.

SANTON & MIELNICZUK (1995) avaliaram o comportamento da temperatura e da umidade do solo sob diferentes sistemas de manejo e constataram que o plantio direto

apresentou as menores temperaturas máximas e as menores amplitudes térmicas diárias em relação ao plantio convencional e ao cultivo mínimo. Com relação ao conteúdo de água no solo, o plantio direto também apresentou resultados mais favoráveis nas camadas mais superficiais com relação aos demais sistemas de manejo avaliados.

COSTA et al. (2003) avaliaram os efeitos de longo prazo (21 anos) em um Latossolo Bruno argiloso em Guarapuava no Estado do Paraná nos sistemas de plantio convencional e plantio direto sobre a produção de soja (18 safras) e milho (4 safras) registrou um desempenho acumulado de 42% superior para a soja e 22% superior para o milho no sistema de plantio direto quando comparado ao sistema de plantio convencional. Esses resultados ressaltam a importância devido ao fato de as áreas experimentais estarem sob critérios de exploração comercial. Os autores atribuem estes resultados de produtividade ao regime hídrico mais favorável no solo aliado à maior umidade volumétrica e as temperaturas mais amenas do solo no sistema de plantio direto.

SECCO et al. (2005) registraram resultados não significativos de alteração da produtividade da soja e do milho em função do estado estrutural do solo. Todavia, para a cultura do trigo, o estudo identificou que esta cultura apresenta melhor desenvolvimento quando há maior mobilização do solo.

FANTE JR. et al. (1999) estudaram a distribuição do sistema radicular da cultura de aveia forrageira semeada em um latossolo vermelho-escuro argiloso no município de São Carlos no estado de São Paulo, sob dois tratamentos e avaliadas por quatro metodologias distintas. As metodologias empregadas foram a do processamento de imagens, conforme descrito por CRESTANA et al. (1994), do anel volumétrico e as da placa de pregos e o do trado (SCHUURMANN & GOEDWAAGEN, 1971; BOHM, 1979). Dentre diversas

conclusões, este estudo avaliou o método de emprego de imagens digitais conforme descrito por como uma ferramenta alternativa bastante satisfatória em estudo sobre raízes.

BASSOI et al. (2005) analisaram a distribuição do sistema radicular do milho irrigado até 1 metro de profundidade em uma terra roxa estruturada latossólica em Piracicaba, São Paulo, após 126 dias de emergência das plantas. A avaliação foi realizada através da abertura de trincheiras longitudinais às linhas de plantio. O sistema radicular foi filmado e as imagens digitalizadas e processadas para avaliação de sua distribuição ao longo do perfil do solo. No processamento dessas imagens empregou-se o software SIARCS. Dentre os tratamentos avaliados, os autores identificaram uma maior densidade de raízes entre 0-60 cm de profundidade para a aplicação de nitrogênio via solo e maior densidade de raízes entre 60 - 100 cm quando o nitrogênio foi aplicado via fertirrigação. Este estudo também identificou, por intermédio do uso de sonda de nêutrons e de tensiômetros, uma maior amplitude de variação do potencial matricial da água no solo e um maior volume de armazenamento de água no solo até a profundidade de 50 cm.

KONRAD et al. (2001) avaliaram no município de Junqueirópolis, região denominada de Nova Alta Paulista no Estado de São Paulo, a distribuição espacial do sistema radicular da aceroleira com quatro anos de idade. O procedimento realizado foi através da abertura de trincheiras de 1,5 metro de largura por 1,0 metro de profundidade, posteriormente escarificada e com as raízes pintadas. Para facilitar a contagem das raízes utilizou-se um reticulado de madeira graduado subdividido com malha de barbante de 0,25 por 0,25 metros. As raízes foram filmadas por câmaras de vídeo, convertidos em arquivos digitais e analisados pelo software SIARCS – Sistema Integrado para Análises de Raízes e Cobertura do Solo, na sua versão 3.0. Este programa fornece a área em metros quadrados e o comprimento das raízes em metro. Uma descrição detalhada da metodologia pode ser encontrada em CRESTANA et al. (1994).

MARQUELLI et al. (2005) avaliaram a distribuição de raízes do tomateiro e a variabilidade horizontal do potencial matricial e da condutividade elétrica da solução em substrato de fibra de coco verde, casca de arroz carbonizada, maravalha carbonizada e comercial. Irrigou cada plântula com um único gotejador localizado a 7 cm de distância. Ele identificou menor potencial e maior concentração de raízes no substrato de casca de coco verde quando em condições de déficit hídrico temporário. Ele termina por concluir que a localização mais adequada dos sensores de umidade é entre a planta e o gotejador da mesma.

De forma geral, os estudos apresentados anteriormente indicam resultados diversos, seja com relação às produções alcançadas e a produtividade obtida, seja com relação ao desenvolvimento do sistema radicular. Todavia, com relação à temperatura do solo, os estudos indicam resultados positivos com relação à diminuição dos valores extremos de temperatura, bem como uma menor amplitude térmica, sempre favorável ao sistema de produção com plantio direto.

2.3 - Dinâmica da água no solo

A parte conceitual que descreve a percolação de água em solos não saturados é baseada no conceito de energia de água no solo (PREVEDELLO, 1996). O movimento da água dá-se das regiões de maior para as de menor energia, sendo que são vários os fatores que determinam o estado de energia da água num dado ponto.

Segundo HILLEL (1970), a física reconhece duas formas principais de energia: a potencial e a cinética. No entanto, como o movimento de água no interior do solo é bastante lento, a energia cinética neste caso pode ser desprezada. Por outro lado, a energia potencial assume grande importância na descrição do movimento de água no solo, pois é a energia potencial que determina o estado e o movimento da água no solo. Desta

forma, são as diferenças de potencial entre dois pontos no interior da matriz do solo que resultam no movimento da água, ou seja, a água vai mover-se sempre do ponto de maior para o de menor potencial (HILLEL, 1970).

De acordo com HILLEL (1971) e REICHARDT (1985), com exceção das alterações de fase, a água é a mesma em qualquer posição e tempo dentro do solo, não se distinguindo por sua forma, mas sim por seu estado de energia, ou seja, por seu potencial.

O potencial da água no solo (ψ) representa a diferença de energia do sistema entre o estado da água no solo e um estado padrão; portanto, o potencial da água no solo (ψ) define o estado de energia do sistema no ponto considerado (REICHARDT & TIMM, 2004). O potencial da água do solo é composto por diversos campos de força, dentre os quais se pode citar: o componente de pressão (ψ_p), que aparece toda vez que a pressão que atua sobre a água do solo é diferente e maior que a pressão que atua sobre a água padrão; o componente gravitacional (ψ_g), que ocorre em função da força da gravidade; o componente osmótico (ψ_{os}), que aparece em função da água do solo ser uma solução de sais minerais e outros solutos; e o componente matricial (ψ_m), que é a soma de todos os outros trabalhos que envolvem a interação entre a matriz sólida do solo e a água, como o trabalho capilar, trabalho contra as forças de adsorção e elétricas, dentre outras menos relevantes (REICHARDT & TIMM, 2004). Essas forças são, portanto, pressões negativas, denominadas de tensões ou sucções.

Dessa forma, o potencial total de água no solo, conforme descrito acima, pode ser dado pela seguinte equação:

$$\psi_T = \psi_p + \psi_g + \psi_{os} + \psi_m \quad \text{Equação 3}$$

Segundo REICHARDT & TIMM (2004), esses potenciais podem ser expressos na forma de energia por unidade de massa, por unidade de volume ou por unidade de peso, também conhecida como carga hidráulica, com dimensão de comprimento. A energia por unidade de volume, dimensionalmente, equivale a uma pressão, e as unidades mais empregadas são atmosfera, bária e pascal. A energia por unidade de peso pode ser expressa na forma de pressão. Esta última forma, por unidade de peso é a mais usual e expressa os potenciais em termos de carga hidráulica, o que corresponde a uma coluna de metros de água.

Todavia, quando consideramos o movimento da água no solo, sem a interface solo-planta, apenas os potenciais gravitacionais e matriciais apresentam grande relevância, uma vez que, o potencial osmótico, surge apenas a partir da presença de íons e outros solutos encontrados na água do solo. Nesse caso, quanto mais concentrada a solução, menor o estado de energia da água e, portanto, mais negativo o valor da componente osmótica. Diferenças de potencial osmótico não causam movimento significativo da água, mas sim de soluto, entretanto, sua importância ocorre quando o movimento de água dá-se do solo para a planta (CRESTANA & POSADAS, 1996).

O potencial gravitacional da água em um dado ponto no solo depende da posição ocupada por ele em relação ao campo gravitacional, sendo determinado a partir de um plano de referência arbitrário, comumente, a superfície do solo. Deste modo, o potencial gravitacional de todos os pontos localizados ao nível do solo será igual a zero. Os pontos acima da superfície terão potencial positivo, enquanto os abaixo terão potencial negativo. Portanto, o potencial gravitacional independe das condições químicas e da pressão da água do solo, ou ainda, da sua quantidade, dependendo exclusivamente da elevação relativa a um referencial (REICHARDT, 1985).

Ainda, segundo REICHARDT (1985), embora o potencial gravitacional esteja sempre presente, a sua importância na determinação do potencial total da água será relativa, pois dependerá da magnitude dos demais componentes, pois normalmente o potencial gravitacional é de máxima importância em solos saturados e próximos da saturação, enquanto que em solos não saturados a componente matricial assume essa posição. Isso se explica pelo fato de que o potencial matricial é resultante do efeito combinado das forças capilares e de adsorção, surgidas devido à ação entre a água e as partículas sólidas, que atraem e fixam a água no solo, diminuindo sua energia potencial em relação à chamada água livre.

Neste sentido, a textura, a estrutura e o teor de umidade do solo são fundamentais na determinação do potencial matricial. Num solo saturado não existem meniscos, ou seja, a força capilar e a adsorção também são nulas, assim como a componente matricial. Com o decorrer do tempo, com a saída de água, o solo vai se tornando não saturado e o ar ocupa o local da água, inicialmente nos poros maiores. A partir daí, reaparecem os meniscos, a capilaridade começa a atuar, e como consequência, a componente matricial torna-se cada vez mais negativa. Dessa forma, para valores baixos de umidade, a água apresenta-se, principalmente, na forma de filmes, cobrindo as partículas de solo – adsorção - e o fenômeno de capilaridade deixa de ser relevante no potencial matricial do solo.

2.4 - Mensuração da água no solo

O potencial matricial é normalmente determinado de forma experimental através de diversos equipamentos, sendo os principais: os tensiômetros; o sensor de matriz granular (GMS); os funis de placa porosa e a câmara de pressão de Richards. Dentre os equipamentos citados, os dois últimos baseiam-se na aplicação de uma tensão ao solo, a fim de retirar da amostra de solo um volume de água. Desta forma, para cada valor de potencial matricial (ψ_m), no equilíbrio, existe um valor de umidade no solo; portanto,

utilizando-se amostras indeformadas com métodos de laboratório, através da variação da tensão e da medição dos correspondentes valores de potencial matricial, torna-se fácil construir uma curva de retenção de água no solo.

A curva de retenção de umidade apresenta um fenômeno característico, a histerese, isto é, a retenção de água de um dado solo não é unívoca, mas depende da evolução, seja do molhamento ou da drenagem (secagem), uma vez que, para um mesmo teor de umidade, obter-se-á diferentes potenciais matriciais para o solo em processo de drenagem ou molhamento. Esse fenômeno faz com que o teor de umidade seja mais elevado durante o secamento do que quando o solo está sendo umedecido, sob os mesmos valores de potencial matricial (REICHARDT, 1990).

De acordo com REICHARDT (1985), esse fenômeno é explicado pela ação física do umedecimento e da secagem, os quais provocam alterações em outras variáveis do solo, tornando a correlação entre umidade e tensão matricial no umedecimento e na secagem mais difíceis. Esse fenômeno deu origem aos conceitos de pressão de entrada de água e de pressão de entrada de ar no solo.

A estimativa da disponibilidade de água dos solos às plantas pode ser obtida a partir da interpretação da curva de retenção de água, visto que, como a curva é uma característica do solo, ela é determinada uma única vez apenas e, sempre que se precisar do valor de umidade do solo determina-se o potencial matricial e, através da curva, estima-se o valor do conteúdo de água. Todavia, vale ressaltar que a curva de retenção apresenta limitações, pois esta tem grande variabilidade em função de variações do tipo de argila, da composição granulométrica, do grau de compactação do solo, da estrutura, da densidade, da relação de porosidade, dentre outros fatores (REICHARDT, 1990).

Dentre as técnicas disponíveis de mensuração da água no solo no campo utilizadas para medir o potencial matricial da água no solo, todas apresentam vantagens e desvantagens, sejam elas de tempo de resposta, precisão, custos de aquisição e de manutenção, facilidade operacional, dentre outros fatores. De acordo com SHOCK (1998), não existe sensor perfeito que apresente um baixo custo e tenha estimativa exata da condição de água do solo para todas as culturas e tipos de solos. Dessa maneira, torna-se necessário compreender as virtudes e as limitações de cada equipamento para se definir a sua aplicabilidade para a pesquisa em questão.

STARR & PALTINEANU (1998), estudaram métodos para monitoramento da umidade do solo em tempo real, encontraram resultados bastante satisfatórios com o uso de sensores de umidade ligados a dispositivos de armazenamento com elevada frequência de leitura.

O movimento da água no solo apresenta grande variabilidade espacial e temporal requerendo uma avaliação em nível de campo, com escala e frequência elevada. As determinações de campo objetivam estudar o solo no estado natural, sem as interferências dos processos de amostragem e coleta, além das dificuldades metodológicas das determinações em laboratório. Face ao predomínio da interface solo/solo, em detrimento das interfaces, solo/atmosfera e solo/planta no movimento de água no solo, a determinação de parâmetros do solo em seu estado de umidade e sucção matricial preservadas, sendo preferencialmente obtidas em campo (LIBARDI, 1995).

No monitoramento do potencial matricial do solo usou-se os seguintes instrumentos de mensuração: tensiômetros e os sensores de matriz granular (GMS). A tabela 1 indica as principais diferenças entre estes dois instrumentos. Pode-se notar a grande variação nos

limites de medição dos instrumentos, sendo que cada um representará uma aplicação particular e deverá responder precisamente a uma faixa de sucção do solo.

Tabela 1: Instrumentos para mensuração do potencial matricial do solo.

Instrumentos	Sucção	Característica Básicas	Tempo de equilíbrio	Limites de medição	Referência
Tensiômetro comum	Potencial Matricial	Contato direto	Horas	0 a (- 80 kPa)	Fredlund e Rahardjo (1993)
Sensor de matriz granular (GMS)	Potencial Matricial	Contato direto	Minutos	0 a (- 200 kPa)	Shock (1998)

Fonte: BERTOLINO (2004).

O tensiômetro é um instrumento de medição do potencial matricial da água do solo em condições de campo. É adequado para operação em potenciais superiores a -80 kPa, pois o ar tende a penetrar em potenciais inferiores àquele valor, fazendo o instrumento deixar de funcionar (KLAR, 1988).

Atualmente os tensiômetros podem ser de três tipos básicos, relacionados ao sensor de pressão utilizado, os quais podem ser: o tradicional de manômetro de mercúrio, o de manômetro à vácuo e o transdutor elétrico de pressão. Essas alternativas conferem aos tensiômetros grande flexibilidade, podendo apresentar sistemas de medição simples, baratos e de baixa manutenção, ou serem empregados em sistemas complexos e caros, interligados a dispositivos registradores automatizados de dados, também conhecidos como “datalogger”.

Um equipamento que vem ganhando destaque na mensuração da sucção da matriz do solo é o Sensor de Matriz Granular – GMS – (SHOCK, 1998), visto que reduz os problemas inerentes aos blocos de gesso, os quais, apresentavam perda de contato com o solo por dissolução do gesso, além de inadequada distribuição dos tamanhos de poros.

As virtudes dos sensores de matriz granular têm sido demonstrado em vários estudos realizados como os apresentados por SHOCK et al. (1997); SHOCK (1998); ELDREDGE et al. (1993); SHOCK et al. (1998); SHOCK (2003); e SHOCK, et al. (2003).

O funcionamento dos sensores de matriz granular, figura 2 (b), obedece ao mesmo princípio de resistência elétrica dos blocos de gesso, pois o mesmo contém uma pastilha de gesso inserida na matriz granular, interligado a um medidor de corrente elétrica. Da mesma forma que o bloco de gesso, o sensor de matriz granular é introduzido no solo, que passará a receber ou perder umidade para o solo, até atingir o seu ponto de equilíbrio higroscópico. A medição dar-se-á por intermédio de um equipamento de leitura, figura 2 (a) ou de registro, que envia uma corrente elétrica ao sensor. A resistência da passagem da corrente entre os eletrodos corresponderá a um determinado valor da sucção no solo, ou seja, do potencial matricial da água no solo naquele dado instante.



Figura 2a e 2b: Leitor watermarker portátil da Irrometer inc. (a) e detalhe do sensor de matriz granular (GMS) também da Irrometer inc. (b).

Desta forma, uma melhor compreensão do manejo adequado do solo e da água requer um estudo detalhado do comportamento hidrológico de cada área e, também, o uso de instrumentos de monitoramento de campo (SHOCK et al, 2003; SHOCK, 2003).

Com o advento de novos sensores e a difusão e o barateamento dos dispositivos de armazenamento de dados, o ramo de conhecimento da hidrologia que estuda o comportamento da água no solo, vem aprimorando suas técnicas de análise. Dentre esses novos sensores, destaca-se o bloco de matriz granular que é um sensor voltado para medir o potencial da água no solo em faixas de potenciais extremamente pequenos, que variam de 0 até 200 kPa, o que contribui na compreensão do comportamento da água no interior do solo. Outra característica que valoriza este tipo de sensor é que estes podem ser conectados a dispositivos automáticos de armazenamento de dados, possibilitando leituras de alta frequência, em reduzidos intervalos de tempo, o que contribui no entendimento dos fluxos nas zonas não saturadas do solo (SHOCK, 1998; FEIBERT et al., 1998; SHOCK, 2003, THOMPSON et al., 2006).

SHOCK (2002) descreve seu estudo de comparação de seis sensores de umidade (Aquaflex, Gro Point, Moisture Point, Nêutron Probe, Tensiometer and Watermark) do solo realizados na estação experimental de Malheur da Universidade Estadual do Oregon com o cultivo de batatas irrigadas sob sistema de gotejamento. Neste estudo, todos os sensores avaliados mostraram correlação superior a 0,7 com a sonda de nêutrons e 0,5 com os tensiômetros, exceto a "Moisture Point". Os tensiômetros e os sensores de matriz apresentaram resultados semelhantes.

3 - Área de estudo

A região do estudo (figura 3) está localizada na Mesorregião do Noroeste Fluminense, da qual fazem parte duas microrregiões de influência; a microrregião de Itaperuna, composta dos seguintes municípios: Bom Jesus do Itabapoana, Italva, Itaperuna, Laje do Muriaé, Natividade, Porciúncula, Varre-Sai; e a microrregião de influência de Santo Antônio de Pádua da qual fazem parte os municípios de Aperibé, Cambuci, Itaocara, Miracema, Santo Antônio de Pádua e São José de Ubá. O território que compreende a Mesorregião do Noroeste Fluminense tem 5.385,6 km² de extensão, correspondendo a 12,28% do território total do Estado no Rio de Janeiro (CIDE, 2005).

O estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica do rio São Domingos, afluentes do rio Muriaé, complexo hidrográfico do rio Paraíba do Sul. A área da bacia é de aproximadamente 28.000 ha, está situada entre as coordenadas aproximadas de 21° 15' e 21° 30' S e 41° 47' e 42° 04' WGr, engloba o município de São José de Ubá e parte do município de Itaperuna.

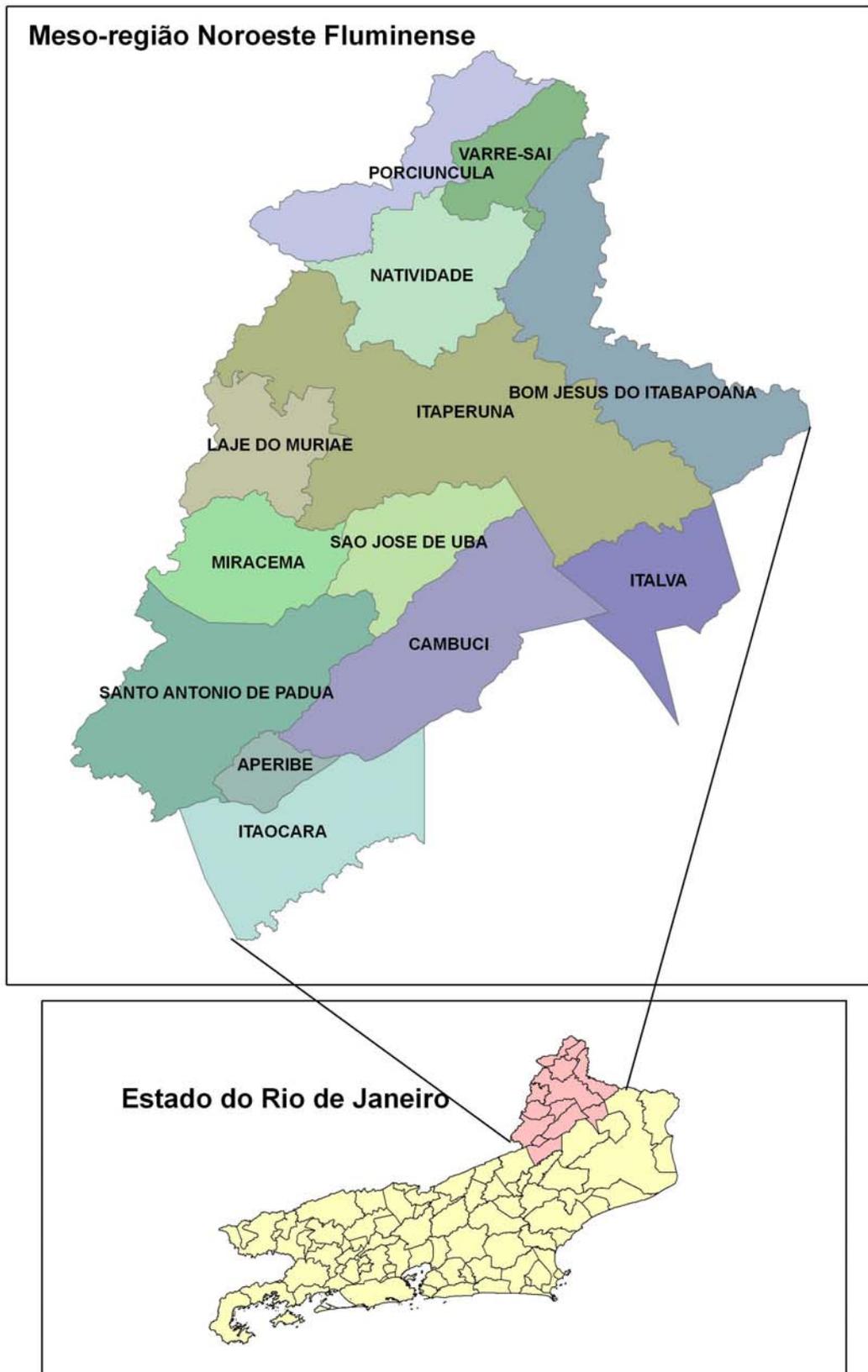


Figura 3: Localização da Meso-região Noroeste Fluminense.

3.1 Características gerais da meso-região noroeste fluminense

A colonização da região foi calcada na busca por terras para a prática da agricultura, principalmente por imigrantes italianos, portugueses, suíços e espanhóis que buscavam terras, impulsionados pelo sucesso da produção cafeeira e canavieira da época, trazendo suas tradições na agricultura e no comércio. Atualmente, a economia da região é baseada na produção agrícola, com destaque para o município de Itaperuna, que com a diversificação da sua produção, pôde se destacar dos demais municípios, desenvolvendo atividades comerciais e prestando serviços para toda a região (TOSTO et al., 2004).

3.1.1- Características sócio-econômicas

Segundo dados do Anuário Estatístico da Fundação CIDE (2005), o Noroeste Fluminense apresentava, em 2005, o contingente de 312.675 habitantes, com crescimento populacional concentrado nos municípios mais desenvolvidos como Itaperuna, Santo Antônio de Pádua e Bom Jesus de Itabapoana.

De acordo com TOSTO et al. (2004), o quadro econômico não mostra uma grande diferença de renda total da população dos municípios – PIB per capita – apresentando um padrão semelhante para quase todos os municípios, o que pode ser explicado pela aptidão rural generalizada na região. A maior parte dos municípios tem o PIB concentrado nos setores de serviços e da agropecuária.

No município de Itaperuna, a maior parte da população vive na área urbana, enquanto que os municípios de pior situação econômica e social são aqueles que apresentam as menores taxas de urbanização, como São José de Ubá e Varre-Sai. Observa-se que, embora tendo a menor taxa de urbanização, São José de Ubá, não é o pior em termos de PIB per capita, fato que pode ser associado à crescente produção de tomate no município (TOSTO et al., 2004).

Ainda segundo TOSTO et al. (2004), o atraso de alguns municípios em relação a outros pode ser explicado através da diferença dos valores e do tempo de beneficiamento dos municípios em relação aos “royalties” do petróleo da Bacia de Campos recebidos por todos eles. Outro fator que pode explicar este distanciamento é o tempo de emancipação de cada um e, ainda, o fato dos municípios com aptidão agrícola costumarem apresentar um desenvolvimento menor do que aqueles que possuem a economia diversificada, movimentada por indústrias, comércios e serviços.

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) para a Mesorregião do Noroeste Fluminense apresenta resultados pouco satisfatórios. O município mais desenvolvido da região é o município de Itaperuna com o índice de 0,787, ocupando apenas a vigésimo posição no ranking estadual. Por outro lado, os destaques negativos ficam por conta dos municípios de Varre-Sai, o de menor IDHM no estado, São José do Ubá (0,718) octagésimo quinto, Laje do Muriaé e Cardoso Moreira que são, respectivamente, o octogésimo oitavo e octogésimo nono num total de 91 municípios (CIDE, 2003).

Com base em dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, em termos econômicos, Itaperuna é município mais desenvolvido da região, pois, no ano de 2003, o valor do seu PIB ficou em torno de 550 milhões de reais, enquanto o segundo maior (Santo Antônio de Pádua) obteve um valor próximo a 175 milhões de reais no mesmo período. Destacam-se ainda, Bom Jesus do Itabapoana, 165 milhões de reais e Cambuci, com pouco mais de 100 milhões de reais. Os demais municípios da mesorregião apresentam valores inferiores a 100 milhões de reais, sendo São José do Ubá o município com a menor economia na mesorregião (CIDE, 2005).

A atividade econômica mais relevante do setor primário é a agropecuária, base da economia do noroeste fluminense, com destaque para a atividade pecuária e para a lavoura de tomate em alguns municípios da região. No setor secundário, a principal atividade na região é a da indústria de transformação, principalmente a indústria de laticínios, concentrada no município de Itaperuna. No setor terciário, dominam o comércio e os serviços, em especial aqueles voltados para as atividades agropecuárias. Verifica-se que, embora presente em todos os municípios, o setor terciário é mais significativo apenas nos municípios mais desenvolvidos da região, como Itaperuna, Bom Jesus do Itabapoana e Santo Antônio de Pádua (LUMBRERAS et al., 2003).

Nesse quadro, nota-se algumas exceções, como o município de Aperibé, que concentra a maior parte das atividades na indústria metalúrgica e nos serviços e o município de Cambuci que tem cerca de 87% da economia voltada para serviços.

LUMBRERAS et al. (2003) avaliaram a agricultura da Região Noroeste Fluminense com boa representatividade em nível estadual, principalmente com relação a algumas culturas como, por exemplo, as culturas de arroz, milho e tomate que são as mais relevantes em termos estaduais. A cultura do arroz, cujo maior produtor é o município de Itaperuna, representa cerca de 66% do total. Todavia, este estudo frisa que a produção de arroz neste município vem sofrendo acentuadas quedas nos últimos anos, tanto em termos de produção como de produtividade. Na cultura de milho, onde o maior produtor também é o município de Itaperuna, com cerca de 27% do total estadual. Para esta cultura, a taxa geométrica de crescimento (TGC) é negativa em termos de produção para todos os municípios da região, com a exceção de Cambuci (aumento de 6,7%). A lavoura do tomate alcança níveis consideráveis, pois, a produção da região, totaliza cerca de 38% da produção do Estado, onde São José de Ubá é, atualmente, o maior produtor.

Na pecuária, o maior rebanho de bovinos pertence a Itaperuna que possui 95.000 cabeças de gado. O restante dos municípios apresenta quantidades inferiores a 70.000 cabeças, sendo Aperibé o que possui menor efetivo (10.350 cabeças). Na produção de leite, a região contribui com cerca de 18% da produção estadual onde o destaque é novamente o município de Itaperuna, maior produtor leiteiro. Com relação à produtividade, os municípios da região ficam um pouco abaixo do patamar estadual (LUMBRERAS et al., 2003).

3.1.2 - Características do meio físico

A Região Noroeste Fluminense está inserida numa vasta depressão interplanáltica, alternada com alinhamentos serranos escalonados, que é delimitada a sul pelo Planalto da Região Serrana e pela Serra dos Órgãos e a norte pelo Planalto do Alto Itabapoana, estendendo-se a oeste pela Zona da Mata mineira, com características um pouco similares. A leste, esse domínio é encerrado pela Baixada Campista e pelos tabuleiros da Formação Barreiras. Esta região abrange a porção fluminense das bacias dos rios Pomba, Muriaé e Itabapoana e o baixo curso do rio Negro (LUMBRERAS et al., 2003).

LUMBRERAS et al. (2003), descreve a região Noroeste Fluminense como uma área de extenso relevo colinoso, seccionado por freqüentes alinhamentos serranos de direção estrutural NE-SW e maciços montanhosos. A vegetação original de Mata Atlântica foi devastada para implantação de cultivos e pastagens, que atualmente predominam na paisagem da região.

A incidência de voçorocas e movimentos de massa, freqüentes em determinados trechos do Médio Paraíba, é menor no relevo colinoso do Noroeste Fluminense, onde predomina a forte incidência de erosão laminar, e em sulcos, como fica evidenciado pela presença de grandes quantidades de áreas desnudas em meio às pastagens degradadas,

sobretudo na área de domínio de Argissolos Vermelhos, por vezes pouco espessos, que ocorrem predominantemente em áreas de relevo forte ondulado e montanhoso (CARVALHO FILHO et al., 2001a).

Numa avaliação do potencial agrícola, as terras da região apresentam limitações importantes, uma vez que, extensas áreas são dominadas por colinas e morrotes e morros baixos com ocorrência de Argissolos Vermelho-Amarelos e Vermelhos, de moderada e elevada fertilidade natural. Associada a essas limitações de relevo movimentado ocorre à deficiência hídrica prolongada na região, com a concentração no período úmido (CARVALHO FILHO et al., 2001b).

Por outro lado, as planícies fluviais embutidas nos fundos de vales dos rios Pomba, Muriaé, Itabapoana e tributários principais, ocorrem os Gleissolos Háplicos e Planossolos Hidromórficos, eventualmente Neossolos Flúvicos, se não apresentam limitações de ordem do relevo, por vezes ocorrem presença de níveis tóxicos de sais e/ou sódio em subsuperfície nestas terras.

De acordo com o Zoneamento Agroecológico do Estado do Rio de Janeiro (LUMBRERAS et al., 2003), a Região Noroeste apresenta quanto a seus aspectos climáticos, altas temperaturas, moderado índice pluviométrico, estação seca pronunciada e alta taxa de evaporação. O tipo climático predominante é o Aw - tropical seco, relacionado com a vegetação de floresta tropical subcaducifólia. A temperatura média anual varia entre 23 e 25°C e a precipitação pluviométrica é de 1000 a 1200 mm anuais. Apresenta 4 a 6 meses de seca, ou seja, com precipitação inferior a 60 mm. As áreas menos chuvosas ocorrem nas proximidades de São Fidélis, Cardoso Moreira e Italva, atingindo valores de 900 mm de precipitação anual.

Nestas regiões, verifica-se a presença de floresta caducifólia, em geral nos sítios de solos pouco profundos, com baixa capacidade de armazenamento de água. No geral, o balanço hídrico anual é negativo, isto é, evapora mais água do que precipita, predominam valores de 150 a 300 mm de deficiência hídrica anual, podendo atingir 450mm naquelas áreas mais secas.

O intenso desmatamento das bacias dos rios Pomba e Muriaé, tanto em território fluminense, quanto em território mineiro, acentuam o escoamento superficial e o aumento dos picos de vazão dos rios, sendo uma das causas das enchentes que periodicamente assolam várias cidades do Noroeste Fluminense. Tanto os alinhamentos serranos escalonados, quanto os maciços montanhosos, apresentam-se também bastante desmatados, o que acentua o aspecto árido de toda a região (JACQUES & SHINZATO, 2001).

3.2 - Município de São José do Ubá

A origem do município de São José de Ubá encontra-se ligada à de Cambuci, ao qual pertencia quando foi emancipado pela Lei Estadual n.º 2.495, de 28 de dezembro de 1995. Sua história advém da época dos bandeirantes quando a região era conhecida como Rancho dos Ubás, em função da abundância desta planta nativa (RIO DE JANEIRO, 2005).

Até os anos 60 a economia local baseava-se no cultivo de produtos agrícolas como o café, a cana-de-açúcar, o feijão, o algodão e o milho, além de pecuária. A partir da década de 60 a base da economia local é o plantio de tomate de mesa. Tal atividade gerou um relativo progresso na região com a instalação de agências bancárias, de correios, comércio de insumos agrícolas e a construção do mercado do Produtor do Noroeste Fluminense e por fim, a emancipação de São José de Ubá.



Figura 4: Município de São José de Ubá no estado do Rio de Janeiro/RJ

Fonte: PRADO et al., 2005.

3.2.1- Caracterização sócio-econômica do município de São José do Ubá

O município tem um único distrito sede, ocupando uma área total de 251,6 quilômetros quadrados, correspondentes a 4,7% da área da Região Noroeste Fluminense. É servido pela rodovia RJ-186, que acessa Santo Antônio de Pádua, a sudoeste, e Itaperuna, a noroeste. A rodovia RJ-198 segue rumo norte para Itaperuna, e rumo sul para Cambuci.

Segundo os Estudos Sócio-Econômicos do Tribunal de Contas do Estado (RIO DE JANEIRO, 2005), citando os dados do censo do ano 2000, São José de Ubá tinha uma população de 6.413 habitantes, correspondentes a 2,2% do contingente da Região Noroeste Fluminense, com uma proporção de 106,7 homens para cada 100 mulheres. A densidade demográfica era de 26 habitantes por km², contra 56 habitantes por km² de sua região. Sua população estimada em 2004 é de 6.639 pessoas. A taxa de urbanização alcança 46,7% de sua população, distribuídas em 2.190 domicílios, dos quais 35,7% têm

acesso à rede geral de abastecimento de água, 28,2% estão ligados à rede geral de esgoto sanitário, e 40,2% têm coleta regular de lixo.

Segundo os dados da Fundação CIDE para o ano de 2001 (CIDE, 2003), o PIB municipal concentrava-se na área do comércio e serviço, 67,02%, seguindo-se a da indústria, 12,69%, e da agropecuária, 20,29%. Nesse mesmo ano, a participação do município representou 0,01% do PIB Estadual. É importante salientar ainda, a baixa participação do município de São José de Ubá na composição do PIB da Região Noroeste Fluminense. No setor primário predomina a produção de tomate, ocupando, atualmente, o primeiro lugar na produção estadual. A pecuária extensiva de corte e de leite encontra-se bastante desenvolvida. O município possuía em 2001, um rebanho de 24 mil cabeças de gado, e cerca de 5 mil vacas ordenhadas. Já o setor secundário, resume-se à uma pequena indústria gráfica. E ainda, no setor terciário, destacam-se os prestadores de serviços, o comércio varejista e no transporte.

De acordo com RIO DE JANEIRO (2005), citando o Sistema Nacional de Indicadores Urbanos – SNIU do Ministério das Cidades de 2003 referentes ao ano 2000 e IBGE – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000, elabora o seguinte panorama para o município:

No tocante ao abastecimento de água, São José de Ubá tem 35,7% dos domicílios com acesso à rede de distribuição, 57,4% com acesso à água através de poço ou nascente e 6,9% têm outra forma de acesso à mesma. O total distribuído alcança 596 metros cúbicos por dia, dos quais a totalidade passa por tratamento convencional.

A rede coletora de esgoto sanitário chega a 28,2% dos domicílios do município; outros 9,7% têm fossa séptica; 11,5% utilizam fossa rudimentar, e 47,5% estão ligados a uma vala, enquanto que 2,6% são lançados diretamente em um corpo receptor (rio, lagoa

ou mar). O esgoto coletado não passa por tratamento e é lançado no rio. Com relação ao lixo, 40,2% dos domicílios têm coleta regular, outros 4,3% têm seu lixo jogado em terreno baldio ou logradouro, e 52,5% o queimam. O total de resíduos sólidos coletados somava 14 toneladas por dia, cujo destino era um vazadouro a céu aberto (lixão).

Por fim, o Relatório do Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro para o ano de 2005 conclui “faz-se urgente que a gestão dos recursos hídricos se efetue de forma mais competente e eficaz do que vem sendo feita até hoje. É necessário administrar a abertura e o bombeamento de poços, monitorar o rebaixamento do lençol freático, o aterramento de brejais, lagoas e lotes ou a obstrução parcial da drenagem superficial e subsuperficial, bem como a abertura e limpeza de fossas, a contaminação do freático, as zonas de despejo de esgoto e lixo, etc. A realização de investimentos e ações de desenvolvimento tecnológico resultará na implantação de projetos mais eficientes e menos impactantes na qualidade dos corpos hídricos, e na reutilização dos subprodutos dos tratamentos de água, esgoto e lixo”.

De acordo com TOSTO et al. (2004), baseado em dados dos relatórios do Tribunal de Contas do Estado, há uma predominância das transferências correntes e dos royalties na composição da receita. E ainda, as transferências totais da União e do Estado para o município aumentaram 103% entre 1997 e 2002, enquanto que a receita tributária teve um aumento de 467% no mesmo período. Com base em dados do ano de 2002, a Região Noroeste recebeu R\$ 131,81 milhões. Analisando-se a receita per capita, o município de São José de Ubá é o mais beneficiado, com recursos de R\$ 383,11, enquanto que em Itaperuna essa receita foi de apenas R\$ 53,11 per capita.

Segundo RIO DE JANEIRO (2005), a atividade agropecuária responde por menos de 1% do PIB fluminense, uma contribuição que fica muito aquém dos 9,6% da média nacional. A lavoura canieira, preponderantemente desenvolvida no norte do Estado, com

uma participação de cerca de 30% da atividade agropecuária estadual, registrou um bom desempenho em 2004, com crescimento de 6,75% da produção. O desempenho das outras quatro principais lavouras do Estado, contudo, não foi homogêneo. Dos cinco principais segmentos da agropecuária fluminense, três (cana, tomate e mandioca) apuraram crescimento e dois (laranja e banana), redução da produção.

O PIB municipal para o ano de 2003 alcançou R\$ 28 milhões, 92ª posição entre os 92 municípios fluminenses, com uma variação de - 11,47% em relação ao ano anterior. O PIB per capita foi de R\$ 4.303,00. Se considerarmos a média do PIB per capita do Estado como índice 100,00, o de São José de Ubá fica com 29,23. O Produto Interno Bruto do município teve as seguintes contribuições, por setor da economia: Agropecuária 13%; Extração mineral 0%; Indústria de transformação 4%; Comércio atacadista 0%; Comércio varejista 1%; Construção civil 9%; Serviços de utilidade pública 4%; Transportes 0%; Comunicações 1%; Instituições financeiras 4%; Administração pública 10%; Aluguéis 30%; e Prestação de serviços 23%. (RIO DE JANEIRO, 2005)

3.2.2 - Caracterização do meio físico do município de São José do Ubá

Distintamente do item anterior que considerava os limites políticos administrativos como unidade geográfica de estudo, esse item, aqui apresentado, relativo ao meio físico e biótico, estudou, em sua maior parte, a Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos como unidade básica de estudo, uma vez que este limite praticamente coincide com o do município de São José do Ubá.

A bacia do rio São Domingos possui uma área de 280 Km², dos quais, 86,2%, no município de São José de Ubá e os demais 13,8% no município de Itaperuna (FIDALGO et al., 2005). Segundo SILVA et al. (2005), esse rio não apresenta vazões expressivas, que associado ao aumento de consumo de água desde a década de 50, devido ao cultivo de

tomate, bem como a ausência de práticas conservacionistas, gerou problemas de disponibilidade hídrica, caracterizando-a como uma das regiões mais secas e degradadas do estado do Rio de Janeiro.

Conforme descrito por FIDALGO & ABREU (2005), o mapeamento do uso e da cobertura da terra na área da bacia hidrográfica do Rio São Domingos, realizado com o uso de imagens das bandas 1, 2 e 3N (VNIR) e 4 a 9 (SWIR) do sensor ASTER de 21/02/2002, necessitou de apoio de campo, devido à pequena extensão das lavouras na área de estudo. Atualmente, a cobertura vegetal encontra-se bastante reduzida, sendo a maior parte das terras ocupadas por pastagens. A principal atividade agrícola é a cultura do tomate, que ocupa pequenas parcelas de área nos meses de março a outubro.

Dentre os resultados descritos por ABREU & FIDALGO (2006), podemos destacar a identificação da classe de *Pastagem* que corresponde às áreas cobertas por pastagem sob diferentes manejos, incluindo pasto sujo, predominando na bacia, representando 88,30% de sua área.

A *Ocupação Urbana* corresponde à área de maior densidade populacional, onde se localiza a sede do município de São José de Ubá, abrangendo 0,14% da área da bacia. A *Vegetação Natural* é constituída por áreas cobertas por remanescentes da vegetação natural, sendo, em sua maioria, pequenos fragmentos, com exceção de uma área a oeste da bacia, que apresenta a maior área contínua de vegetação natural (480 hectares), ou 9,24% da área da bacia.

A classe *Solo Exposto* compreende as áreas sem cobertura vegetal, incluindo aquelas preparadas para cultivo, ou ainda, áreas erodidas e áreas sob atividade de mineração, contabilizando 0,73% da área da bacia. As áreas de *Afloramento rochoso* ocorrem na proximidade dos divisores da bacia, em local de relevo montanhoso e de

declividade acentuada, abrangendo 0,65% da área; e a classe *Água*, que corresponde aos lagos e as pequenas represas distribuídas por toda a bacia, abrangendo 0,20% de sua área.

Ainda segundo ABREU & FIDALGO (2006), no inverno de 2004 foram cultivados 132,27 hectares de tomate, 18,6 ha de pimentão, 9,59 ha de pepino e 1,27 ha de abobrinha. No verão de 2004/2005 foram cultivados 130,07 ha de milho e 66,48 ha de arroz. Essas áreas compõem-se de pequenas parcelas de cultivo e apresentam distribuição não uniforme ao longo da bacia.

De acordo com GONÇALVES et al. (2006), as temperaturas na bacia hidrográfica do rio São Domingos sofrem uma grande influência da latitude e principalmente da altitude, dado o relevo acentuado da região. A temperatura média é de 23,3°C para as altitudes entre 80 e 360 metros, com variação da temperatura média anual em torno de 22 a 24°C. Na área que apresenta altitudes entre 360 e 920 metros, a temperatura média anual varia entre 18,6 e 22,3°C, com média de 21,3°C.

A classificação climática da bacia do rio São Domingos, segundo KÖPPEN (1948), é *Aw*, ou seja, clima tropical, com inverno seco. Apresenta estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e nítida estação seca no inverno, de maio a outubro (julho é o mês mais seco). A temperatura média do ar do mês mais frio é superior a 18° C, enquanto que as precipitações pluviométricas são superiores a 750 mm anuais (GONÇALVES, et al., 2006).

Devido à inexistência de uma série longa de dados de precipitação dentro da bacia em estudo, foi necessário utilizar valores médios com base em 10 postos pluviométricos da região. Fez-se uma média ponderada com sistema de pesos. Os locais que apresentaram distâncias similares em relação ao ponto central da bacia hidrográfica receberam os mesmos pesos. Assim sendo, Miracema, Cambuci e Itaperuna tiveram peso cinco; Italva e

Santo Antônio de Pádua peso quatro; São Fidélis e Itaocara peso três; Varre-Sai e Porciúncula peso dois; e Muriaé peso um (GONÇALVES et al., 2006).

A precipitação pluviométrica média anual na bacia hidrográfica do rio São Domingos é de 1171,8 milímetros, sendo dezembro o mês mais chuvoso, e julho o de menor precipitação (GONÇALVES et al., 2006).

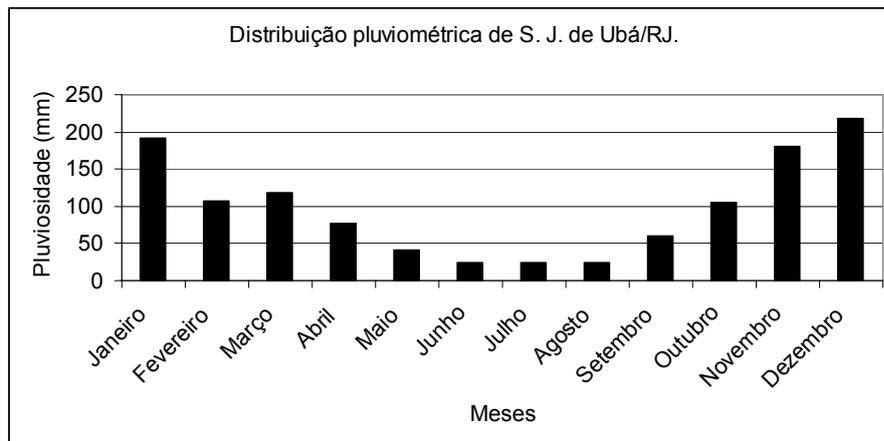


Figura 5: Comportamento pluviométrico Município de São José de Ubá

Fonte: GONÇALVES et al. (2006)

O balanço hídrico elaborado por GONÇALVES et al. (2006) baseado na metodologia de THORNWAITE & MATER, evidencia deficiência hídrica para a maior parte do ano, sendo que, apenas os meses de novembro, dezembro e janeiro ocorrem excedente hídrico como pode ser verificado na figura 6.

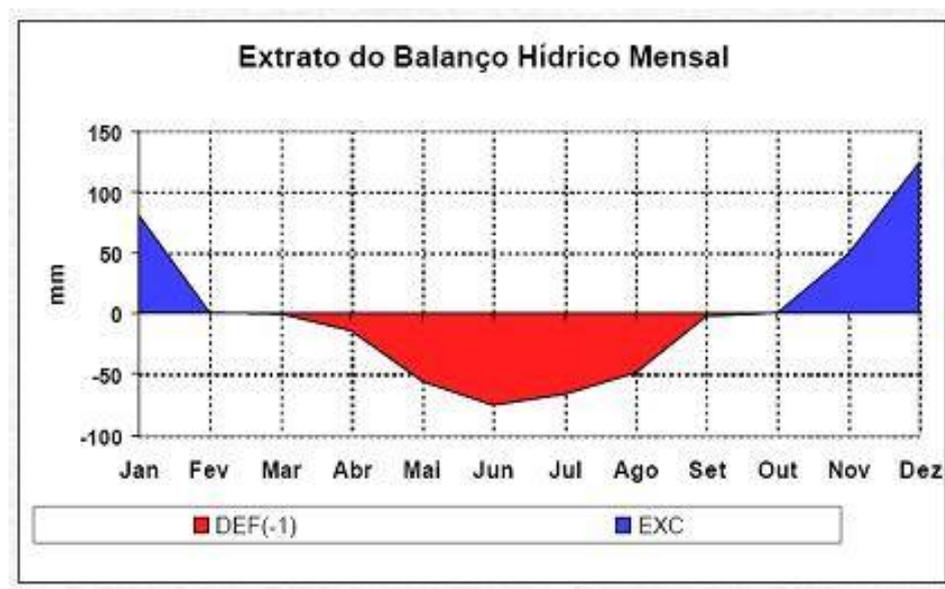


Figura 6: Balanço hídrico mensal do Município de São J. Ubá/RJ

Fonte: GONÇALVES et al. (2006)

Geologicamente, a área da bacia do Rio São Domingos (BHRSD) compreende um conjunto diversificado de rochas metamórficas de alto grau e ígneas de idade pré-cambriana, paleozóica, constituídos por blastomilonitos, granulitos norfíticos, migmatitos, migmatitos mateatexíticos heterogêneos, metamórficos, milonito gnaiss e sedimentos aluvionares (DANTAS et al., 2001).

Essa formação é representada por terrenos colinosos de baixa amplitude de relevo em alternância com alinhamentos de cristas serranas de elevada amplitude, bastante comuns ao longo do interior do Estado do Rio de Janeiro (DANTAS et al., 2001).

A bacia é constituída de áreas planas com elevações em torno de 100 m e áreas extremamente íngremes que alcançam quase 1000 m de altitude. Embora apresente grande variação altimétrica, 84,12% da área da bacia encontram-se em altitudes que variam entre 80 e 300 m, com uma elevação média de 216,92 m (CHAGAS, 2006).

De acordo com HEIBRON et al. (2005) e REIS & MANSUR (1995), a BHRSD é formada pelo Complexo Paraíba do Sul e Complexo Juiz de Fora e, por sedimentos Quaternários, como pode ser verificado na figura 7. O primeiro é constituído das Unidades Catalunha (p€lcl) e Santo Eduardo (p€llse), enquanto que o segundo complexo é formado pelas unidades São José de Ubá (p€lju), São João do Paraíso (p€lljp) e Vista Alegre (p€llva). Os sedimentos Quaternários são representados pelos Sedimentos Fluviais (Qa).

Unidade São José de Ubá (p€lju): Complexo Juiz de Fora, sendo constituída por rochas hiperstênio possuindo características metamórficas. Sua granulação é fina; coloração cinza esverdeada; maciça e foliada.

Unidade Vista Alegre (p€llva): Complexo Juiz de Fora, formada por uma complexa associação entre migmatitos e metamorfismo extremamente heterogêneos, nos quais, destacam-se a (granada) – biotita – (ortoclásio) – (microclina) – plagioclásio gnaiss e leptinitos.

Unidade Catalunha (p€lcl): Complexo Paraíba do Sul, constituída por gnaisses e franada, sillimanita e ortoclásio, às vezes com grafita e cordierita.

Sedimentos Fluviais (Qa): são depósitos Quaternários de origem fluvial, situados nas planícies de inundação, leques aluviais entre outros, apresentando zona de cisalhamento com direção NE-SW.

Do ponto de vista hidrogeológico, ocorrem na bacia os aquíferos porosos e os fissurais. Os aquíferos porosos são formados pelos depósitos sedimentares, mantos de intemperismo, que possibilitam fluir e armazenar água. Os fissurais estão associados a fraturas e fendas nas rochas, que segundo REIS & MANSUR (1995) são muito freqüente na BHRSD.

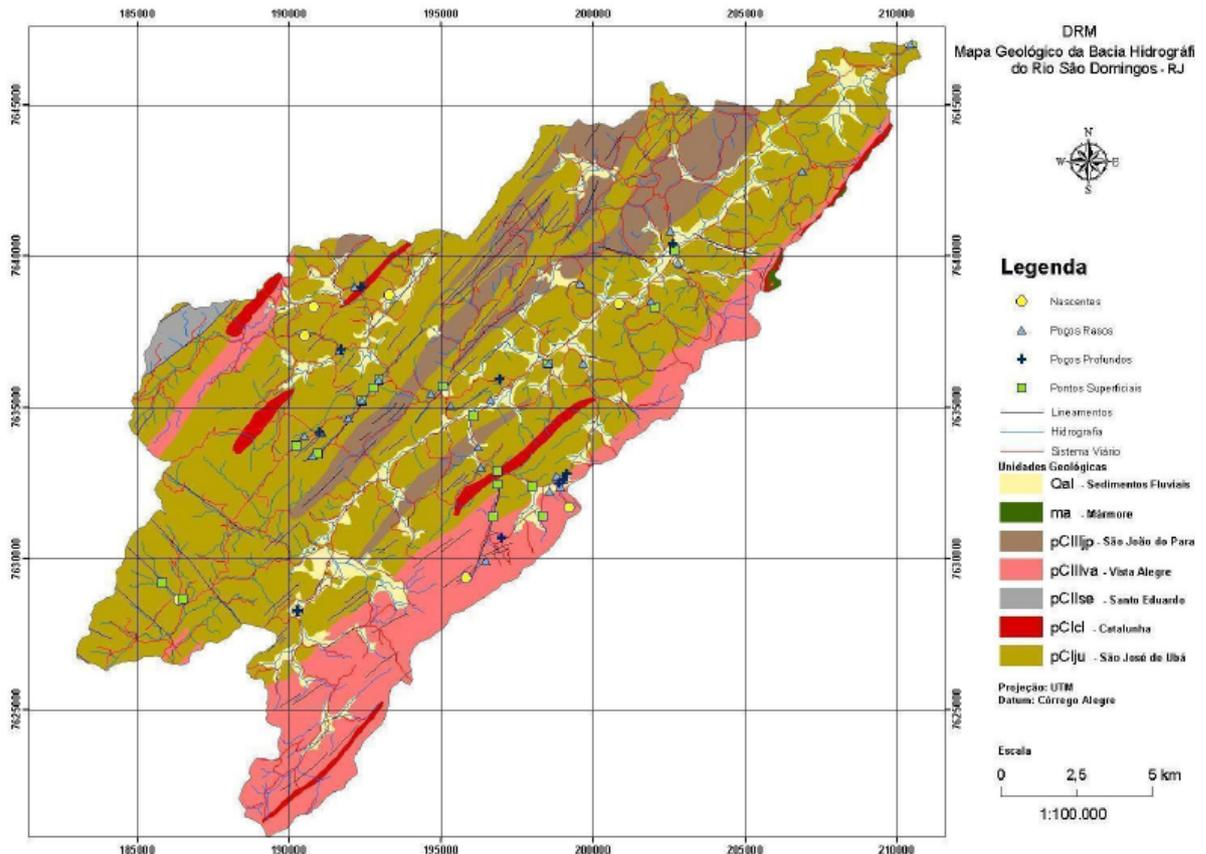


Figura 7: Mapa Geológico - Bacia do Rio São Domingos - São José de Ubá/RJ

Fonte: DRM, 2004.

Quanto a sua geomorfologia, o município de São José de Ubá está inserido na unidade geomorfológica Depressão Interplanáltica com Alinhamentos Serranos do Norte-Noroeste Fluminense (DANTAS, 2001). Essa unidade caracteriza-se por apresentar contraste brusco entre feições homogêneas de colinas, morros e morrotes associados aos alinhamentos serranos elevados. Esta unidade geomorfológica possui um alinhamento com direção predominante de WSW-ENE, que é marcante na região noroeste do Rio de Janeiro, mantendo semelhanças com o alinhamento das cristas encontradas no médio Vale Paraíba do Sul (DANTAS, 2001; MENEZES, 2005).

De acordo com MENEZES (2005), que estudou e classificou as águas da BHRSD levando em consideração a origem, em 90% das nascentes predominam o ânion

bicarbonato, sendo que desses, em 70% das amostras predominaram o cátion sódio; nos poços rasos, o bicarbonato é o ânion predominante em 77% das águas, sendo que, o sódio é o cátion mais abundante em 55,55% das amostras; em poços profundos, novamente ocorre a predominância do bicarbonato como ânion, mas em 50% das amostras dessa origem nenhum cátion aparece como dominante, caracterizando as águas como mistas; nos pontos superficiais, o comportamento em relação ao ânion predominante é o mesmo dos pontos anteriores, sendo que em apenas 11% das amostras há predominância do cátion sódio.

Os estudos de solo mostraram a ocorrência de dois domínios pedológicos bastante distintos e intimamente relacionados às duas feições geomorfológica regional, ou seja as baixadas (várzeas) e os morros e montanhas. Na primeira, foram identificados Gleissolos nas partes mais baixas e Planossolos e Cambissolos desenvolvidos de sedimentos coluvionares e colúvio-aluvionares nas posições ligeiramente mais elevadas.

Em virtude de sua posição topográfica que condiciona um pedoambiente mais úmido, a deficiência hídrica regional é minimizada nas baixadas, dentro das quais, por sua vez, observa-se, dos locais de menor umidade para os de maior, uma diminuição da deficiência de água, aumento da deficiência de oxigênio e dos impedimentos à mecanização. As áreas de morros e montanhas são o domínio de Argissolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos que gradativamente dão lugar a Cambissolos e a Neossolos Litólicos à medida que o relevo fica mais acentuado. Neste sentido, a espessura do *solum* torna-se mais exígua e aumenta a frequência da ocorrência de pedregosidade e rochosidade (LUMBRERAS et al., 2006).

Segundo BHERING et al. (2005), na microbacia hidrográfica de Cambiocó e Santa Maria, ocorre a dominância de ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELO em posições de relevo ondulado e forte ondulado, com declividades superiores a 10%.

Na figura 8 pode-se verificar a ocorrência e distribuição dos ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELO na BHRSD (LUMBRERAS et al., 2006).

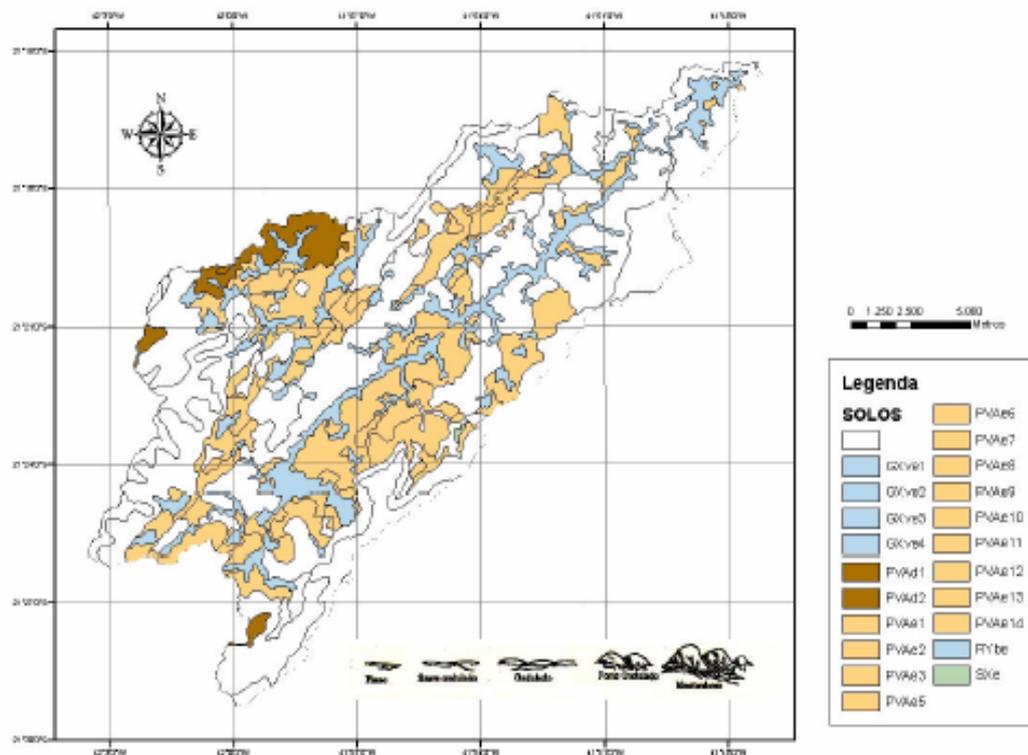


Figura 8: Distribuição de ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELO eutróficos (bege) e distróficos (marron) na Bacia do Rio São Domingos.

Fonte: LUMBRERAS et al., 2006

4 - Metodologia

Essa pesquisa teve como motivação a busca da sustentabilidade de sistemas de produção agrícola de tomate de mesa na Região Noroeste Fluminense. Para tal, buscou por intermédio da análise de propriedades físicas e físico-hídricas; do monitoramento do comportamento hidrológico do solo e do monitoramento da produção, através da implantação e desenvolvimento de estudos em unidades de pesquisa participativa e demonstrativa conduzidas em sistema de produção comercial, validar sistemas de produção que aumentem a taxa de infiltração, reduzam o escoamento superficial e favoreçam a recarga dos aquíferos fissurais dominantes na bacia.

4.1- Escolha da área experimental – critérios utilizados

A implantação das unidades de pesquisa demonstrativa e participativa incorpora um amplo espectro de requisitos, tanto no que se refere às características do meio físico, tanto, quanto, os vários requisitos vinculados à definição dos sistemas de produção e a condução dessas unidades, e em especial na seleção do produtor parceiro. Face aos objetivos desta pesquisa, foram definidos como relevantes os seguintes pontos:

- Características edafoambientais representativas das áreas de produção de tomate, neste quesito incorporando questões relativas a: solo, posição na paisagem da área de produção e declividade;
- Viabilidade operacional da área – acesso e disponibilidade hídrica;
- Sistema de exploração comercial;
- Área em exploração com no máximo três anos de cultivo;
- Condução da lavoura pelo proprietário produtor;

- Condução da lavoura por apenas um produtor exclusivamente;
- Lavoura com plantio não superior a 2.500 pés, quantitativo máximo de condução por um único produtor;
- Arranjo produtivo local, com proprietário, arrendatário (produtor) e empresário acordados e equilibrados;
- Produtor reconhecido na comunidade como bom produtor;
- Seriedade, respeito e credibilidade do produtor no meio comercial;
- Conhecimento claro e aceitação ampla da nossa proposta de trabalho;
- Assumir o risco em conjunto; e
- Confiança e empatia entre produtor e pesquisador.

Essa análise foi realizada em três etapas. Na primeira, foi dada prioridade aos requisitos vinculados ao meio físico, fundamentalmente; a representatividade das características da área de produção na Região Noroeste Fluminense. Na segunda etapa, vinculada a aspectos sócio-econômicos e operacionais da produção, e a terceira, a interação entre todos estes aspectos.

A unidade experimental de pesquisa participativa e demonstrativa esta localizada na microbacia do Barro Branco, município de São José do Ubá, possui área total, entre cultivo e áreas de apoio e serviço de aproximadamente 3000 metros quadrados. Uma visão geral das unidades experimentais pode ser vista na figura 9.



Figura 9: Vista das unidades experimentais na localidade do Barro Branco – São José do Ubá.

4.2 - Caracterização das unidades de pesquisa participativa e demonstrativa

A caracterização da área experimental, ou seja, as unidades de pesquisa participativa e demonstrativa foram realizadas nos seus aspectos físicos através das seguintes etapas:

4.2.1 - Levantamento topográfico da área

O levantamento topográfico foi realizado em todo o perímetro da unidade de pesquisa, através de uma Estação Total, englobando uma área total de cerca de quatro mil metros quadrados. Foram levantados aproximadamente 300 pontos, a partir dos quais foram obtidas curvas de nível de 0,50 m em 0,50 m. Essa base planialtimétrica e os pontos cotados foram utilizados para desenvolver o modelo do terreno, o modelo digital de elevação realizados com o software ArcGis 9.1 da ESRI Inc. Esses modelos serviram para apoiar os serviços de preparo do solo, marcação e realização dos terraços, localização das parcelas experimentais, elaboração do projeto de irrigação, localização da instrumentação de campo, incluindo a locação dos sensores de matriz granular - GMS's, geotermômetros, termopluviógrafo e hidrômetros.

4.2.2 - Caracterização pedológica da área

Com o intuito de avaliar as características pedológicas dos solos da área, tanto nos aspectos morfológicos, quanto a suas características químicas e físicas, foram empregados os métodos de laboratório preconizados no Manual de Métodos de Análises de Solos (EMBRAPA, 1997); os critérios do Manual de Descrição e Coleta de Dados no Campo (LEMOS et al. 1996) e classificados taxonomicamente conforme os preceitos constantes do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999). Para tal, foram realizadas amostragens em 9 perfis de solo, abertos em trincheiras de 60 cm de profundidade, compatível com o desenvolvimento radicular da cultura. Consolidada a homogeneidade da área, foi realizada a abertura de um perfil em trincheira, o qual foi, descrito e coletado, através de amostras deformadas e indeformadas. Também foi realizada uma sondagem a trado até 300 cm de profundidade, a partir do fundo da trincheira.

Detalhe da fotografia do perfil aberto em trincheira para a caracterização pedológica da unidade experimental pode ser visualizado na figura 10.

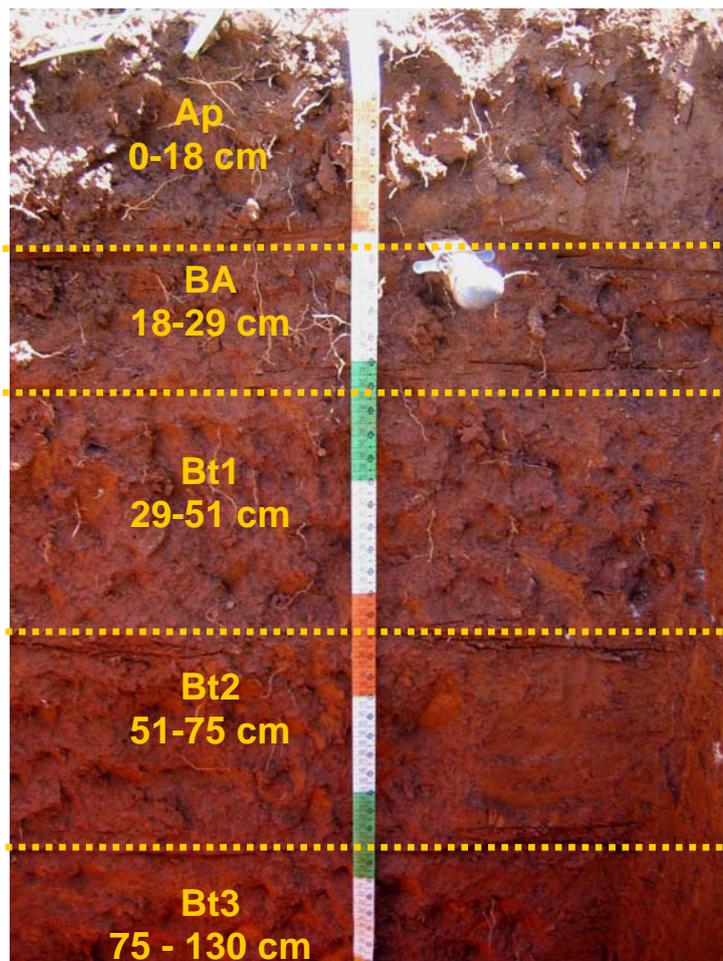


Figura 10 – Vista do perfil de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO na unidade experimental.

4.2.2.1 - Propriedades morfológicas

As propriedades morfológicas foram identificadas através de um perfil aberto em trincheira, descrito e coletado segundo as Normas e Critérios contidos no Manual de Descrição e Coleta de Dados no Campo (LEMOS et al. 1996). Na descrição, foram considerados os seguintes parâmetros: espessura, nomenclatura, forma e transição entre os horizontes do perfil; cor em seco e em úmido, de acordo com padrões da Carta de Munsell; textura; estrutura, quanto ao tamanho, forma e grau de desenvolvimento; consistência, quando em seco, em úmido e molhado; presença ou ausência de cerosidade, cimentação ou outras características identificadas; presença ou não de raízes, quanto a quantidade e diâmetro.

Aspectos dos solos dos horizontes do perfil completo empregado na descrição morfológica realizada podem ser vistos na figura 10a , apresentada a seguir.



Figura 10a – Amostras dos horizontes do solo para determinação da cor. A partir da esquerda, profundidades de 0-18; 18-29; 29-51; 51-75; 75-130 e 220-240 cm.

4.2.2.2 - Propriedades químicas

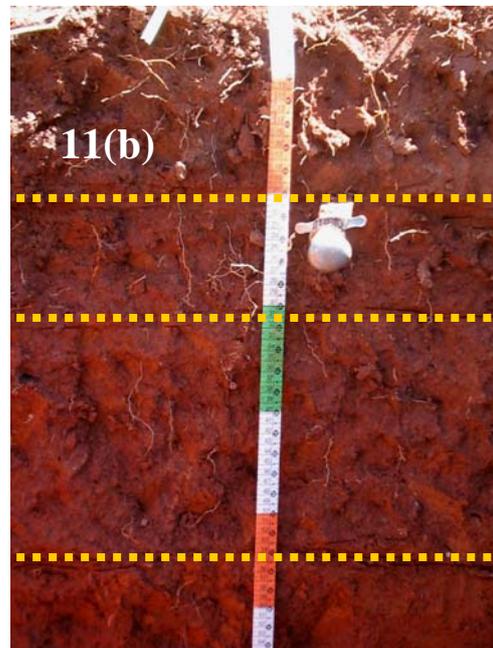
As determinações químicas realizadas foram: pH em água e em solução de KCl 1 N; solução; Acidez potencial (H+Al); Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} determinados por espectrometria de absorção atômica; K e P foram extraídos pelo extrator de Mehlich; a soma de bases (Valor S), a capacidade de troca catiônica total (Valor T) e efetiva, a saturação por bases (Valor V) e a saturação por Al^{3+} ; o carbono e o nitrogênio total foram determinados pelo analisador de elementos; matéria orgânica leve foi separada por densimetria e determinados o peso e o teor de carbono e nitrogênio desta fração pelo analisador de elementos; os teores de carbono solúvel em água foram determinados por colorimetria; as substâncias húmicas foram extraídas por NaOH 0,1 mol L⁻¹ conforme o Manual de Métodos de Análises de Solos (EMBRAPA, 1997).

4.2.2.3 - Propriedades físicas

As determinações físicas realizadas foram: a análise granulométrica - método do densímetro; Densidade do solo (d_s) - método do anel volumétrico; Densidade das partículas (d_p) - método do balão volumétrico; todos descritos no Manual de Métodos de Análises de Solos (EMBRAPA, 1997). Detalhe da coleta de solo através de amostras indeformadas pode ser visto na figura 11 (a) e (b).

4.3 - Caracterização físico-hídrico

As determinações físico-hídricas foram realizadas através da coleta de amostras indeformadas, com cilindro de Uhland, figura 11 (a), para cada horizonte de solo identificado, figura 11 (b) e constaram das seguintes determinações: Microporosidade - aplicação de uma tensão de 0,006 MPa no aparelho extrator de Richards; Condutividade hidráulica - método do permeâmetro de carga constante; todos descritos no Manual de Métodos de Análises de Solos (EMBRAPA, 1997).



Figuras 11 (a) e (b) – Detalhe da coleta de amostra indeformada e da divisão de horizontes no perfil do solo.

4.3.1 - Obtenção da curva de retenção de umidade

As determinações para a obtenção das curvas de umidade foram realizadas através da coleta de amostras indeformadas (cilindro de Uhland) e constaram da aplicação das tensões de 0,01, 0,033, 0,1, 0,5, 1 e 1,5 MPa conforme descrito no Manual de Métodos de Análises de Solos (EMBRAPA, 1997).

4.3.2 - Mensuração da condutividade hidráulica de laboratório

A obtenção da condutividade hidráulica de laboratório foi realizada através de amostras indeformadas (cilindro de Uhland) conforme descrito no Manual de Métodos de Análises de Solos (EMBRAPA, 1997).

4.3.3 - Condutividade hidráulica do solo “in situ”

A condutividade hidráulica do solo é o parâmetro que representa a facilidade com que o solo transmite água. O seu valor máximo é atingido quando o solo se encontra saturado e é denominado de condutividade hidráulica saturada (K_{sat}), sendo, portanto a velocidade com que a água percola no interior de um solo saturado. Este parâmetro é fortemente dependente do tamanho e da interconexões dos poros, dentre outros fatores.

Na medição deste parâmetro foi utilizado o Permeâmetro de Guelph Modificado (VIEIRA, 1998). Este equipamento mede a condutividade hidráulica saturada no campo e a infiltração tridimensional e funciona pelo princípio de Mariotte, fornecendo água sob carga constante a orifício feito no solo.

A equação utilizada no cálculo da permeabilidade foi resolvida pela aplicação de duas cargas hidráulicas distintas, com 5 e 10 centímetros, com o intuito de se obter as duas equações e montar-se um sistema de equações, o qual foi solucionado, sendo que Q é o fluxo constante, H é a carga hidráulica, C é um fator de geometria, e a é o raio do orifício.

Os cálculos foram realizados com a utilização de um programa de computador escrito na linguagem FORTRAN.

$$Q = \left(\frac{2x\pi x H^2}{C} + \pi x a^2 \right) x K_{fs} + \left(\frac{2x\pi x H}{C} \right) x \phi_m \quad \text{Equação 4}$$

Foram realizados 9 testes, sendo 3 em cada tratamento (Plantio Convencional, Cultivo Mínimo e Plantio Direto), à profundidade de 10 cm e 5 cm, com raio de 6cm, nas entrelinhas de plantio, área, potencialmente, de maior impacto no solo pelo manejo do sistema de produção – caminhamento de adubação e práticas fitossanitárias.

As figuras 12 (a) e (b) apresentadas exemplificam o furo de trado e as duas cargas (5 e 10 cm) utilizadas na realização dos testes de Condutividade Hidráulica utilizando o Guelph modificado.



Figura 12 (a) e (b) – Detalhe do furo de trado utilizado para realização dos testes de condutividade hidráulica – (a) Mostra a carga hidráulica de 5 cm, enquanto (b) a carga hidráulica foi de 10 cm.

4.3.4 - Mensuração da infiltração do solo

Na mensuração da infiltração do solo foi empregado o Permeômetro de Guelph Modificado (VIEIRA, 1998), em conjunto com a mensuração da permeabilidade e condutividade hidráulica saturada.

A infiltração saturada tridimensional foi calculada usando-se a relação entre o Volume de Água Infiltrada – V (litros) e a Área Molhada do Orifício (m²) pela taxa constante e a geometria do orifício. O resultado da infiltração foi obtido pela seguinte equação,

$$I = 60 \left(\frac{D_p^2}{D_o^2 + 4D_o H_2} \right) Q \quad \text{Equação 5}$$

onde: I é a infiltração (mm/h), e Q é a taxa constante (mm/min). Os cálculos foram realizados com a utilização de um programa de computador em FORTRAN.

A figura 13 (a) e (b) a seguir mostram detalhes da realização das determinações realizadas em campo com o “Permeâmetro de Guelph Modificado”.



Figura 13 (a) e (b) – Detalhes do “Permeâmetro de Guelph Modificado” no teste em execução (a) e Vista Geral do Permeâmetro no local dos testes (b).

4.4 - Sistemas de produção

Este item, dividido em quatro subitens, aspectos gerais do sistema de produção, sistema de plantio convencional, sistema de cultivo mínimo e sistema de plantio direto. Esses sistemas foram definidos a partir de estudos de bibliografias recentes, da troca de experiências com os técnicos da EMATER-RIO, escritório local de São José do Ubá, e através de discussões com os produtores de São José do Ubá, de maneira que, os sistemas de produção, fossem exeqüíveis, tanto nos quesitos propostos por esta pesquisa, quanto na sua capacidade de serem replicados em sistemas de produção comercial de larga escala.

4.4.1 - Aspectos gerais do sistema de produção

A área selecionada para implantação das unidades experimentais encontrava-se em pousio, ou seja, sem o cultivo de lavouras anuais, por dez anos. O uso antecedente era com pastagem plantada de *brachiaria* sp. Após a identificação da área, foi coletada uma amostra composta de solo para avaliação e correção dos níveis de fertilidade.

Posterior a esta operação foi realizada a correção do solo com base nas análises de fertilidade realizadas. Essa correção empregou o conceito de elevar a saturação por bases a 80%. Para tal, utilizou-se o produto comercial “Minercal”, um calcáreo dolomítico de PRNT superior a 80%.

As curvas de nível foram demarcadas utilizando-se um nível ótico (figura 14). Na construção dos terraços empregou-se parrelhas de boi puxando um arado de aiveca (figura 15), efetuando-se quatro cortes, dois em cada sentido. Na seqüência, foram realizadas as operações de preparo do solo, as quais consistiram de uma aração e uma gradagem, todas realizadas com o emprego de tração animal, respeitando-se as curvas de nível demarcadas e os terraços confeccionados.



Figura 14 – Marcação das curvas de nível e dos terraços.

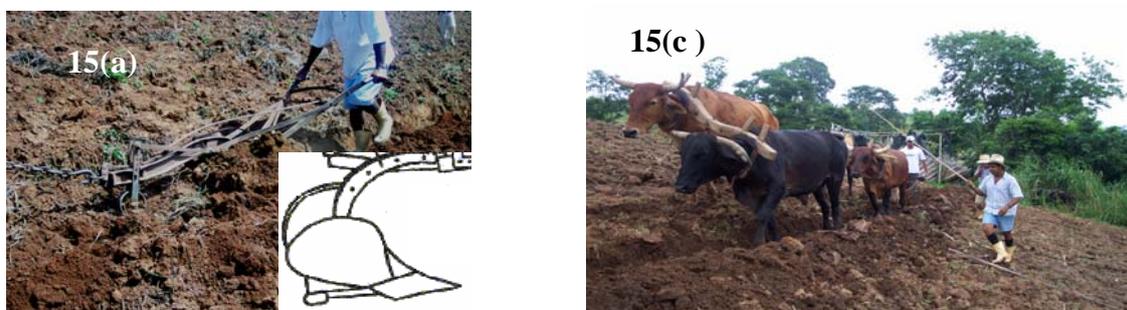


Figura 15(a), (b) e (c) – Arado de aiveca sendo conduzido por trabalhador rural (a); Desenho do arado de aiveca – implemento capaz de revolver a camada superficial do solo (b); construção do terraço com a junta de boi e arado de aiveca (c).

Após esta operação, que teve como objetivos eliminar a pastagem de gramíneas e incorporar o corretivo do solo, foi feito o plantio da lavoura de primavera – verão, tradicional na região com a cultura de milho. Até esta operação, todas as três parcelas experimentais tiveram o mesmo tratamento, ou seja, uma aração e uma gradagem.

A cultivar de tomate utilizado foi o “Débora Max”, cultivar do grupo Santa Cruz, tipo “Longa-Vida Estrutural” com frutos de peso médio, variando de 130 e 140 gramas. O espaçamento da cultura foi de 0,80 m entre plantas e de 1,20 m entre linhas de plantio, conduzidas verticalmente, com duas hastes e amarradas com fitilho. Na figura 16 apresentada a seguir alguns exemplos de cultivares de tomate de mesa usado na região.



Figura 16 - Alguns cultivares de tomate de mesa plantado na região.

As mudas foram produzidas por produtor de muda local em estufas pelo sistema de tubetes. O Sistema de espaldar (figura 17) empregou estacas de eucalipto tratado, com 2,50 metros de comprimento e diâmetro de 15 – 18 centímetros nas cabeceiras. No interior das linhas, espaçados de 4 em 4 metros, como apoio ao arame do sistema de espaldar, foram empregadas estacas com 2,20 metros de comprimento e diâmetro de 10 a 12 centímetros. O arame usado na montagem do espaldar foi de 14 milímetros.



Figura 17 - Detalhe da montagem do sistema de espaldar utilizando hastes de eucalipto tratado.

O manejo fitossanitário das unidades de pesquisa participativa e demonstrativa foi realizado exclusivamente com base nos preceitos do produtor, que conduziu a unidade

experimental, face, a elevada suscetibilidade da lavoura de tomate a pragas e doenças. Aspectos práticos do manejo fitossanitário realizado nas unidades experimentais podem ser mais bem observados na figura 18 (a), (b) e (c) apresentada a seguir.



Figura 18 - Produtor vestido com equipamento de proteção individual (a), equipamento para pressurização de defensivos (b), pressão de serviço – perto de 160 psi, (c).

O sistema de adubação utilizado nesta pesquisa baseou-se em bibliografias, na troca de experiências com os técnicos da Embrapa Hortaliças, Embrapa Solos, EMATER-RIO, escritório local de São José do Ubá, da troca de idéias com agrônomos de fabricantes de adubos minerais e através de discussões com os produtores de São José do Ubá.

A adubação fosfatada foi realizada manualmente direto na cova, como pode ser visto na figura 19 a seguir.



Figura 19 – Detalhe da aplicação de adubação de base, adubação fosfática (a) e do adubo no fundo da cova realizada na área de cultivo mínimo (b).

Os sistemas de produção avaliados foram baseados nas diferentes práticas de preparo, os quais, que serão diferenciados nos itens a seguir, podendo ser mais bem visualizadas na tabela 2, apresentada abaixo.

Tabela 2 - Resumo das operações dos sistemas de produção.

Operações	Plantio Direto	Cultivo Mínimo	Cultivo Convencional
Curva de Nível e Terraço	SIM	SIM	SIM
Aração 1 - Junta de Boi	SIM	SIM	SIM
Gradagem 1 - Junta de Boi	SIM	SIM	SIM
Correção do Solo – Valor V	SIM	SIM	SIM
Plantio Milho em Nível	SIM	SIM	SIM
Plantio de Leguminosas	SIM	NÃO	NÃO
Colheita do Milho	SIM	SIM	SIM
Dessecamento da Palhada	SIM	NÃO	NÃO
Restos Culturais para Gado	NÃO	NÃO	SIM
Aração 2 - Junta de Boi	NÃO	SIM	SIM
Gradagem 2 - Junta de Boi	NÃO	SIM	SIM
Aração 3 - Junta de Boi	NÃO	NÃO	SIM
Gradagem 3 - Junta de Boi	NÃO	NÃO	SIM
Coveamento	NÃO	SIM	SIM
Adubação de Base	SIM	SIM	SIM
Transplântio	SIM	SIM	SIM
Construção Espaldar	SIM	SIM	SIM
Cobertura com Palhada	NÃO (natural)	SIM	NÃO
Adubação de Condução	SIM	SIM	SIM
Amarrio com Fitolho	SIM	SIM	SIM
Gotejamento	SIM	NÃO	NÃO
Mangueirão	NÃO	SIM	SIM
Manejo Fitossanitário	SIM	SIM	SIM
Manejo Integrado Pragas	NÃO	NÃO	NÃO
Manejo Integrado Doenças	NÃO	NÃO	NÃO
Ensacamento do Fruto	NÃO	NÃO	NÃO
Colheita	SIM	SIM	SIM

4.4.2 - Sistema de produção em plantio convencional

O sistema convencional representa o sistema de produção da região, em especial quanto ao preparo do solo, ao plantio em “covões”, que consiste de bacias de 0,20 metros de diâmetro, e 0,15 metros de profundidade, no interior da qual são transplantadas as mudas de tomate e o sistema de irrigação, o qual é realizado através de mangueiras, sem qualquer tipo de monitoramento.

Este sistema de preparo do solo consistiu de duas operações de aração e de duas operações de gradagem. A primeira realizada anterior ao plantio de primavera-verão, e a segunda, posterior a colheita da cultura de verão e imediatamente anterior ao coveamento da área para transplântio das mudas.

O sistema de irrigação, na realidade, uma “molhação”, consiste na colocação de água nos “covões”, ou seja, nas bacias, onde estão plantadas as mudas de tomate que são “afogadas” com água de suprimento da irrigação.

É importante ressaltar que o sistema convencional “stricto sensu”, ou seja, o mais arcaico, ainda muito utilizado na região, ainda considera o uso de tração mecânica, em preparo morro abaixo, face à declividade das terras da região e plantio da lavoura por condução cruzada com varas de bambu, em espaçamento de no máximo 0,60 metros entre plantas e 1,0 metro entre linhas. Por questões lógicas, consolidadas na literatura, não foram consideradas nesta unidade experimental estas técnicas de preparo do solo. Desta forma, o sistema convencional avaliado considera o preparo do solo com tração animal, em curvas de nível, e a condução das plantas com o uso de espaldar e fitilho, porém, sem a cobertura posterior do solo com palhada de arroz.

Detalhe do manejo da água deste sistema pode ser visto na figura 20 (a) e (b) apresentada a seguir.



Figura 20 – Detalhe da aplicação de irrigação por mangueirão (a) e do aspecto da aplicação em forma de jato no mesmo sistema de irrigação por mangueirão (b)

4.4.3 - Sistema de produção em cultivo mínimo

O sistema em cultivo mínimo buscou representar uma alternativa intermediária entre o sistema de produção empregado pelos agricultores da região, em especial quanto ao sistema de preparo do solo e ao modelo de plantio em “covões”, com irrigação – “molhação” - já descrita anteriormente, além do uso de cobertura morta nas entrelinhas da lavoura.

Neste sistema de produção, o preparo do solo, incluiu apenas uma operação de aração e uma operação de gradagem, ambas realizadas anteriormente ao plantio de primavera-verão, com tração animal e respeitando as curvas de nível do terreno.

O sistema de irrigação empregado foi igual ao da parcela de plantio convencional, o qual consiste em uma “molhação”, através da colocação de água nas bacias, onde estão plantadas as mudas de tomate.

Nesta parcela, o sistema empregado, assim como nas demais, também utilizou a condução das plantas com o uso de espaldar e fitilho, porém, outro fator que o distingue do sistema convencional é o emprego de cobertura do solo com o emprego de palha de arroz.



Figura 21 - Detalhe da inspeção do sistema de espaldar na área de produção no sistema de cultivo mínimo – Prof. Dr. Nelson Fernandes e Dr. José Ronaldo Macedo.

4.4.4 - Sistema de produção em plantio direto

Após cerca de 45 dias da germinação da cultura de primavera – verão, neste experimento, a lavoura de milho, foram plantadas as culturas de leguminosas. As leguminosas empregadas foram o feijão de porco e a mucuna, com o objetivo de realizar uma adubação verde, para aumento do teor de carbono orgânico nas camadas superficiais e de funcionar como palhada no sistema de plantio direto. No período adequado, cerca de 150 dias de plantio, a lavoura de milho foi quebrada e posteriormente colhida. Os restos culturais foram roçados manualmente e dessecados pelo emprego de herbicidas.

O Sistema de Irrigação empregado consistiu no sistema de gotejamento, através de tubos de 16 mm, com gotejadores inseridos, espaçados de 0,40 metros entre si, e vazão de 2,5 litros/hora, constituindo-se no conceito de irrigação por faixa contínua. O sistema implantado buscou utilizar os equipamentos pré-existentes, já empregados, normalmente, pelos agricultores da região, como conjunto moto bomba, válvulas de sucção e tubulação

de adução. A estes itens, após estudos de perda de carga, foram acrescentados apenas o sistema de filtragem, registros, as conexões adicionais e a tubulação com os gotejadores inseridos, além é claro, da substituição das juntas de vedação para eliminação dos vazamentos existentes. Detalhes deste sistema podem ser vistos nas figuras 22 e 23 apresentadas a seguir.



Figura 22 - Detalhe do sistema de bombeamento e dos tanques de fertirrigação.



Figura 23 - Detalhe da mangueira do sistema de irrigação por gotejamento com gotejador inserido.

4.5 - Monitoramento da temperatura do ar e das chuvas

No monitoramento da temperatura do ar e das chuvas foi instalado no topo das unidades experimentais, um termoplúviógrafo, programado para registrar dados com a frequência de 15 minutos. Os dados deste equipamento eram descarregados quinzenalmente com o uso de um computador pessoal portátil através do uso de programa de computador dedicado, ligado através de um cabo serial.

Os dados foram utilizados no entendimento da distribuição e representatividade das chuvas. O monitoramento das chuvas foi realizado através dos dados do termoplúviógrafo, possibilitando avaliar a resposta da variação do potencial matricial, do potencial total e indiretamente da umidade aos eventos de precipitação total. Tais respostas foram monitoradas antes, durante e após cada evento pluviométrico. Os dados obtidos foram trabalhados para a mensuração do potencial matricial, a quantidade da chuva foi analisada de quinze em quinze minutos, obtendo-se a intensidade.

O equipamento empregado no monitoramento da temperatura do ar e das chuvas pode ser visto na figura 24 apresentada abaixo.

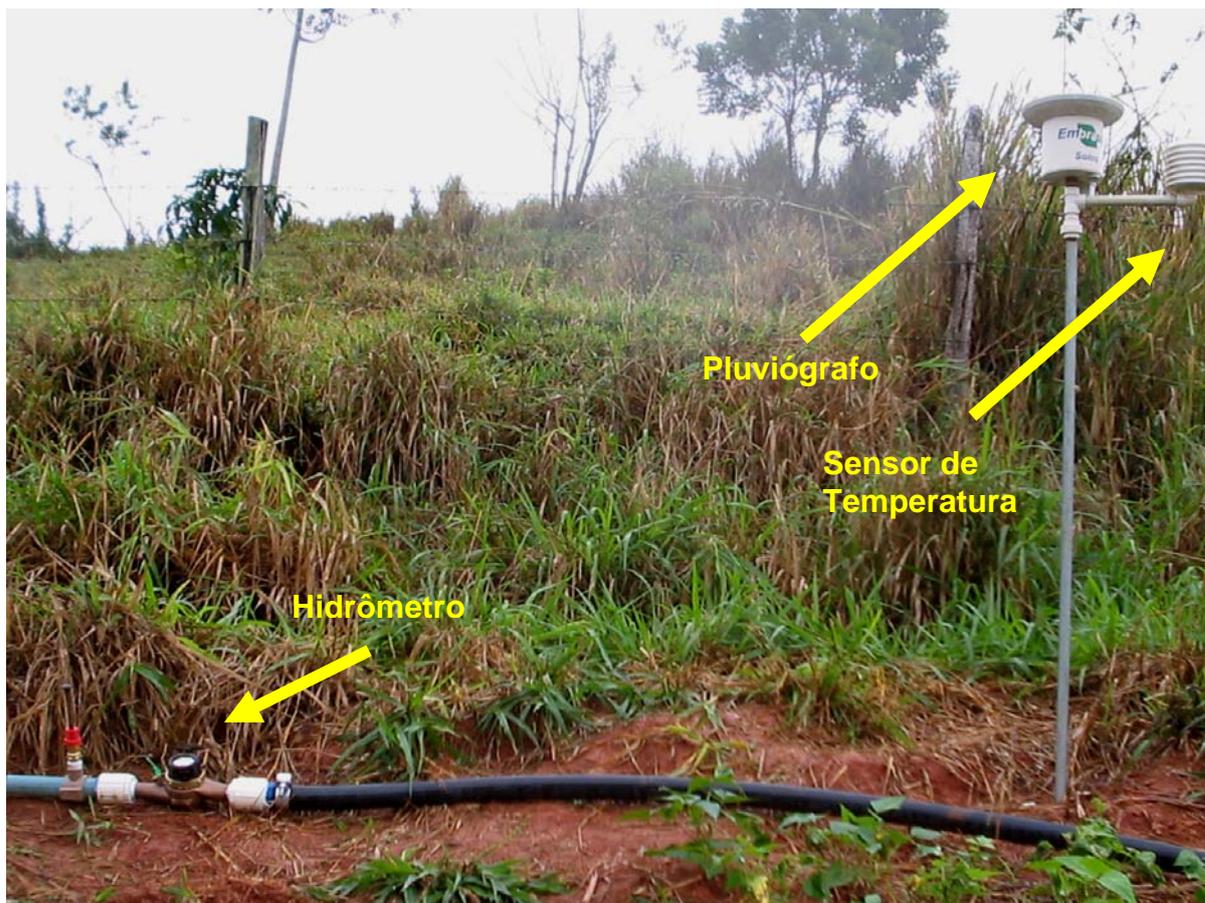


Figura 24 - Detalhe do termopluviógrafo instalado na área experimental.

4.6 - Monitoramento da temperatura do solo

Para o monitoramento da temperatura do solo, utilizado na correção das leituras do sensor de matriz granular (SHOCK, 1998 e 2003; SHOCK et al., 2003), empregou-se o Geotermômetro GULTERM 180, fabricado pela Gulterm. Nas unidades experimentais foram instaladas três baterias de Geotermômetros, uma em cada parcela de sistema de produção avaliado, nas profundidades de 20, 40 e 60 centímetros.

Os valores de temperatura do solo foram obtidos diariamente, durante todo o ciclo da lavoura de tomate, em horários similares aos horários de leitura dos instrumentos. Por intermédio desses dados, realizou-se uma calibração das leituras realizadas nos GMS's instalados nas parcelas de manejo.

Detalhes dos geotermômetros instalados podem ser visualizados na figura 25 apresentada a seguir.



Figura 25 - Geotermômetros instalados para monitoramento da temperatura do solo

4.7 - Monitoramento da irrigação

O manejo da irrigação considerou a leitura dos valores dos sensores de matriz granular também conhecidos como “GMS”; as leituras de precipitação pluviométrica obtida no termopluviógrafo, através do tempo, em minutos, marcado em relógios convencionais; e através da leitura dos hidrômetros instalados no campo.

A figura 26 mostra o hidrômetro empregado na medição dos volumes de água aplicados nos sistemas de irrigação dos sistemas de produção, cultivo convencional e cultivo mínimo, com sistema de molhação por mangueirão e sistema de produção de plantio direto com sistema de gotejamento.



Figura 26 – Hidrômetro utilizado para registro dos volumes de água aplicados.

4.8 - Monitoramento do potencial da água do solo

Com o intuito de avaliar o comportamento hidrológico nos diferentes sistemas de produção foram instaladas 15 baterias de sensores de matriz granular – GMS - (SHOCK, 1998 e 2003; SHOCK et al., 2003), totalizando 60 sensores, distribuídas em 05 baterias por cada sistema (SC, CM e PD), todas instaladas nas linhas de plantio.

Das 5 baterias instaladas em cada Sistema de Produção, 3 baterias foram instaladas na área da cova, ou muito próximas ao local de transplântio, e 2 entre plantas, com o objetivo de monitorar o caminamento lateral da água.

As baterias de GMS's foram dispostas perpendicularmente ao declive principal, acompanhando as linhas de plantio, e conseqüentemente, as curvas de nível do terreno. Na Figura 27 pode-se observar em detalhe a localização e posicionamento dos sensores instalados nos três sistemas de produção.



Figura 27 – localização dos sensores GMS, termopluviógrafo e linha principal de adução do sistema de irrigação.

Os sensores foram instalados nas profundidades de 20, 40, 60 e 80 centímetros, monitorados através de três leituras diárias (7, 12 e 17h.). As profundidades de instalação dos sensores obedeceram aos seguintes princípios gerais: o conceito principal buscou que nenhum sensor estivesse instalado em profundidades de transição entre horizontes dos perfis de solo descritos na área das parcelas experimentais, nos princípios de desenvolvimento do sistema radicular da cultura do tomate e nas profundidades de influência do manejo do solo.

- Profundidade A – 20 cm

Camada superficial, maior concentração de matéria orgânica e atividade biológica;

Camada de maior concentração do sistema radicular da cultura;

Camada de maior alteração de propriedades físicas e morfológicas por influência do sistema de manejo do solo;

Camada de maior concentração de macroporos; e

Camada de maior efeito de drenagem na matriz do solo.

- Profundidade B – 40 cm

Camada de pleno desenvolvimento do sistema radicular da cultura; e

Camada de pouca influência do sistema de manejo do solo.

- Profundidade C – 60 cm

Camada limite de desenvolvimento do sistema radicular da cultura;

Camada a partir da qual não ocorre influência do sistema de manejo do solo; e

Camada limite de monitoramento de água disponível para as plantas.

- Profundidade C – 80 cm

Camada com total ausência do sistema radicular da cultura; e

Camada que indica a água disponível para recarga das camadas subterrâneas.

De acordo com os procedimentos do manual de uso, preliminarmente ao seu uso, os sensores de matriz granular, foram saturados com água, através da imersão por 24 horas, secagem, por pelo menos 72 horas, à sombra, em temperatura ambiente. Este procedimento foi repetido duas vezes, com o objetivo de acelerar as respostas no campo e de avaliar o funcionamento dos sensores e equipamento leitor.

Os dados obtidos através dos GMS's possibilitaram a caracterização do potencial matricial da água no solo, bem como o seu direcionamento (SHOCK, 1998 e 2003; SHOCK et al., 2003). O sistema de leitura empregou um sistema manual; o sensor e a instalação dos mesmos podem ser visualizados na figura 28 (a) e (b).

Pretendeu-se caracterizar a distribuição espacial do potencial matricial diariamente, tanto para os períodos de maior umidade, quanto para os de estiagem, possibilitando uma avaliação da resposta do potencial matricial aos totais de chuva.



Figura 28 - Detalhe do sensor “GMS” e do local de instalação.

4.9 - Monitoramento da qualidade da água de irrigação

A água de irrigação foi monitorada durante o ciclo da lavoura, avaliadas através do equipamento Horiba. Os parâmetros avaliados foram: temperatura, pH, turbidez e salinidade.

4.10 - Monitoramento da produção

O monitoramento da produção foi realizado para cada um dos três sistemas de manejo, Plantio Direto, Cultivo Mínimo e Sistema de Produção Convencional. Em cada um dos sistemas foram delimitadas 8 sub-parcelas, no sentido na linha de plantio, formada por duas linhas, com bordadura de 4 linhas.

Em cada uma das sub-parcelas foram avaliadas 25 plantas, e a produção foi monitorada por caixas produzidas, discretizada em unidades de 0,25 de caixa, uma vez que, esta é a unidade prática de medida empregada pelos produtores da região.

A totalização era realizada por linha de plantio, por sub-parcela, por colheita, e por sistema de produção. A delimitação das sub-parcelas de monitoramento da produção, os resultados obtidos e o plano amostral podem ser vistos na figura 29 (a), (b) e (c).



Figura 29 - Parcelas de monitoramento da produção (a) e o resultado da produção obtida (b).

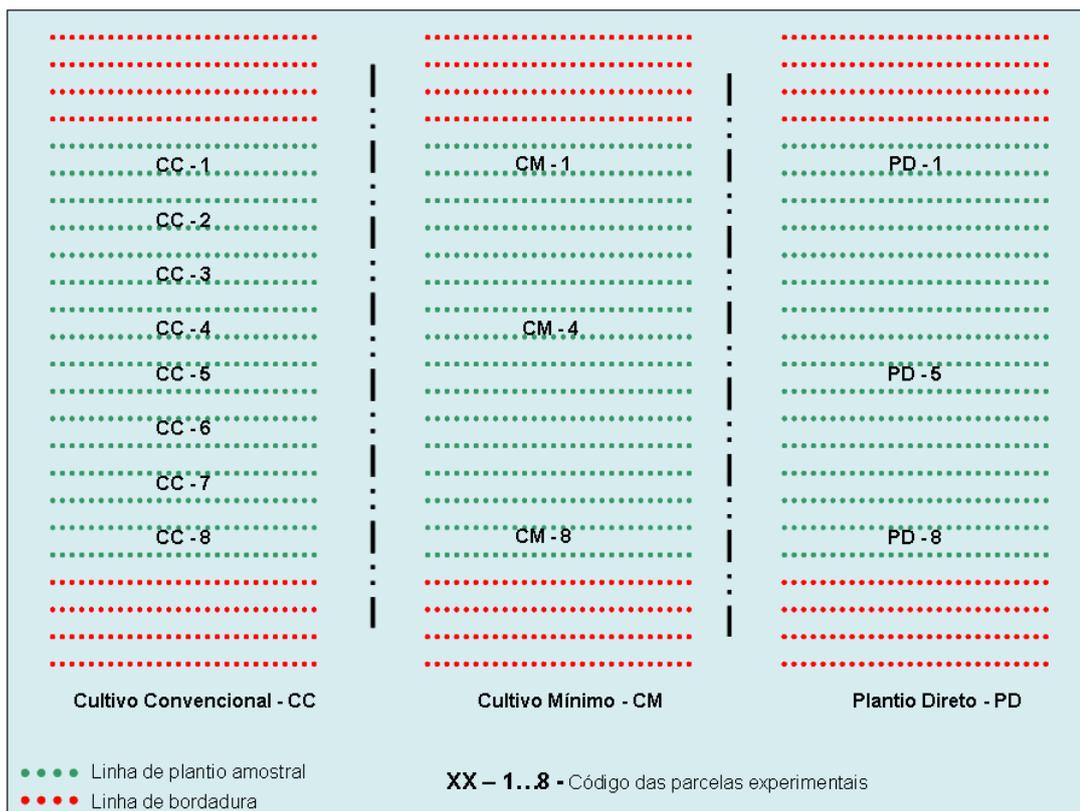


Figura 29 (C) - Plano amostral com as parcelas de monitoramento da produção.

4.11 - Avaliação do desenvolvimento do sistema radicular

A análise do sistema radicular foi realizada através do registro fotográfico digital (figura 30) de acordo com metodologia proposta por CRESTANA et al. (2004). Nesse monitoramento foram abertos 2 perfis em trincheiras para cada Sistema de Produção, com 4 fotografias coloridas obtidas a partir de câmaras digitais de resolução espacial de 4,2 megapixels, das quais 3 foram utilizadas como repetições.

Posteriormente, estas imagens foram recortadas e amostradas para intervalos regulares o que corresponde a 0-50 cm; 0-10 cm; 10-30cm e 30-50 cm, nos quais a área ocupada pelas raízes foi quantificada pelo software de tratamento de imagens ENVI, através de classificação supervisionada por maxiverossemelhança.

Todavia, é importante citar que para cada uma das profundidades tratadas, 0-50 cm; 0-10 cm; 10-30cm e 30-50 cm, houve a reamostragem para seleção, identificação de alvos e nova classificação.



Figura 30 - Detalhe do desenvolvimento do sistema radicular.

4.12 - Tratamento estatístico dos dados

O arranjo experimental constitui-se na análise de variância, baseado num Fatorial 3 X 4, Inteiramente Casualizado; com 3 repetições para a água no solo, 8 repetições para a produção, 3 repetições para o estudo do desenvolvimento do sistema radicular e 4 repetições para o estudo das propriedades físicas e físico hídricas. Inicialmente foi aplicado o teste F para avaliar a homogeneidade dos erros entre os tratamentos e, posteriormente, os dados foi submetida ao teste de médias t-student por grupos, através do Sistema de Análise Estatística STATISTICA versão 6.0. A tabela 3 apresenta o resumo da análise de variância adotada.

a) Preparo do Solo – 1- Convencional + Mangueirão;

2 - Cultivo Mínimo + Mangueirão; e

3- Plantio Direto + Gotejamento.

b) Monitoramento de Água às Profundidades de 20, 40, 60 e 80 centímetros.

c) Monitoramento da produção, 8 sub-parcelas por tratamento.

d) Monitoramento do Sistema Radicular; nas profundidades de 0-50 cm; 0-10 cm; 10-30 cm; e 30-50cm.

e) Propriedades Físicas e Físico-Hídricas, 4 repetições em três profundidades em função do desenvolvimento pedogenético.

Tabela 3 : Resumo da análise de variância empregada no tratamento estatístico

<i>Fontes de Variação</i>	<i>GL</i>	<i>GL Raiz (2 rep)</i>	<i>GL PROD.</i>
Total (3 prep. x 4 prof. X 3 rep.)	35	17	23
Tratamentos	(11)	(8)	2
Preparo do Solo (a)	2	2	2
Profundidade (b)	3	2	
Preparo X Profundidade (a x b)	6	4	
Erro	13	9	21

5. Resultados e discussões

Os resultados obtidos serão apresentados e discutidos em cinco subitens: a) caracterização da unidade experimental; b) caracterização das propriedades físicas e físico-hídricas; c) análise da influência do sistema de produção na temperatura do solo e no desenvolvimento do sistema radicular da cultura e d) análise do comportamento hidrológico nos diferentes sistemas de manejo. Por fim, serão avaliadas as influências do manejo do solo e da irrigação na hidrologia dos solos e na produtividade da lavoura.

5.1 Caracterização planialtimétrica da unidade experimental

A unidade experimental foi implantada na Microbacia do Barro Branco, bacia do rio São Domingos, município de São José do Ubá no estado do Rio de Janeiro, face à sua representatividade de solos, declividade e posição na paisagem com relação às áreas cultivadas com tomate no município e na região noroeste fluminense.

A declividade da unidade experimental se encontra no limite entre duas classes de declividade, ondulada e forte ondulada, com 20% de declividade. A figura 31 apresenta o resultado do modelo de declividade e o modelo digital de elevação da área da unidade experimental.

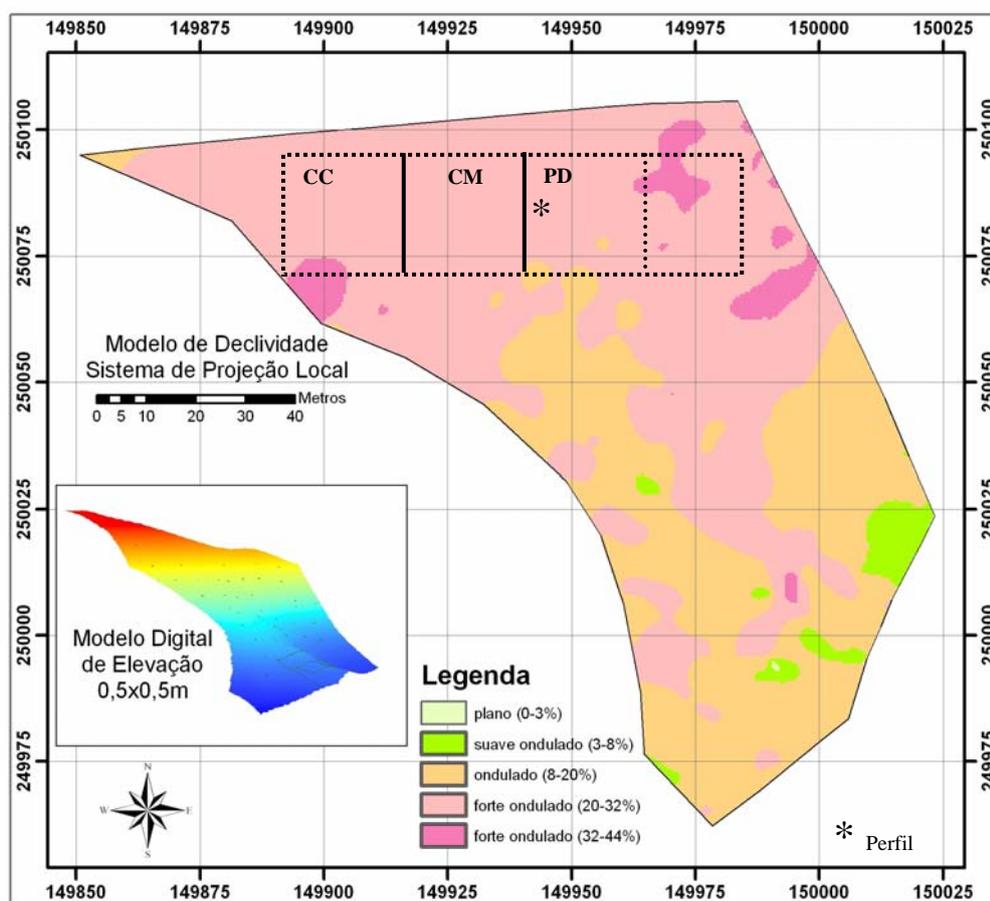


Figura 31 – Modelo de declividade e digital de elevação da unidade experimental.

5.2 - Características morfológica, físico e químico da unidade experimental

A classificação, a descrição morfológica do perfil, figura 10, e os resultados das determinações físicas e químicas do perfil representativo, coletado no interior da unidade experimental são apresentados nas tabelas 4 e 5 a seguir.

Tabela 4 - Descrição morfológica do perfil representativo.

Classificação: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico, textura argilosa, A moderado, fase relevo ondulado	PERFIL No: 01
Localização, Município e coordenadas: Ferreira – São José Ubá, RJ. UTM 190898/7633732 - 24k	
Situação, Declive e Cobertura Vegetal: Terço Superior Elevação, 20%, pastagem/ milho	
Altitude: 198 metros.	Clima: Aw Köppen
Litologia e Formação geológica: Granulitos – Formação São José do Ubá	
Material Originário: Intemperismo do material supracitado	
Pedregosidade: Não pedregoso e não rochoso.	
Relevo Local: Ondulado	Relevo Regional: Ondulado/Forte Ondulado
Erosão: Ligeira laminar, concentrada a direita da unidade experimental.	
Drenagem: Bem drenado.	
Vegetação Primária: Floresta Tropical Subcaducifólia	
Uso Atual: Cultivo de milho – Feijão de Porco e Mucuna	
Descrito e Coletado: Silvio Bhering; César Chagas; José Ronaldo; Andréa Souza	Data: 23/03/2005

Horizonte	Descrição Morfológica
Ap	0-18cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4); argilo arenosa; moderada a forte, pequena, blocos subangulares; firme; plástica e pegajosa; transição plana e clara.
BA	18-29cm; bruno-avermelhado-escuro (3,5YR 3/6); argilo arenosa; moderada, pequena/média, blocos subangulares; firme; plástica e pegajosa; transição plana e clara.
Bt1	29-51cm; vermelho-escuro (3,5YR 3/6); argilosa; moderada, pequena a média, blocos angulares; friável; muito plástica; pegajosa; cerosidade fraca/moderada, comuns; transição plana e gradual.
Bt2	51-75cm; vermelho-escuro (3,5YR 4/6); argilosa; moderada/fraca, pequena a média, blocos angulares; friável; muito plástica; pegajosa; transição plana e gradual.
Bt3	75-130+cm; vermelho-escuro (2,5YR 4/6); argilosa, moderada/fraca, média, blocos angulares que se desfaz em forte muito pequena granular; friável; muito plástica e pegajosa.
Poros	Comuns e pequenos/médios no Ap, BA e Bt1, comuns pequenos a muito pequenos no Bt2 e Bt3.
Raízes	Muitas/abundantes e finas/médias no Ap e BA, comuns e finas no Bt1 e Bt2, raras e finas no Bt3.

Observações: Perfil até 130 cm;

Tradagem até 2,50 – continua Bt.

Pouca quantidade de quartzo no perfil. Principalmente no BA e Bt1.

Tabela 5 - Resultados das determinações físicas e químicas.

Análises Físicas e Químicas														
Perfil: P01														
Amostras de Laboratório: 05.1310-1315														
Solo: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico, A moderado, textura argilosa,														
Horizonte		Frações da amostra total g/kg			Composição granulométrica da terra fina g/kg				Argila dispersa em água g/kg	Grau de flocculação %	Relação Silte/Argila	Densidade g/cm ³		Porosidade cm ³ /100cm ³
Símbolo	Profundidade cm	Calhaus > 20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia grossa 2-0,20 mm	Areia fina 0,20-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm				Solo	Partículas	
Ap	0-18	0	34	966	322	145	191	342	322	6	0,56	1,26	2,65	52,6
BA	18-29	0	29	971	302	121	214	363	0	100	0,59	1,57	2,68	41,4
Bt1	29-51	0	60	940	210	99	146	545	0	100	0,27	1,54	2,67	42,4
Bt2	51-75	0	0	1000	120	67	103	710	0	100	0,15	1,46	2,71	46,0
Bt3	75-130	0	0	1000	117	65	170	648	0	100	0,26	1,41	2,71	48,0
C	220-240	0	41	959	516	87	155	242	0	100	0,64			
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo Sorvivo cmol _c /kg								Valor V (sat. por bases) %	100.Al ³⁺ S + Al ³⁺ %	P assimilável mg/kg	
	Água	KCl 1N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H ⁺	Valor T				
Ap	5,2	5,1	2,2	1,2	0,06	0,02	3,5	0,1	3,0	6,6	53	3	1	
BA	5,1	5,1	1,7	0,8	0,04	0,01	2,5	0	2,6	5,1	49	0	1	
Bt1	5,5	5,7	2,0	0,9	0,02	0,01	2,9	0	2,3	5,2	56	0	1	
Bt2	5,3	5,9	0,5	0,7	0,02	0,01	1,2	0	1,5	2,7	44	0	1	
Bt3	5,0	5,8	0,8	1,1	0,01	0,01	1,9	0	2,0	3,9	49	0	2	
C	5,3	5,7	1,7	0,7	0,02	0,02	2,4	0	1,2	3,6	67	0	3	
Horizonte	C (orgânico) g/kg	N g/kg	C/N	Ataque sulfúrico g/kg						Relações Moleculares			Fe ₂ O ₃ livre g/kg	Equivalente de CaCO ₃ g/kg
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (Ki)	SiO ₂ /R ₂ O ₃ (Kr)	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃		
Ap	9,5		9											
BA	6,3		9											
Bt1	4,9		4											
Bt2	4,1		5											
Bt3	2,9													
C	1,3													
Horizonte	100.Na ⁺ T %	Pasta saturada		Sais solúveis cmol _c /kg						Constantes hídricas g/100g				
		C.E. do extrato mS/cm 25°C	Água %	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻ CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Umidade		Água disponível máxima	
											0,033 MPa	1,5 MPa		
Ap	0-18										25,8	18,6		
BA	18-29										31,1	24,8		
Bt1	29-51										32,5	26,7		
Bt2	51-75										41,7	36,3		
Bt3	75-130										42,2	36,9		
C	220-240													

Relação textural:

O solo da área da unidade experimental foi classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico, textura argilosa, A moderado, fase relevo ondulado, com declividade de 20%, limite para a classe de declividade, forte ondulado.

Com relação à textura, o solo da área experimental é argiloso, de boa fertilidade natural, bem drenado e espesso. Nas condições da unidade experimental, terço superior de elevação, representativa das áreas de exploração de tomate na região, apresenta alta suscetibilidade à erosão quando desprovido de cobertura vegetal. Identificou-se a ocorrência de erosão laminar ligeira em parte da unidade experimental, localizada, predominantemente, na porção onde foi implantado o tratamento de plantio direto.

Na área da unidade esse ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO apresenta cores limites para vermelho no matiz intergrade de 3,5 YR. A estrutura dominante é de desenvolvimento moderado a forte, em blocos subangulares nas camadas superficiais e blocos angulares nos horizontes diagnósticos Bt, com presença de cerosidade ao longo do horizonte Bt. A transição entre os horizontes é clara no horizonte superficial e gradual nos horizontes diagnósticos – Bt. O perfil descrito apresenta poros comuns, pequenos e médios até 50 cm de profundidade e muitas raízes finas e médias até 30 cm de profundidade.

As características físicas do solo da unidade experimental demonstram que a textura é argilosa desde a camada superficial até 130 cm de profundidade. Os teores de argila por kilograma de amostra variam de 342 a 710 gramas, na camada superficial e no horizonte Bt2 respectivamente. A densidade do solo varia de 1,26 a 1,57 g/cm³ de solo, com valor inferior no horizonte superficial Ap, valor explicado pelo elevado teor de matéria orgânica na amostra, representado por 9,5 gramas de carbono orgânico por 100 gramas de amostra. Resultados semelhantes para os ARGISSOLOS da bacia do rio São Domingos foram obtidos por LUMBRERAS et al. (2006).

A porosidade é sempre próxima a $50 \text{ cm}^3 / 100 \text{ gramas}$ de amostra e a densidade da partícula varia apenas de 2,65 a $2,71 \text{ g/cm}^3$. A relação silte/argila decresce com a profundidade, conforme aumentam os teores de argila no perfil do solo. A consistência em molhado varia de plástico a muito plástico e de pegajoso a muito pegajoso compatível com o aumento dos teores de argila em subsuperfície.

Com relação às suas características químicas, o perfil característico da unidade experimental apresenta soma de bases superior a $2,5 \text{ cmol/Kg}$, concentrada nos cátions cálcio e magnésio; valor T superior a 5 cmol/kg ; e saturação por bases superior a 50%, até 50 cm de profundidade. Nas camadas inferiores, até 130 cm de profundidade, esses valores decrescem, porém, sempre com valores satisfatórios para a agricultura.

De acordo com LUMBRERAS et. al. (2006), que citam as principais características dos ARGISSOLOS VERMELHO E VERMELHO-AMARELO da bacia do Rio São Domingos, o perfil descrito e coletado para unidade experimental é representativo da região.

5.3 - Características físicas e físico-hídricas das unidades experimentais

As propriedades físicas e morfológicas dos perfis do solo da área experimental são de grande relevância para a melhor compreensão do comportamento hidrológico do sistema de manejo avaliado. Esses dados e determinações foram obtidos a partir de coletas realizadas em perfis abertos em trincheiras. A seguir, serão apresentados os resultados de características físicas e físico-hídricas das unidades experimentais.

5.3.1 - Granulometria

Com relação aos aspectos morfológicos, todos os 12 perfis descritos e coletados em trincheiras apresentaram seqüência de horizontes Ap, BA ou AB e Bt. A estrutura identificada variou de moderada a forte, com relação ao seu grau de desenvolvimento, de

pequena a média, com relação ao tamanho e normalmente em blocos subangulares, na camada superficial, e blocos angulares no horizonte Bt. A classe de textura variou de franco argilo arenosa a argilosa em superfície, no horizonte Ap, até argilosa em subsuperfície no horizonte Bt. A cerosidade tem ocorrência comum nestes perfis.

Como no perfil de solo característico da área experimental, os demais 12 perfis descritos e coletados foram classificados como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO eutrófico, típico, A moderado, textura argilosa, ocorrendo em fase de relevo ondulado, com declividade média de 20%. A vegetação original da área é de floresta tropical subcaducifolia e o uso antecedente da área era de pastagem de *brachiaria*.

A seguir, na tabela 6 pode-se verificar a composição granulométrica média e o desvio padrão para todas as profundidades para os diferentes sistemas de produção.

Tabela 6 – Média e desvio padrão da composição granulométrica da unidade de pesquisa experimental nas três profundidades analisadas (Ap, BA, e Bt).

Sistema de Produção	Horizonte	Composição Granulométrica Média – Desvio Padrão (g/kg)			
		Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
Plantio Direto	Ap	306 – 30	163 – 22	174 – 12	358 – 51
	Ba	277 – 46	150 – 24	144 – 05	429 – 67
	Bt1	215 – 53	129 - 21	141 - 12	515 – 76
Cultivo Convencional	Ap	252 – 24	136 – 15	208 – 22	404 – 16
	Ba	241 – 27	129 – 17	195 – 27	435 – 49
	Bt1	235 – 29	118 – 13	176 - 28	471 - 45
Cultivo Mínimo	Ap	217 – 30	125 – 07	218 – 16	440 – 25
	Ba	214 – 18	128 – 12	219 – 08	452 – 44
	Bt1	186 - 33	102 – 15	213 – 13	500 – 53
Geral	Ap	258 – 46	141 – 22	200 – 25	401 – 46
	Ba	244 – 40	136 – 19	186 – 36	439 – 50
	Bt1	212 - 41	116 – 19	177 – 35	495 – 57

Os valores médios dos teores de argila (tabela 6) tendem a aumentar com o aumento da profundidade; à medida que os teores médios de areia grossa, areia fina e de silte apresentam uma ligeira diminuição com a profundidade. Todos os pontos descritos e coletados na área experimental apresentam argila dispersa em água elevada em superfície e com tendência de diminuir com a profundidade. Exceto o perfil completo da unidade experimental que apresentou valores elevados de dispersão de argila apenas no horizonte Ap e do perfil de cultivo mínimo que apresentou elevada dispersão da argila até 52 cm de profundidade, todos os demais apresentaram elevada argila dispersa até aproximadamente 30 cm no horizonte de transição BA (tabela 5).

As profundidades médias dos horizontes diagnósticos e as profundidades médias das coletas de amostras indeformadas coletadas para as determinações de densidade, porosidade total, microporosidade, macroporosidade, condutividade hidráulica de laboratório e curva característica de retenção são apresentadas na tabela 7 a seguir.

Tabela 7 - Valores das profundidades médias dos horizontes diagnósticos dos perfis das unidades experimentais e profundidade média de coleta das amostras para determinações físicas e físico-hídricas dos três sistemas de produção.

Sistema de Produção	Descrição	Horizonte	Horizonte	Horizonte
	Coleta	Ap	BA	Bt
Cultivo Convencional	Horizonte	0 - 16	16 - 28	28 - 52
	Amostra	3 - 8	19 - 24	31 - 36
Cultivo Mínimo	Horizonte	0 - 18	18 - 28	28 - 53
	Amostra	4 - 9	20 - 25	30 - 35
Plantio Direto	Horizonte	0 - 16	16 - 27	27 - 50
	Amostra	4 - 9	20 - 25	31 - 36

As tabelas 8, 9 e 10 exibem os resultados das análises estatísticas dos dados médios de granulometria pelo teste t-student em nível de 5% entre os diferentes sistemas de produção, em diferentes profundidades, superficial e subsuperficial, n= 6.

Tabela 8 - Comparação das médias dos valores das frações granulométricas por Análise estatística do Horizonte Ap para os três sistemas de produção: cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto com teste t-student para n= 6.

Horizonte Ap	Cultivo Convencional (CC)	Cultivo Mínimo (CM)	Plantio Direto (PD)	CC vs. CM	CC vs. PD	CM vs. PD
	g/kg			Valor p		
Areia Grossa	251,75	217,25	305,75	0,122	0,032 *	0,005 *
Areia Fina	136,25	125,25	162,50	0,241 *	0,102	0,020 *
Silte	208,00	218,00	173,50	0,497 *	0,034 *	0,004 *
Argila	404,00	439,50	358,25	0,055	0,137	0,029 *

Valor p seguido de * indica que as médias diferem significativamente entre si e pelo teste de t-student a 5%.

Essas diferenças identificadas na camada superficial de profundidades médias inferior a 20 cm não podem ser explicadas pelas diferenças do sistema de manejo do solo, pois, independente, do curto tempo da adoção do sistema de produção de plantio direto, não há na literatura, estudos que demonstrem a alteração da composição granulométrica em função do manejo do solo.

Por outro lado, COSTA et al. (2003), comparando o impacto dos sistemas de produção de plantio direto e cultivo convencional, obtiveram melhorias em propriedades como a densidade do solo em subsuperfície e o aumento do diâmetro médio dos agregados. Todavia, não identificaram alterações na porosidade total, na microporosidade e na macroporosidade.

Entretanto, suspeita-se, que estas diferenças, concentradas na parte da unidade experimental onde houve a implantação do sistema de produção de plantio direto possam estar associada a processos erosivos de caráter laminar que ocorreram na área ao longo do tempo, visto que foi identificado nesta área o domínio de partículas de maior diâmetro que demandam maior energia erosiva.

Tabela 9 - Comparação das médias dos valores das frações granulométricas por análise estatística do Horizonte BA para os três sistemas de produção: cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto com teste t-student para n= 6.

Horizonte BA	Cultivo Convencional (CC)	Cultivo Mínimo (CM)	Plantio Direto (PD)	CC vs. CM	CC vs. PD	CM vs. PD
	g/kg			Valor p		
Areia Grossa	241,25	214,00	277,25	0,140	0,223	0,042 *
Areia Fina	129,25	128,25	150,00	0,925	0,203	0,148
Silte	194,75	218,75	143,50	0,140	0,010 *	0,001 *
Argila	434,75	451,50	429,25	0,625	0,899	0,598

Valor p seguido de * indica que as médias diferem significativamente entre si e pelo teste de t-student a 5%.

No horizonte BA os resultados as diferenças significativas estão na comparação dos sistemas de produção de cultivo convencional e mínimo versus o plantio direto. Esses resultados foram influenciados pelas diferenças dos teores de silte e de areia grossa e podem ser explicados pela variabilidade espacial dos teores das diferentes frações granulométricas.

Tabela 10 - Comparação das médias dos valores das frações granulométricas por análise estatística do Horizonte Bt para os três sistemas de produção: cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto com teste t-student para n= 6.

Horizonte Bt	Cultivo Convencional (CC)	Cultivo Mínimo (CM)	Plantio Direto (PD)	CC vs. CM	CC vs. PD	CM vs. PD
	g/kg			Valor p		
Areia Grossa	235,00	186,00	214,50	0,065	0,521	0,395
Areia Fina	118,25	102,00	129,00	0,151	0,419	0,083
Silte	176,25	212,50	141,25	0,054	0,058	0,001 *
Argila	470,50	499,50	515,25	0,437	0,351	0,745

Valor p seguido de * indica que as médias diferem significativamente entre si e pelo teste de t-student a 5%.

Nas camadas mais profundas analisadas, ou seja, no horizonte Bt, com profundidades maiores a 30 cm, as diferentes frações granulométricas não apresentaram diferenças significativas, exceção às médias dos teores de silte entre os sistemas de produção de cultivo mínimo versus o sistema de plantio direto.

Esse resultado nos leva a considerar que apesar da presença da componente de variabilidade espacial para a composição granulométrica que atuam nas camadas superficiais, os resultados obtidos corroboram com a tese de que essas variações podem ser influenciada da ação antrópica e da posição na paisagem destas áreas.

Esses valores demonstram que a apesar de pertencerem ao mesmo grupamento textural, classe de textura argilosa, a variabilidade da composição granulométrica das camadas superficiais apresenta diferenças entre as suas distintas frações e entre os diferentes sistemas de produção, fato que, pode levar ao comportamento hidrológico distinto. Todavia, estes resultados, inicialmente não esperados, devido a aparente homogeneidade e pequena extensão da área experimental, podem ser explicados, em

parte, pela variabilidade espacial das frações granulométricas e em sua maior parte pela ação antrópica das práticas de manejo adotadas anteriormente na área da unidade experimental.

Vale frisar que, apesar das diferenças significativas nas composições granulométricas entre a camada superficial dos sistemas de produção avaliados, em particular do sistema de plantio direto, não é esta propriedade isoladamente a maior responsável pelo comportamento hidrológico do solo, em particular a condutividade hidráulica, conforme resultados obtidos por CARVALHO et al. (1999); COSTA et al. (2003); MESQUITA & MORAES (2004); e SILVA et al. (2005).

Resultados semelhantes de variabilidade espacial de propriedades físicas e físico-hídricas de solo são descritos por CARVALHO et al. (2001); KLEIN & LIBARDI (2002); e CICHOTA & VAN LIER (2004).

5.3.2 – Densidade, porosidade e condutividade hidráulica

A água é retida nos poros do solo por meio de dois fenômenos distintos, a adsorção e a capilaridade. O estudo da porosidade nos diferentes sistemas de produção é fundamental para compreensão da dinâmica hidrológica do solo, pois, é sabido, que diferentes sistemas de manejo do solo e da água podem afetar essas propriedades ao longo do perfil do solo.

Os resultados da tabela 11 mostram a média e os desvios padrão dos valores de densidade, do solo e da partícula, da porosidade e da condutividade hidráulica de laboratório.

Tabela 11 - Médias e desvios padrão de densidade, porosidade e condutividade hidráulica.

Sistema de Produção	Horizonte	Média – Desvio Padrão					
		Densidade do Solo	Densidade da Partícula	Porosidade - %			Condutividade Hidráulica cm/h
				Total	Macro	Micro	
Plantio Direto	Ap	1,35 – 0,12	2,63 – 0,02	48,45 – 4,34	18,85 – 6,46	29,63 – 4,04	30,00 – 0,00
	Ba	1,41 – 0,07	2,67 – 0,02	47,28 – 2,36	13,98 – 4,22	33,33 – 3,69	22,51 – 14,98
	Bt1	1,43 – 0,07	2,66 – 0,03	46,08 – 3,26	10,73 – 7,56	35,40 – 5,50	9,86 – 13,55
Cultivo Convenc.	Ap	1,40 – 0,09	2,62 – 0,02	46,88 – 3,54	9,88 – 6,31	37,00 – 3,01	16,54 – 15,74
	Ba	1,49 – 0,03	2,65 – 0,02	43,93 – 1,13	6,63 – 2,36	37,30 – 2,58	8,33 – 14,50
	Bt1	1,52 – 0,08	2,66 – 0,02	42,78 – 3,08	5,75 – 4,13	37,05 – 2,08	1,22 – 0,92
Cultivo Mínimo	Ap	1,29 – 0,06	2,65 – 0,02	49,63 – 4,65	13,43 – 7,04	36,20 – 2,45	22,95 - 14,10
	Ba	1,33 – 0,07	2,65 – 0,02	49,70 – 1,94	11,18 – 4,05	38,50 – 2,40	19,27 – 4,12
	Bt1	1,52 – 0,07	2,68 – 0,04	43,13 – 2,71	3,63 – 2,02	39,50 – 1,28	2,46 – 4,51
Geral	Ap	1,37 – 0,10	2,63 – 0,02	48,32 – 3,98	14,05 – 7,12	34,28 – 4,52	23,16 – 12,44
	Ba	1,41 – 0,07	2,65 – 0,02	46,97 – 3,00	10,59 – 4,57	36,38 – 3,53	16,70 – 12,78
	Bt1	1,41 – 0,08	2,66 – 0,03	43,99 – 3,15	6,70 – 5,57	37,32 – 3,60	4,51 – 8,47

A figura 31 mostra os valores médios de densidade do solo nos sistemas de produção avaliados, sistema convencional, cultivo mínimo e plantio direto nos horizontes do solo.

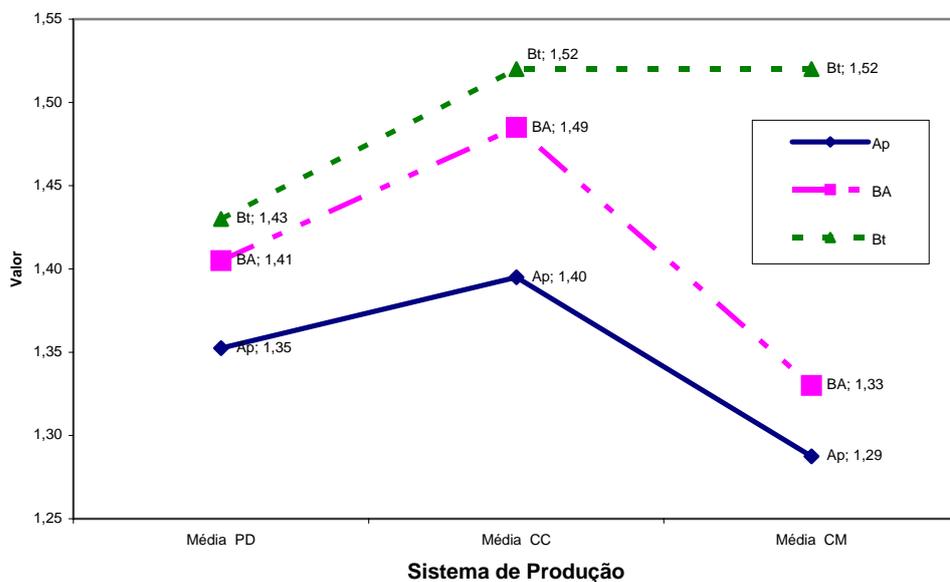


Figura 31 - Densidade média do solo por sistema de produção e por profundidade.

Os resultados demonstram que os valores médios da densidade do solo apresentam um acréscimo com a profundidade, indicando uma menor compactação do solo em superfície, todavia, o horizonte superficial Ap foi o que apresentou o maior desvio padrão dos valores de densidade do solo, coerente com o impacto das variações de teores de matéria orgânica nas camadas superficiais do solo. Resultados semelhantes foram obtidos por FALLEIRO et al. (2003) quando estudou a influência do sistema de preparo em diferentes propriedades físicas e químicas do solo, face o ano I de implantação do sistema de plantio direto.

Os valores da densidade do solo variaram de 1,29 até 1,40 g/cm³ para o sistema de cultivo mínimo e convencional respectivamente. Com relação a área de plantio direto apresentou os menores valores médios de densidade do solo, além da menor amplitude de densidade do solo (0,08 g/cm³), enquanto que, o valor mais elevado ficou no sistema convencional e a maior amplitude com o sistema de cultivo mínimo. Esses resultados podem estar associados à presença de raízes e indicam a relevância dos teores de

material orgânico na densidade do solo. O valor mais elevado de densidade do solo em subsuperfície é comum, seja pela migração da argila ao longo do perfil, seja pelo manejo do solo.

FERNANDES et al. (1983) encontraram resultados semelhantes e citam que é comum ocorrer aumento da densidade do solo nos primeiros anos de plantio direto e cultivo mínimo devido ao não revolvimento do solo. Todavia, esse quadro tende a se inverter ao longo dos anos com o aporte de material orgânico em superfície. Este fato não foi identificado por ser o primeiro ano de implantação do plantio direto e do cultivo mínimo.

As tabelas 12, 13 e 14 comparam as médias dos valores da densidade, da porosidade e da condutividade hidráulica nos três sistemas de produção.

Tabela 12 - Comparação dos valores médios de densidade do solo e da partícula, porosidade e condutividade hidráulica do Horizonte Ap para os três sistemas de produção, com teste t-student para n= 6.

Horizonte Ap	Cultivo Convencional (CC)	Cultivo Mínimo (CM)	Plantio Direto (PD)	CC vs CM	CC vs. PD	CM vs. PD
	g/kg			Valor p		
Densidade do Solo	1,40	1,29	1,35	0,098	0,587	0,353
Densidade Partícula	2,62	2,65	2,63	0,030 *	0,722	0,111
	%			Valor p		
Porosidade Total	46,88	49,63	48,45	0,383	0,594	0,725
Macroporosidade	9,88	13,43	18,85	0,481	0,094	0,299
Microporosidade	37,00	36,20	29,63	0,694	0,026 *	0,0318 *
	cm/hora			Valor p		
Condutividade Hidráulica	16,55	22,95	30,00	0,566 *	0,138 *	0,356 *

Valor p seguido de * indica que as médias diferem significativamente entre si e pelo teste de t-student a 5%.

Os resultados encontrados para densidade do solo e densidade da partícula não podem ser atribuídos ao sistema de produção face ao curto período de implantação.

Todavia, com relação aos valores de porosidade total e macroporosidade os resultados são distintos dos obtidos por SECCO et al. (2005), que encontraram valores superiores para essas variáveis, quando avaliados sistemas de produção com maior mobilização do solo.

TORMENA et al. (2002) compararam as alterações provocadas nas propriedades físicas de um LATOSSOLO VERMELHO distrófico em função do manejo com plantio direto, cultivo mínimo e cultivo convencional em fase de implantação e obtiveram resultados menos restritivos ao desenvolvimento das plantas para os sistemas de cultivo mínimo e convencional.

Por outro lado, COSTA et al. (2003) também comparando o impactos das práticas de manejo de cultivo convencional e plantio direto nas propriedades físicas do solo não encontraram diferenças significativas para porosidade total e macroporosidade.

Para a camada superficial, houve uma relação direta entre a densidade do solo e a microporosidade, com valores superiores de microporosidade para densidades superiores. Com relação a macroporosidade, a relação foi inversa; porém, para a porosidade total os valores não diferiram entre si para os três sistemas de produção.

Uma característica da macroporosidade é a alta variação, que chegou a quase 100% entre o sistema de cultivo convencional e o plantio direto. Esses valores são corroborados pela condutividade hidráulica de laboratório que apresentou resultados semelhantes para a camada superficial.

Apesar de não significativos estatisticamente é relevante demonstrar os valores médios superiores de porosidade total, macroporosidade e condutividade hidráulica para o sistema de produção de plantio direto com relação ao sistema de produção de cultivo mínimo e ao cultivo convencional. Esses valores obtidos são muito relevantes para explicar as qualidades superiores de dinâmica da água no sistema de plantio direto.

ASSIS & LANÇAS (2005) avaliando a macroporosidade em função do tempo de adoção do plantio direto obtiveram resultados sem diferença significativa estatisticamente, porém, quando comparou a macroporosidade do sistema de plantio direto – ano I - versus o sistema convencional nos primeiros 5 cm, o resultado foi estatisticamente significativo, favorável ao sistema de plantio direto, resultado semelhante a obtidos nesta pesquisa.

A discrepância da condutividade hidráulica e da macroporosidade foi justificada por MESQUITA & MORAES (2004), em função do pequeno impacto de um megaporo sobre a macroporosidade, versus o grande impacto sobre a condutividade hidráulica, pois a densidade do fluxo de um poro é proporcional ao quadrado do seu diâmetro.

Os resultados obtidos na avaliação dessas propriedades em função do manejo do solo indicam que houve diferença significativa para o nível de 5% no teste de t-student para a porosidade total quando comparado o sistema de produção convencional versus o sistema de cultivo mínimo e o sistema de plantio direto, e para a macroporosidade quando avaliado o sistema de cultivo convencional versus o sistema de plantio direto.

Tabela 13 - Comparação dos valores médios de densidade do solo, da partícula, da porosidade total, da macroporosidade, da microporosidade e da condutividade hidráulica para o Horizonte BA para os sistemas de cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto.

Horizonte BA	Cultivo Convencional (CC)	Cultivo Mínimo (CM)	Plantio Direto (PD)	CC vs CM	CC vs. PD	CM vs. PD
	g/kg			Valor p		
Densidade do Solo	1,49	1,37	1,41	0,018 *	0,066	0,438
Densidade Partícula	2,65	2,65	2,67	0,750	0,146	0,251
	%			Valor p		
Porosidade Total	43,93	49,70	47,28	0,002 *	0,043 *	0,164
Macroporosidade	6,63	11,18	13,98	0,100	0,023 *	0,375
Microporosidade	37,30	38,50	33,33	0,521	0,128	0,057
	cm/hora			Valor p		
Condutividade Hidráulica	8,33	19,27	22,51	0,197	0,223	0,691

Valor p seguido de * indica que as médias diferem significativamente entre si e pelo teste de t-student a 5%.

Esses resultados favoráveis aos sistemas de produção que realizam menor mobilização do solo e utiliza-se de cobertura do solo, além da menor circulação na lavoura, favoreceu ao menor nível de compactação potencial no horizonte Ap. Resultados semelhantes foram obtidos por ASSIS e LANÇAS (2005) que estudaram diferentes atributos físicos comparando diferentes períodos de adoção do sistema de produção de plantio direto.

Tabela 14 - Comparação das médias dos valores da densidade do solo, da densidade da partícula, da porosidade total, da macroporosidade, da microporosidade e da condutividade hidráulica por análise estatística do Horizonte Bt para os três sistemas de produção: cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto com teste t-student para n= 6.

Horizonte Bt	Cultivo Convencional (CC)	Cultivo Mínimo (CM)	Plantio Direto (PD)	CC vs CM	CC vs. PD	CM vs. PD
	g/kg			Valor p		
Densidade do Solo	1,52	1,53	1,43	0,827	0,150	0,088
Densidade Partícula	2,66	2,68	2,66	0,524	0,791	0,439
	%			Valor p		
Porosidade Total	42,78	43,13	46,08	0,870	0,192	0,214
Macroporosidade	5,75	3,63	10,73	0,390	0,292	0,120
Microporosidade	37,05	39,50	35,40	0,091	0,595	0,197
	cm/hora			Valor p		
Condutividade Hidráulica	1,22	2,46	9,85	0,607	0,251	0,341

Valor p seguido de * indica que as médias diferem significativamente entre si e pelo teste de t-student a 5%.

No horizonte Bt não houve diferenças significativas estatisticamente para o nível de 5% para o teste de t-student, quando avaliadas a densidade do solo, a densidade da partícula, a porosidade e a condutividade hidráulica em função do sistema de produção.

Esses resultados estão de acordo com os obtidos por FALLEIRO et al. (2003); COSTA et al. (2003); ASSIS & LANÇAS (2005) e SILVA et al. (2005) que não identificaram alterações nas propriedades físicas do solo em função do manejo nas camadas subsuperficiais.

As figuras 32, 33 e 34 apresentam os resultados de porosidade total, macroporosidade e microporosidade.

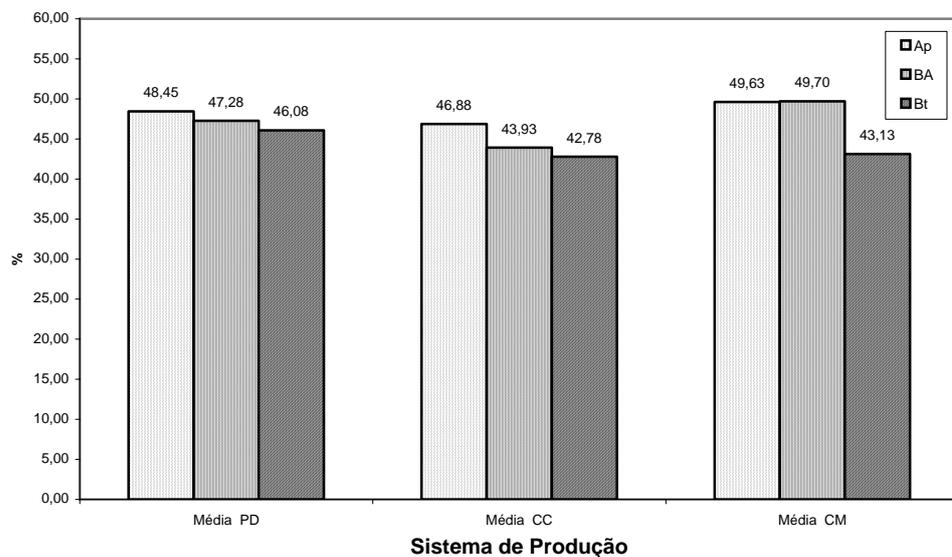


Figura 32 - Porosidade Total média por sistema de produção.

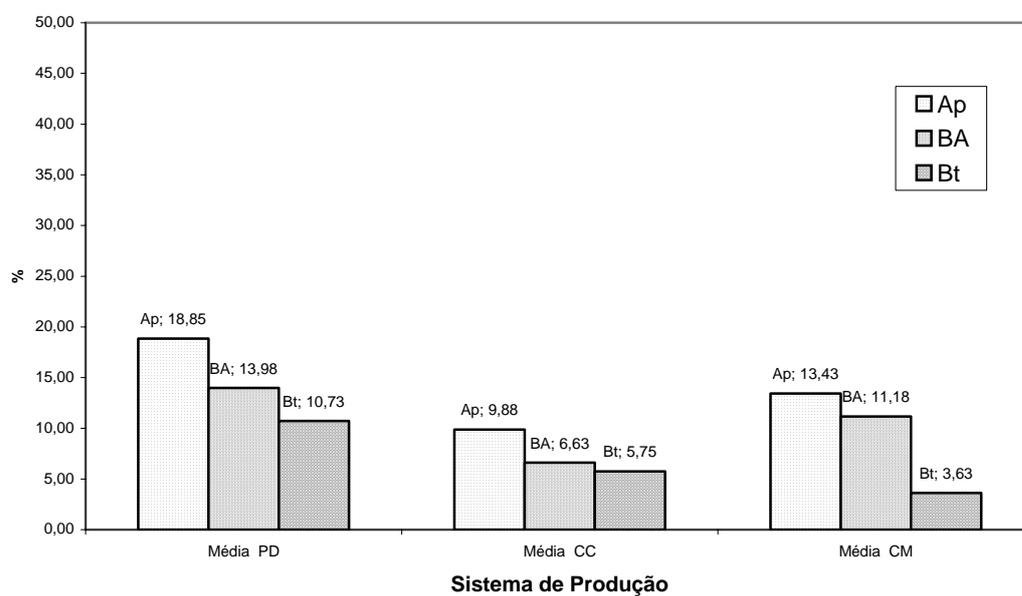


Figura 33 - Macroporosidade média por sistema de produção.

Analisando-se os valores médios da porosidade total da área experimental, esta tende a decair em profundidade. Ainda com base nos valores médios é no cultivo mínimo que aparece o maior valor de porosidade total, seguido do plantio direto e do cultivo

convencional, porém, com diferença próxima a 3% entre eles. Todavia, em subsuperfície, no horizonte Bt, é o plantio direto que apresenta o maior valor de porosidade total, seguido do cultivo mínimo. Esse comportamento da porosidade total também ocorreu no perfil completo descrito na unidade experimental e pode-se atribuir a uma característica da classe de solo dos ARGISSOLOS, vinculada ao processo de translocação de argilas ao longo do perfil e ao elevado grau de desenvolvimento da estrutura destes solos em subsuperfície.

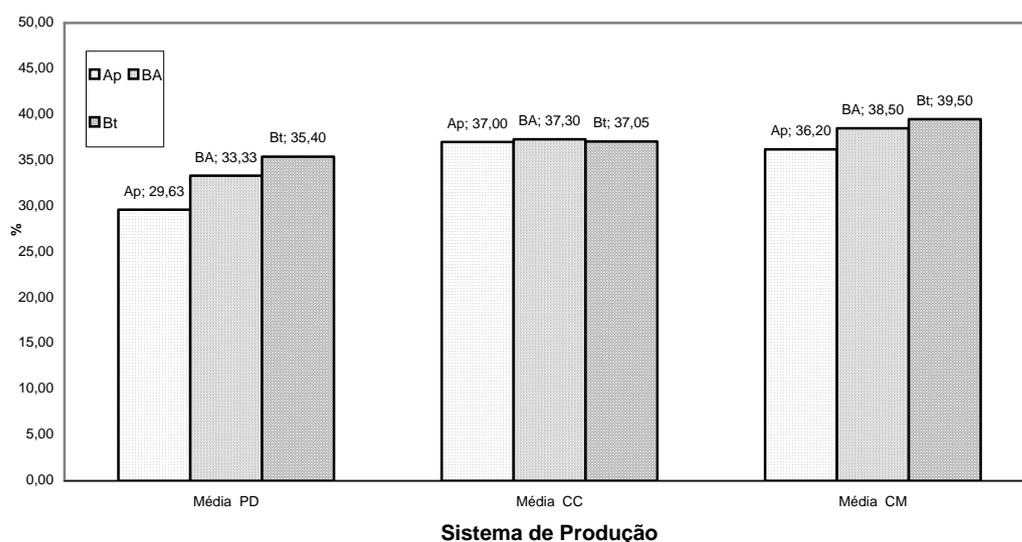


Figura 34 - Microporosidade média por sistema de produção.

Comparando-se os dados de porosidade total com os valores de condutividade hidráulica de laboratório, a tendência geral de redução de valores é compatível, todavia, conforme esperado, a condutividade hidráulica apresenta valores maiores no plantio direto seguido do cultivo mínimo e por fim no cultivo convencional, coerente com os resultados esperados.

Esses resultados, apesar de esperados, não são comuns, uma vez que, diversos autores como SECCO et al. (2004); ASSIS & LANÇAS (2005) e SECCO et al. (2005) não encontraram diferenças significativas nas propriedades físicas do solo quando compararam o sistema de plantio direto com os sistemas convencionais de manejo do solo. Dessa forma, pode-se supor que o diâmetro médio dos agregados, com a conseqüente estrutura do solo, é o responsável principal por esses resultados.

O resultado médio da condutividade hidráulica por sistema de produção e por horizonte é apresentado na figura 35.

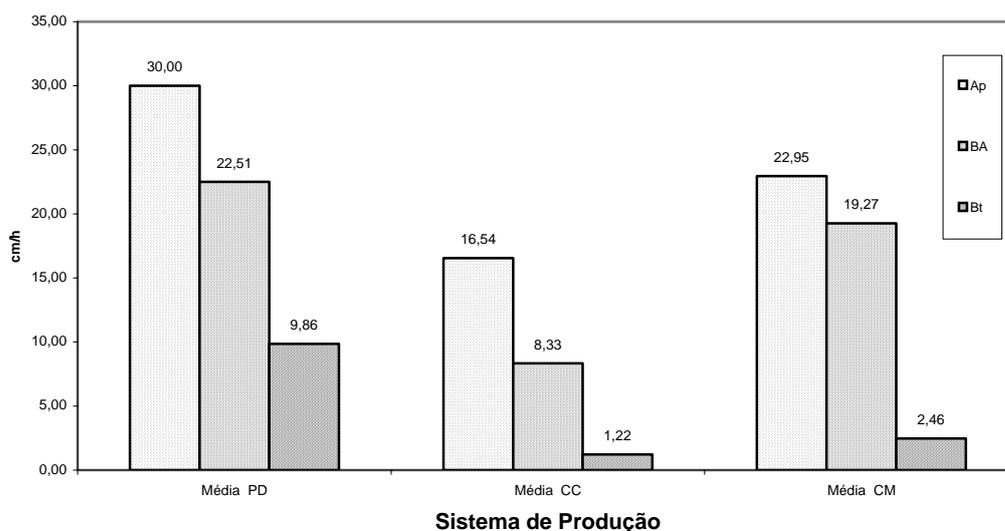


Figura 35 - Condutividade hidráulica média por sistema de produção.

5.3.3 - Condutividade hidráulica “in situ”

A condutividade hidráulica “in situ” foi determinada no campo com a utilização do “permeâmetro de guelph modificado” com a utilização de duas cargas hidráulicas, 5 e 10 cm de água com a realização de três ensaios em repetições para cada um dos sistemas de produção avaliados durante a fase final do ciclo da cultura.

Os ensaios foram realizados nas entrelinhas das linhas de plantio com o intuito de avaliar o impacto das práticas agrícolas adotadas pelos sistemas de produção avaliados, em especial, a ausência de cobertura vegetal e o alto tráfego de pessoas nas parcelas de cultivo convencional e cultivo mínimo, respectivamente.

Os resultados obtidos apresentaram variação significativa, tabela 15, entre os resultados da Condutividade Hidráulica e da Infiltração nas repetições realizadas, fato atribuído à variabilidade espacial destas propriedades e a implantação recente - ano I do sistema de produção de plantio direto e de cultivo mínimo na área.

Dentre as práticas de manejo que implicam em trafegabilidade de pessoas pela lavoura pode-se citar: a aplicação de defensivos, que ocorre em média a cada 3 dias durante todo o ciclo da cultura; as adubações complementares de cobertura, que ocorrem semanalmente durante todo o ciclo, as irrigações por mangueirão, que ocorrem normalmente a cada dois ou três dias no máximo e as colheitas que ocorrem a cada 48 horas em média nos últimos 45 dias de cultivo.

Em face destes aspectos de manejo da lavoura, associado à completa ausência de cobertura de solo no sistema de cultivo convencional esperava-se resultados de condutividade hidráulica inferiores na parcela de cultivo convencional, fato que não ocorreu.

Todavia, em estudos realizados por STONE & SILVEIRA (1999), que compararam o impacto da compactação, proveniente, normalmente, do tráfego de máquinas e de implementos agrícolas, nas propriedades físicas e físico-hídricas do solo, esses autores obtiveram resultados distintos de compactação para solos preparados com grade, com arado de disco e com plantio direto, todavia, em todos eles identificou-se níveis de compactação, porém sempre com resultados favoráveis de disponibilidade hídrica e de produtividade das lavouras para o sistema de plantio direto.

Nessa mesma linha, MEDEIROS et al. (2005 a) e MEDEIROS et al. (2005 b), estudando arroz em casa de vegetação, obtiveram resultados favoráveis de dinâmica de água e produtividade para os menores níveis de compactação.

Tabela 15 – Ksat e Infiltração, média e desvio padrão obtidos pelo permeâmetro de Guelph.

Sistema de Produção	Condutividade Hidráulica (Ksat) - (mm/h) valor – média – DP	Infiltração (mm/h) valor – média - DP
Plantio Direto	9,46 – 11,35 – 5,56	41,50 – 49,80 – 24,44
	5,68 – 11,35 – 5,56	24,90 – 49,80 – 24,44
	18,91 – 11,35 – 5,56	83,01 – 49,80 – 24,44
Cultivo Mínimo	5,68 – 9,46 – 6,73	24,90 – 41,50 – 29,54
	18,91 – 9,46 – 6,73	83,01 – 41,50 – 29,54
	3,78 – 9,46 – 6,73	16,60 – 41,50 – 29,54
Cultivo Convencional	13,24 – 11,98 – 6,24	58,11 – 52,57 – 27,39
	3,78 – 11,98 – 6,24	16,60 – 52,57 – 27,39
	18,91 – 11,98 – 6,24	83,01 – 52,57 – 27,39

Os resultados da Condutividade Hidráulica em campo, bem como os da Infiltração Tridimensional, apresentou elevados valores de desvio padrão. Esses podem ser explicados, possivelmente, pela elevada variabilidade espacial dessas propriedades (CARVALHO et al. 2001) e pelas características da camada superficial, 0 a 10 cm de profundidade e elevada influência do sistema radicular e dos níveis de matéria orgânica.

Os valores da condutividade hidráulica saturada e da infiltração modelada obtidos através do Permeâmetro de Guelph Modificado foram menores no sistema de produção com Cultivo Mínimo, em detrimento da expectativa deste resultado no cultivo convencional, que apresentou valores médios semelhantes ao sistema de produção de plantio direto.

Com relação à comparação dos resultados dos ensaios realizados no laboratório, em amostras indeformadas e os ensaios de campo, os dados de laboratório apresentam

resultados superiores para a condutividade hidráulica saturada, de acordo com os resultados obtidos em vários estudos.

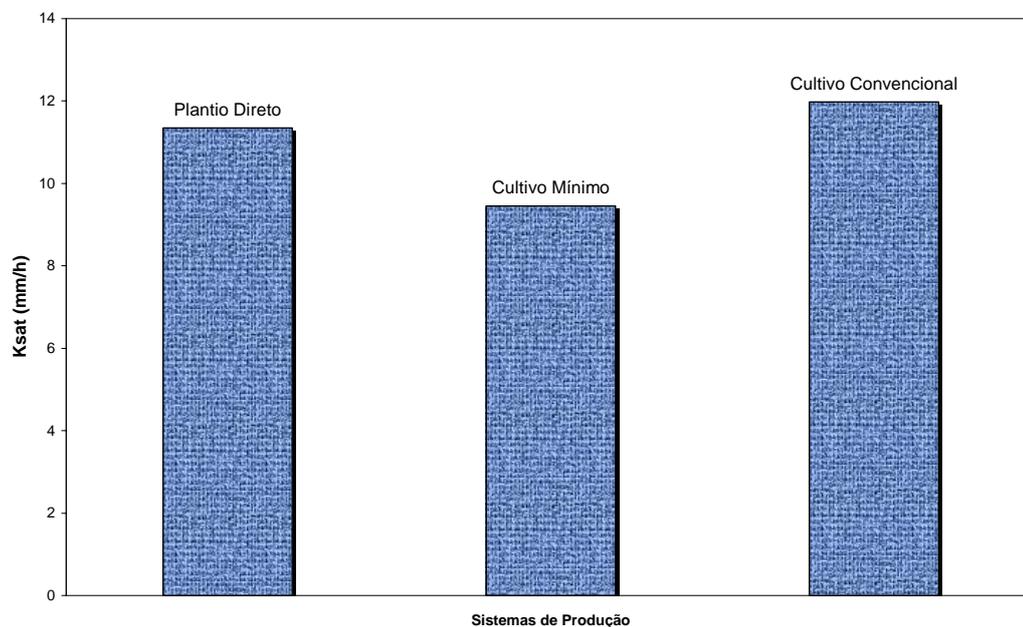


Figura 36 a – Valores médios de Ksat em mm/h determinados por determinações “in situ” com permeâmetro de guelph modificado.

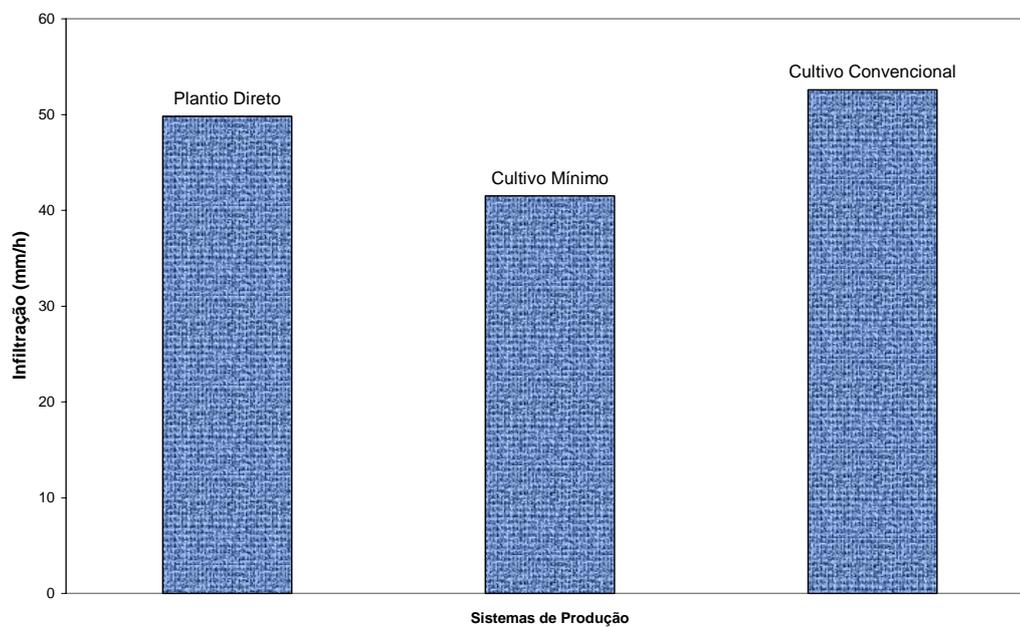


Figura 36 b – Valores médios de infiltração em mm/h calculados a partir das determinações da Ksat realizadas “in situ” com permeâmetro de guelph modificado.

As figuras 36 (a) e 36 (b) demonstram que os valores médios para a condutividade hidráulica e a para infiltração apresentaram diferenças não esperadas entre os três sistemas de manejo. Pois, com base nestes resultados, o sistema de produção de cultivo mínimo apresentou os menores valores de K_{sat} e de infiltração. Da mesma forma, diferentemente do esperado, a parcela de plantio direto apresentou resultado de condutividade hidráulica e de infiltração inferior aos encontrados no sistema de produção convencional.

Avaliando-se os resultados médios obtidos para a condutividade hidráulica saturada e a infiltração tridimensional com os dados de desvio padrão para essas propriedades para os três sistemas de produção avaliados; e com base no resultado do teste de médias para o nível de 5%, pode-se afirmar que o sistema de produção não influenciou essas variáveis no ano I de implantação do sistema de produção de plantio direto, apesar do elevado tráfego de pessoas nos sistemas de produção de cultivo convencional e de cultivo mínimo.

COSTA et al. (2003) estudaram e compararam os resultados de condutividade hidráulica saturada após 21 anos de adoção de plantio direto contra o sistema de cultivo convencional e também não identificaram diferenças significativas.

5.3.4 Retenção de água no solo

Os resultados da tabela 15 são os valores médios e o desvio padrão da retenção de umidade obtido a partir de amostras indeformadas.

Tabela 16 - Dados médios e desvio padrão da retenção de umidade por sistema de produção

Sistema de Produção	Horizonte	Umidade %					
		Valores médios e Desvio Padrão por Tensão - MPa					
		0,0006 MPa	0,01 MPa	0,03 Mpa	0,1 MPa	0,5 MPa	1,5 MPa
Plantio Direto	Ap	29,63 – 4,04	28,35 – 4,03	25,90 – 4,15	23,80 – 4,03	21,38 – 4,01	19,90 – 3,75
	Ba	33,33 – 3,69	32,15 – 3,76	29,98 – 3,88	28,10 – 3,90	25,93 – 3,85	24,43 – 3,83
	Bt1	35,40 – 5,50	34,10 – 5,49	31,55 – 5,49	29,65 – 5,54	27,53 – 5,45	26,18 – 5,49
Cultivo Convenc.	Ap	37,53 – 3,01	36,30 – 3,23	34,00 – 3,40	32,15 – 3,04	29,98 – 3,01	28,65 – 2,68
	Ba	34,30 – 2,58	32,73 – 2,68	30,15 – 2,72	28,08 – 2,65	25,45 – 2,56	23,93 – 2,45
	Bt1	35,15 – 2,08	34,05 – 2,07	31,95 – 2,01	29,83 – 1,82	27,33 – 1,49	25,60 – 1,49
Cultivo Mínimo	Ap	35,85 – 2,45	34,65 – 2,73	32,48 – 2,60	30,30 – 2,78	27,75 – 3,26	26,08 – 3,34
	Ba	35,90 – 2,40	34,78 – 2,45	32,80 – 2,62	30,85 – 2,53	28,70 – 2,31	27,38 – 2,13
	Bt1	37,00 – 1,28	35,33 – 1,15	32,70 – 0,86	30,45 – 0,78	27,63 – 0,79	26,18 – 0,75

Os resultados de umidade em percentagem, nas diferentes tensões e por sistema de produção podem ser visualizados nas figuras 37, 38, 39 e 40.

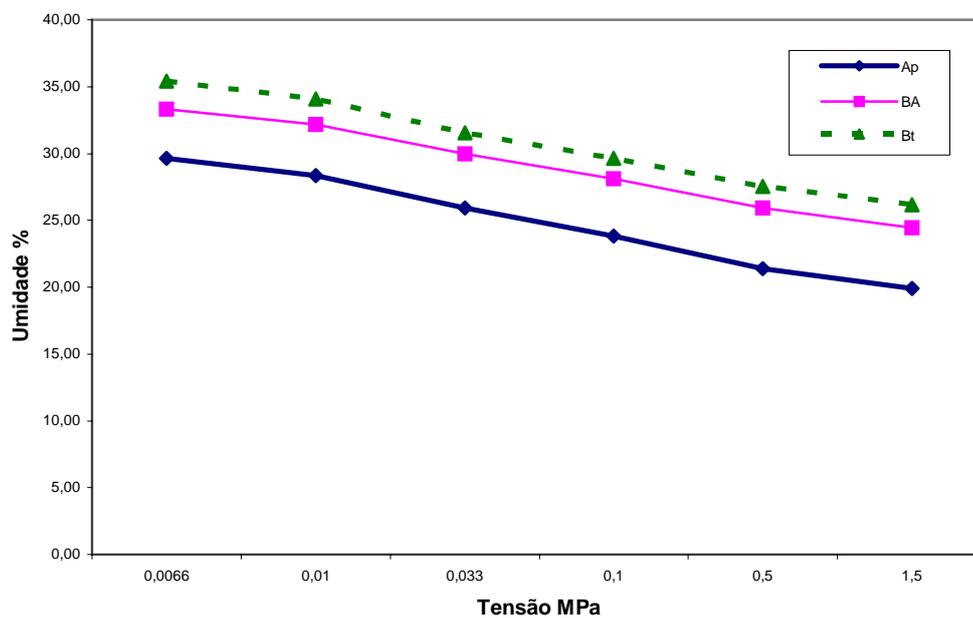


Figura 37 - Retenção média do sistema de produção de plantio direto por horizonte.

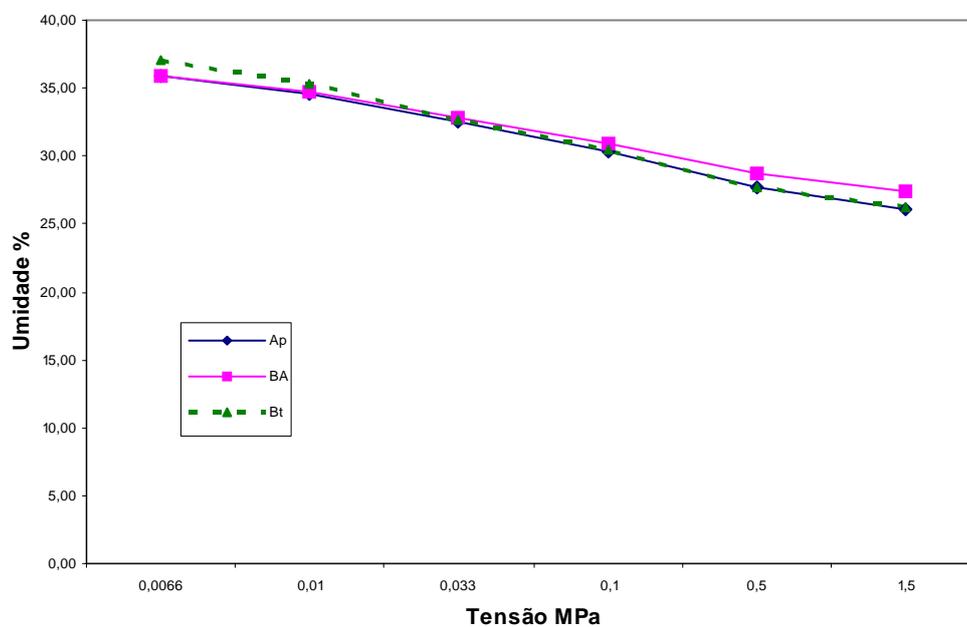


Figura 38 - Retenção média no sistema de produção de cultivo mínimo por horizonte.

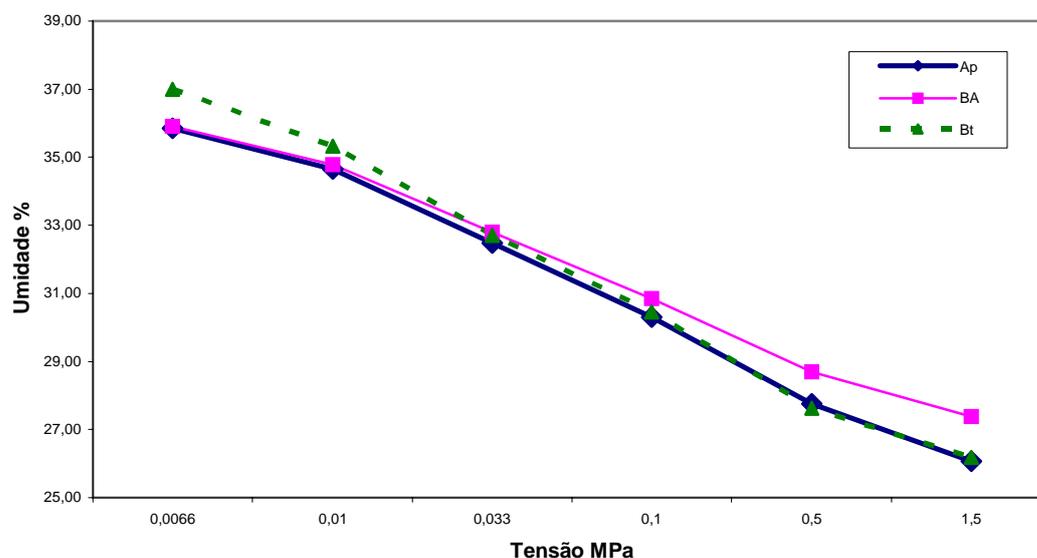


Figura 39- Detalhe da retenção média no sistema de cultivo mínimo por horizonte.

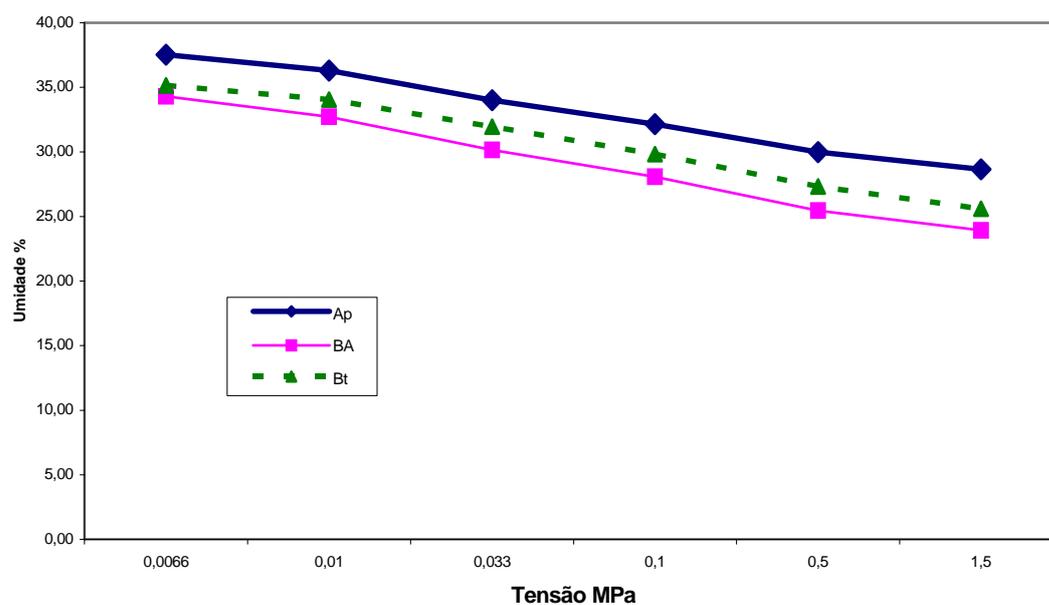


Figura 40 - Retenção média no sistema de produção de cultivo convencional por horizonte.

Avaliando-se os resultados obtidos nos estudos de retenção de água no solo para os diferentes sistemas de produção, pode-se observar que para a camada superficial – horizonte Ap, os valores de retenção obtidos foram menores com relação aos horizontes BA e Bt, no sistema de produção de plantio direto. Por outro lado, o sistema de produção

de cultivo convencional foi o que apresentou a maior retenção de água no horizonte superficial em todas as tensões estudadas.

No sistema de produção que emprega as técnicas do cultivo mínimo, os resultados de retenção de água obtidos para os três horizontes estudados, Ap, BA, e Bt apresentavam valores médios próximos em todas as tensões estudadas, com os menores valores de desvio padrão. Com relação às tensões estudadas, os três horizontes apresentaram comportamento semelhante, com redução de cerca de 30% do teor de água no solo entre as maiores e as menores tensões.

Os resultados obtidos na curva de retenção de água no solo para o sistema de produção que emprega as técnicas de manejo do solo e de irrigação no sistema convencional, nesta pesquisa também chamado de sistema convencional, indicam uma correlação entre estes resultados e a porosidade total e a microporosidade neste horizonte.

Avaliando-se os resultados obtidos para os três sistemas de produção, pode-se verificar que o sistema de plantio direto obteve os valores mais baixos de retenção de água no solo, em especial, no horizonte superficial Ap. Esses resultados são condizentes com os valores obtidos para a microporosidade e com os testes de condutividade hidráulica de laboratório.

Por outro lado, nas camadas mais profundas, horizonte Bt, independente dos valores médios obtidos nas determinações de condutividade hidráulica de laboratório, porosidade, teor de argila e densidade do solo, os resultados de retenção de água no solo para os três sistemas de produção avaliados não apresentam diferenças significativas nas diferentes tensões estudadas.

Todavia, quando se avalia o conjunto das profundidades nos três sistemas de produção, resultados distintos foram obtidos por COSTA et al. (2003) quando estudaram o impacto do sistema de plantio direto quando comparado com o sistema convencional, que obteve uma umidade volumétrica 26% superior favorável ao sistema de plantio direto.

Esse resultado pode ser explicado pelo tempo de adoção do sistema de plantio direto, 21 anos para essa pesquisa, pois, como em outros estudos, COSTA et al. (2003), não identificaram diferenças em outras propriedades físicas e físico-hídricas, como a porosidade e a condutividade hidráulica saturada.

A análise estatística dos sistemas de produção avaliados para as três profundidades estudadas nas seis tensões é apresentada nas tabelas 17, 18 e 19.

Tabela 17 – Comparação das médias dos valores da retenção de umidade nas diferentes tensões por análise estatística do Horizonte Ap para os três sistemas de produção: cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto com teste t-student para n= 6.

Horizonte Ap	Cultivo Convencional (CC)	Cultivo Mínimo (CM)	Plantio Direto (PD)	CC vs CM	CC vs. PD	CM vs. PD
Retenção (MPa)	Umidade %			Valor p		
0,0066	37,00	36,20	29,63	0,694	0,026 *	0,031 *
0,010	35,33	34,98	28,35	0,874	0,035 *	0,034 *
0,033	32,70	33,00	25,90	0,893	0,044 *	0,027 *
0,100	30,45	31,63	23,80	0,589	0,039 *	0,019 *
0,500	27,63	29,45	21,38	0,442	0,047 *	0,020 *
1,500	26,18	27,95	19,90	0,439	0,035 *	0,018 *

Valor p seguido de * indica que as médias diferem significativamente entre si pelo teste de t-student a 5%.

Como pode ser visualizado na tabela 16, apresentada acima, os teores de umidade apresentam médias estatisticamente significativas para o nível de 5% no teste de t-student para todas as tensões quando se avalia o sistema de produção de cultivo convencional e

de cultivo mínimo quando comparados com o sistema de plantio direto. Esses valores são compatíveis com a classe textural e os valores de microporosidade apresentados anteriormente.

Dessa forma, apesar da avaliação significativa, os resultados de retenção não podem ser atribuídos às práticas de manejo associadas aos sistemas de produção avaliados, conforme resultados semelhantes obtidos por FALLEIRO et al. (2003); ASSIS & LANÇAS (2005); e SILVA et al. (2005) para atributos físicos que afetam a retenção de umidade.

As tabelas 18 e 19 apresentam os resultados da análise estatística do teste de médias para a retenção de umidade nos horizontes BA e Bt nas diferentes tensões estudadas nos três sistemas de produção avaliados.

Tabela 18 – Comparação das médias dos valores da retenção de umidade nas diferentes tensões por análise estatística do Horizonte BA para os três sistemas de produção: cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto com teste t-student para n= 6.

Horizonte BA	Cultivo Convencional (CC)	Cultivo Mínimo (CM)	Plantio Direto (PD)	CC vs CM	CC vs. PD	CM vs. PD
Retenção (MPa)	Umidade %			Valor p		
0,0066	37,30	38,50	33,33	0,521	0,128	0,057
0,010	36,08	37,28	32,15	0,533	0,139	0,062
0,033	33,93	35,10	29,98	0,556	0,146	0,071
0,100	31,78	32,93	28,10	0,553	0,170	0,083
0,500	29,20	30,38	25,93	0,521	0,206	0,095
1,500	27,58	28,78	24,43	0,488 *	0,215	0,094

Valor p seguido de * indica que as médias diferem significativamente entre si pelo teste de t-student a 5%.

Avaliando-se os valores médios de umidade para todas as tensões estudadas, observam-se teores de umidade superiores, nesse horizonte avaliado, para o sistema de produção de cultivo mínimo. Valores de umidade, pouco inferiores, da ordem de 3%, foram

obtidos para as médias do sistema de cultivo convencional. Esses resultados são compatíveis com os valores de microporosidade obtidos para as diferentes profundidades.

Conforme pode ser visto na tabela 18 apresentada anteriormente, não há diferenças estatisticamente significativas para o nível de 5% no teste de médias t-student. Esses resultados eram esperados e compatíveis aos estudos desenvolvidos por COSTA et al. (2003); SECCO et al. (2005), que só identificam melhorias em propriedades físicas ou físico-hídricas nas camadas subsuperficiais em função das diferentes práticas de manejo adotadas pelos sistemas de produção avaliados.

Tabela 19 – Comparação das médias dos valores da retenção de umidade nas diferentes tensões por análise estatística do Horizonte Bt para os três sistemas de produção: cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto com teste t-student para n= 6.

Horizonte Bt	Cultivo Convencional (CC)	Cultivo Mínimo (CM)	Plantio Direto (PD)	CC vs CM	CC vs. PD	CM vs. PD
Retenção (MPa)	Umidade %			Valor p		
0,0066	37,05	39,50	35,40	0,091	0,594	0,197
0,010	35,90	38,40	34,10	0,080	0,562	0,176
0,033	33,93	36,50	31,55	0,057	0,447	0,125
0,100	31,83	34,30	29,65	0,047 *	0,484	0,147
0,500	29,53	31,63	27,53	0,047 *	0,505	0,187
1,500	28,23	30,18	26,18	0,058	0,498	0,199

Valor p seguido de * indica que as médias diferem significativamente entre si pelo teste de t-student a 5%.

Como pode ser observado na tabela 19, não há diferenças estatisticamente significativas para o nível de 5% no teste de médias t-student. Exceção apenas para duas tensões, quando comparado os sistemas de produção convencional versus o sistema de produção de cultivo mínimo. Esses resultados são compatíveis com os valores obtidos para

a granulometria; porosidade total; e microporosidade obtidos nessa pesquisa para essa profundidade.

A retenção de umidade percentual por tensão e por horizonte - profundidade do perfil é apresentada nas figuras 41, 42, 43 e 44.

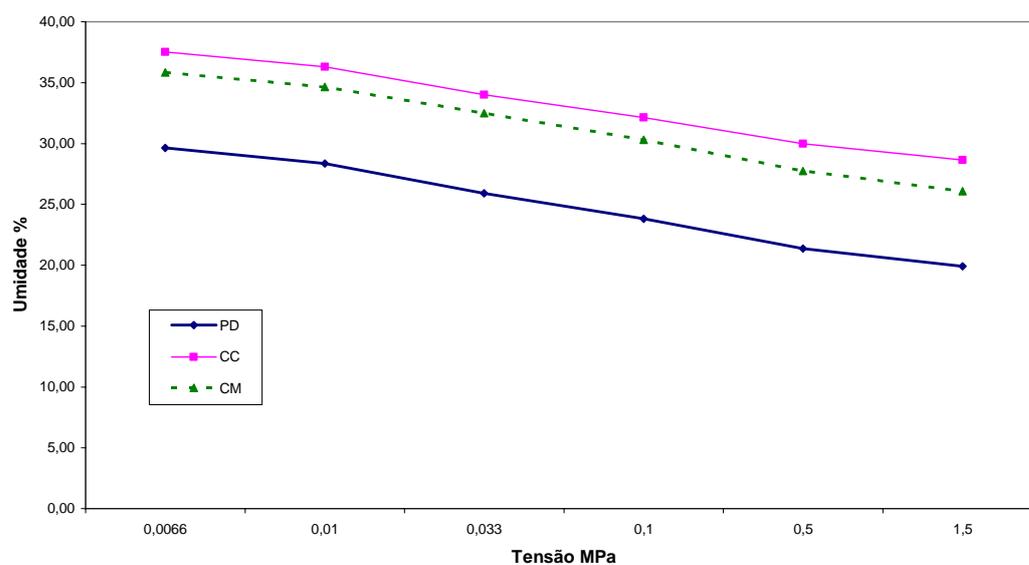


Figura 41 - Retenção de água média no horizonte Ap por sistema de produção.

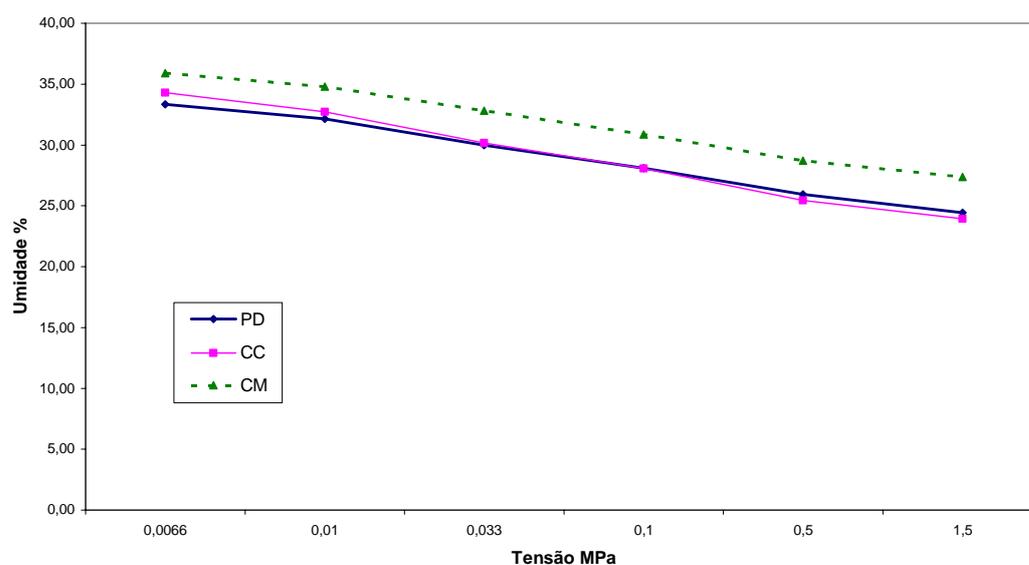


Figura 42 - Retenção de água média no horizonte BA por sistema de produção.

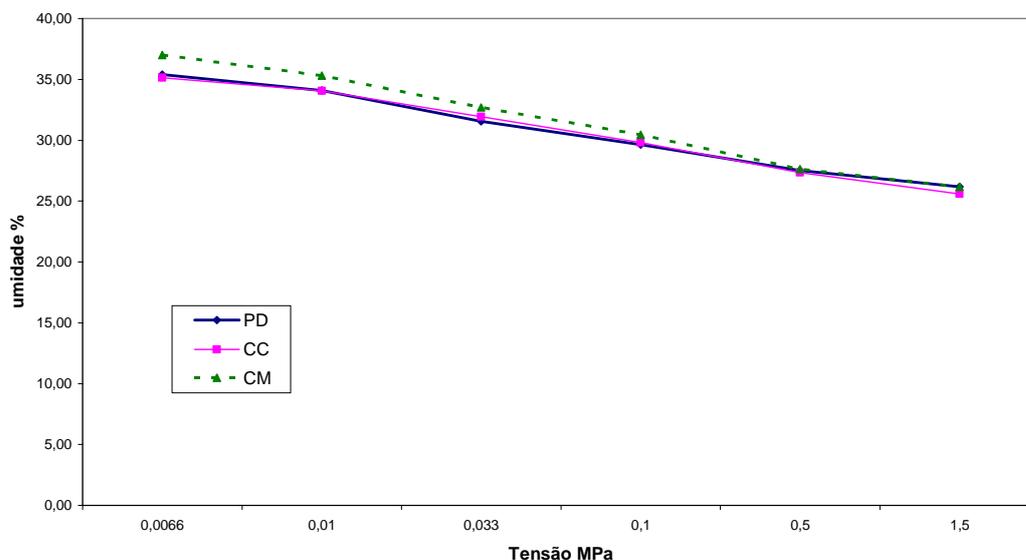


Figura 43 - Retenção de água média no horizonte Bt por sistema de produção.

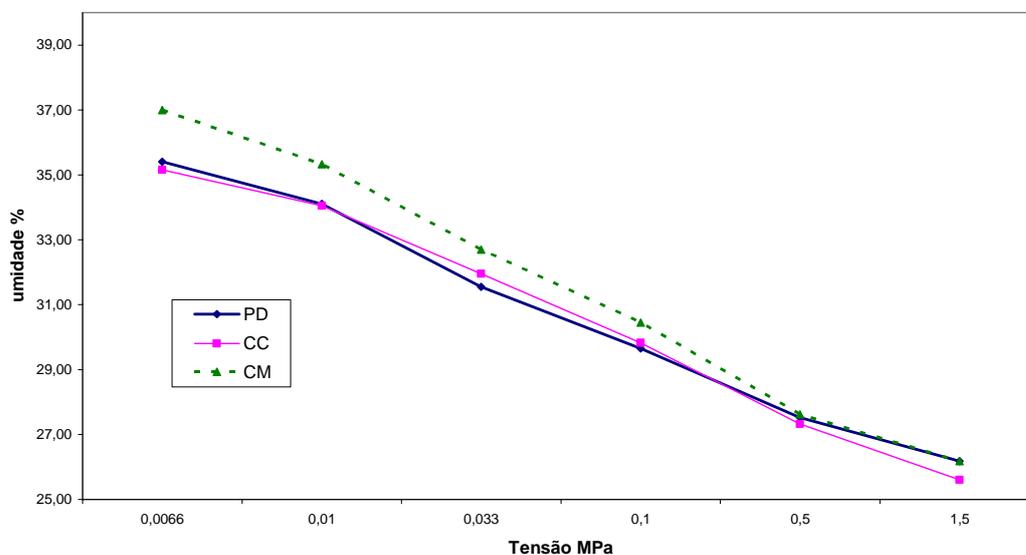


Figura 44 – Detalhe da retenção média de água no horizonte Bt por sistema de produção.

Avaliando-se os resultados obtidos nos estudos de retenção de água para os horizontes do solo nos diferentes sistemas de produção, pode-se concluir que para a camada subsuperficial – horizonte Bt, os valores obtidos foram maiores para o cultivo mínimo em todas as tensões estudadas. Esses valores são compatíveis com os valores

médios de microporosidade identificados, porém não condizem com os resultados de condutividade hidráulica de laboratório cujo sistema de produção de plantio direto apresenta valores superiores neste horizonte.

Conforme pode ser observado nas figuras apresentadas, para o horizonte diagnóstico Bt, os valores de retenção de água apresentam-se muito próximos para todos os níveis de tensão estudados, compatível com o percentual de microporosidade da amostra, demonstrando a falta de impacto do sistema de manejo do solo neste atributo nessa profundidade, no período de implantação.

5.4 - Influencia do sistema de produção na temperatura do solo

O estudo do comportamento da temperatura do solo em diferentes profundidades foi realizado ao longo do ciclo da cultura do tomate e avaliado nas profundidades de 20, 40 e 60 cm, monitorado às 7, 12 e 17 horas. As figuras 45, 46 e 47 apresentam o comportamento da temperatura máxima e mínima para cada um dos três sistemas de produção avaliados, nas profundidades de 20, 40 e 60 cm, para os três horários monitorados.

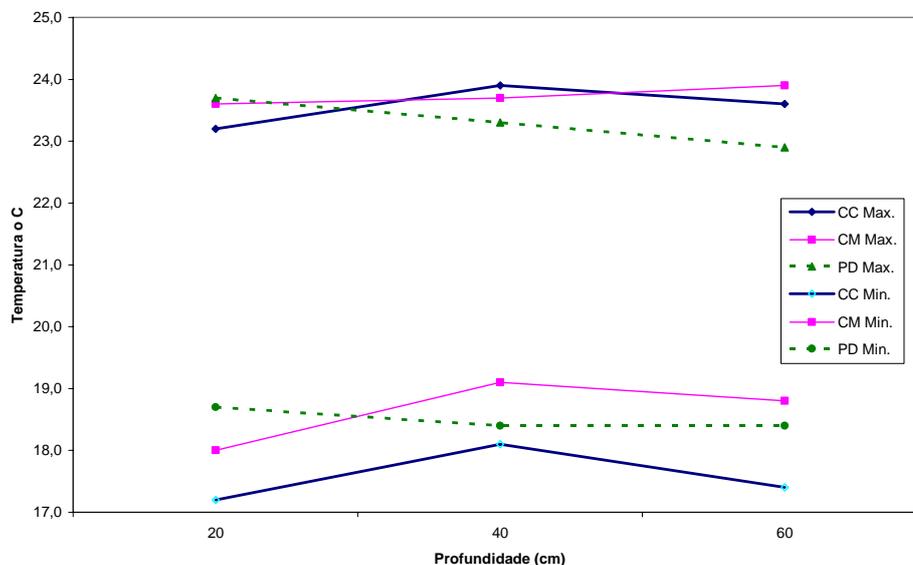


Figura 45 – Temperaturas máxima e mínima e amplitude térmica às 7 h. para os sistemas de produção, nas profundidades de 20, 40 e 60 cm.

Para a média da temperatura às 7 horas da manhã, figura 45, o sistema de plantio direto foi o que apresentou a maior temperatura ($23,7^{\circ}$ C) em superfície, e a menor amplitude térmica para as três profundidades monitoradas, ($18,7$ a $23,7^{\circ}$ C) enquanto que o sistema convencional foi o que apresentou a maior amplitude de temperaturas ($17,4$ a $23,6^{\circ}$ C) a 60 cm de profundidade, no entanto, como esperado, esta amplitude térmica também ocorreu para o sistema de produção de plantio convencional nas profundidades de 20 e 40 cm.

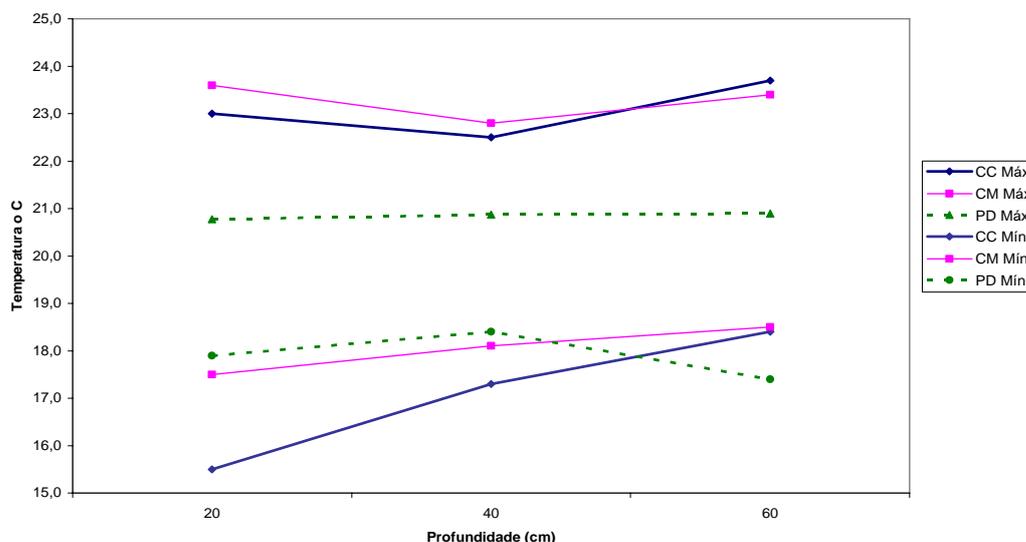


Figura 46 – Temperatura máxima e mínima e amplitude térmica às 12 horas para os três sistemas de produção avaliados nas profundidades de 20, 40 e 60 cm.

Com relação à variação da temperatura às 12 horas, as amplitudes térmicas aumentaram com relação ao monitoramento realizado às 7 horas. Como pode ser visualizado na figura 46, o sistema de produção de plantio direto foi o que apresentou a menor amplitude térmica para as camadas do solo – 20, 40 e 60 cm (aprox. 5 °C), enquanto que o sistema convencional foi o que apresentou a maior amplitude de temperaturas para as três profundidades, 20, 40, e 60 cm, chegando, essa amplitude, a valores (7,5 °C), 50% superiores na camada superficial quando comparado ao sistema de produção de plantio direto.

Resultados semelhantes foram obtidos por SALTON & MIELNICZUK (1995) e por SILVA et al. (2006) que também identificaram menor temperatura máxima e amplitudes térmicas inferiores para o sistema de produção de plantio direto em detrimento dos sistemas de produção de plantio convencional e de cultivo mínimo.

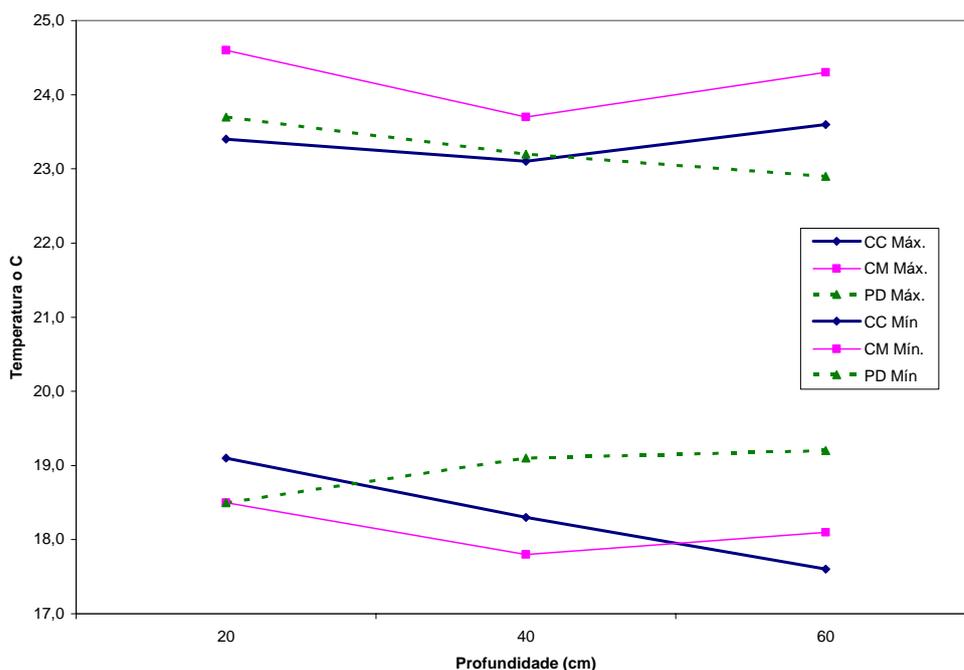


Figura 47 - Temperatura máxima e mínima e amplitude térmica às 12 horas para os três sistemas de produção avaliados nas profundidades de 20, 40 e 60 cm.

Observando-se os resultados de temperatura obtidos às 17 horas para os três sistemas de produção avaliados, conforme apresentado na figura 47, o sistema de produção de plantio convencional foi o que apresentou a menor amplitude térmica em superfície ($4,3^{\circ}\text{C}$), enquanto que a 60 cm de profundidade, o plantio convencional foi o que apresentou a maior amplitude térmica ($8,8^{\circ}\text{C}$), resultado quase duas vezes e meia, maior que a do sistema de produção de plantio direto para a mesma profundidade.

Esses resultados demonstram o impacto que o sistema de produção de plantio direto, que incorpora o uso de palhada de cobertura no solo, têm sobre a influência na variação das temperaturas do solo ao longo do dia, semelhante aos resultados obtidos por COSTA et al. (2006) que identificaram a menor amplitude térmica diária para o sistema de produção de plantio direto.

5.5 – Análise da produção face aos sistemas produção

Os resultados obtidos a partir da avaliação da produtividade da lavoura de tomate de mesa, cultivar Débora, indicaram superioridade da produção média obtida por planta no sistema de plantio direto que contempla a irrigação por gotejamento.

Esses resultados eram esperados em função do monitoramento dos teores de umidade no solo, uma vez que, no sistema convencional de produção e no sistema de cultivo mínimo o aporte de água ficava limitado a apenas àquele que cabe no “covão” aberto, o que reduz o volume potencial de água a ser aplicado por irrigação, além de expor esta umidade à evaporação, não estando disponível para as plantas, conforme monitoramento realizado.

O sistema de produção de tomate de mesa que contempla o plantio direto e a irrigação por gotejamento apresentou resultados de produção média por planta 50% superiores aos obtidos no sistema convencional utilizado em larga escala na região.

A figura 48 demonstra as diferenças entre as produções médias de caixas de tomate de 22 kg. Obtidas por planta por sistema de produção.

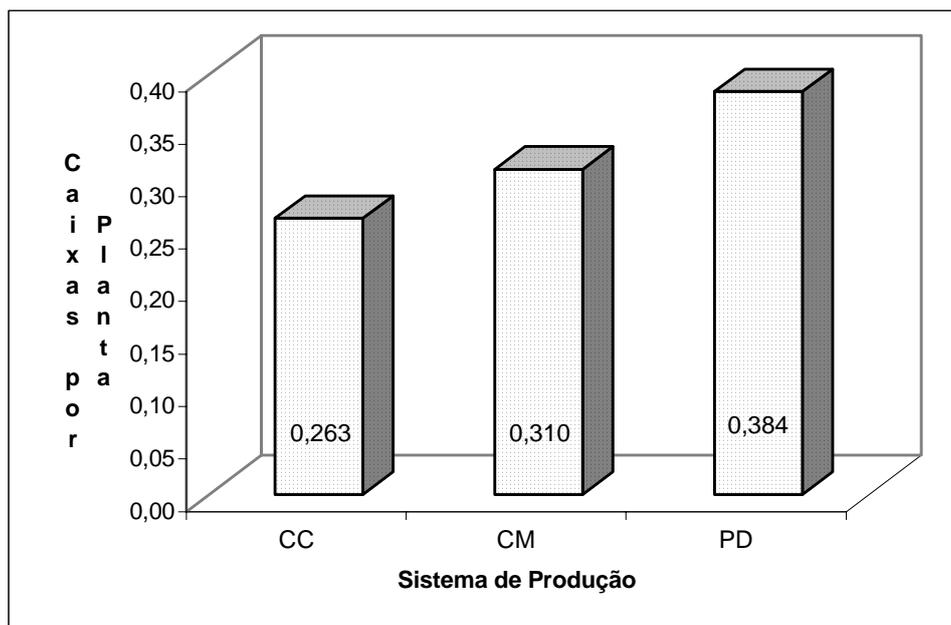


Figura 48 – Produção média obtida por planta por sistema de produção.

Esses resultados podem ser avaliados como expressivo em virtude do valor médio obtido de 0,38 caixa de 22 kg de tomate “Débora” por planta no sistema de plantio direto, o que equivale à produção de cerca de 125 toneladas por hectare, com o stand de 15.000 plantas por hectare. Vale citar, que esse resultado de produção foi obtido com níveis de adubação inferiores aos normalmente utilizados na região. Outro fato que merece a atenção é que os resultados obtidos apontam para um recorde de produção declarado, para o cultivar “Débora” no município de São José do Ubá, e que na área da unidade de pesquisa houve um erro na poda da gema apical que comprometeu, por queima do fruto, cerca de 8% da produção total.

Resultados semelhantes de aumento da produção em função do sistema de produção adotado foram descritos por COSTA et al. (2003) que obteve resultados 42% e 22% de aumento de produtividade para a soja e milho respectivamente, num estudo de longo prazo, 21 anos. Todavia, SECCO et al. (2004); SECCO et al. (2005) e SILVA et al. (2005) não encontraram diferenças significativas de produtividade quando compararam o

sistema de plantio direto com outros sistemas de produção, porém, vale citar que o manejo da água não foi um atributo avaliado em nenhum dos estudos citados, diferentemente, desta pesquisa.

No presente estudo, apesar do curto período de tempo de adoção do sistema de produção, apenas um ano, as diferenças entre as práticas de manejo do solo e da água adotados, entre os três sistemas de produção são bastante distintas, em particular com relação ao manejo do solo e principalmente, no manejo da água, com a adoção da irrigação por gotejamento no sistema de produção de plantio direto.

A não viabilidade da adoção do sistema de plantio direto como um todo, que inclui além do plantio de leguminosas para formação de palhada, o cultivo em nível, a adoção de tração animal, a construção de terraços, a rotação de culturas, o uso de espaldar, a condução por fitilho e por fim a irrigação por gotejamento sugere que a adoção pode ser parcial através da adoção do cultivo mínimo, que foca suas diferenças no manejo do solo, e que apresentou resultados 20% superiores aos métodos tradicionais, e contempla, todas essas práticas, exceto a irrigação por gotejamento, conforme pode ser comprovado pela avaliação estatística apresentada na tabela 20.

Tabela 20 – Comparação das médias dos valores de produção por análise estatística para os três sistemas de produção: cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto com teste t-student para n= 14.

Cultivo Convencional (CC)	Cultivo Mínimo (CM)	Plantio Direto (PD)	CC vs CM	CC vs. PD	CM vs. PD
Caixas por planta			Valor p		
0,263	0,310	0,384	0,0046 *	0,0001 *	0,0001 *

Valor p seguido de * indica que as médias diferem significativamente entre si pelo teste de t-student a 5%.

5.6 Qualidade da água de irrigação

A avaliação da qualidade de água de irrigação foi realizada na fonte de captação utilizada para a área experimental, com amostras coletadas a cerca de 0,50 m de profundidade por volta das 12 horas, em quatro coletas distintas, com três repetições cada, ao longo do ciclo da lavoura.

Os resultados da avaliação do pH, da condutividade hidráulica, do oxigênio dissolvido, da turbidez, da salinidade e da temperatura podem ser visualizados na tabela 21.

Tabela 21 - Resultado das determinações de água de irrigação.

pH	CE (mS/cm)	OD (mg/l)	Turbidez	Salinidade (%)	Temperatura (°C)
6,60	0,254	3,35	10	0,00	23,1
6,55	0,259	3,45	10	0,00	25,9
6,60	0,244	3,56	10	0,00	24,1
6,65	0,258	3,35	10	0,00	23,8

Os resultados apresentados anteriormente foram avaliados exclusivamente com relação à qualidade da água com o objetivo da sua utilização em agricultura irrigada.

Dessa forma, dentre os elementos avaliados acima, a condutividade elétrica é o mais relevante no nosso caso, uma vez que é uma maneira de indicar indiretamente a quantidade de sais presentes em uma solução, pois, quanto maior a condutividade elétrica, maior é a quantidade de sais na solução avaliada.

Diferentes culturas agrícolas apresentam tolerâncias distintas à salinidade, o tomate é uma hortaliça relativamente tolerante a salinidade, porém, não atingindo, produções de rendimento comercial para valores de condutividade elétrica superiores a $1,5 \text{ dSm}^{-1}$. Nessas culturas, não tolerantes, o sintoma da manifestação da salinidade é a “seca

fisiológica”, ou seja, mesmo existindo água no solo a planta não tem condições de absorvê-la devido ao excesso de sais.

As avaliações da qualidade da água empregada na condução desta pesquisa apresentam resultados compatíveis ao uso sendo a mesma avaliada como classe C1S1, ou seja, sem limitações e riscos para o uso em agricultura irrigada.

O uso de águas de irrigação com teores e concentrações de sais na solução é mais comum do que se possa imaginar em diferentes regiões do mundo, em especial no Oriente Médio, onde GAWAD et al. (2005) e MALASH et al. (2005) estudaram o impacto da utilização de água de irrigação com diferentes concentrações de sais na irrigação por gotejamento do tomate, na Síria e no Egito respectivamente.

5.7 - Volume de água de irrigação aplicado

O monitoramento do volume de água aplicada na irrigação dos sistemas de produção foi realizado através do registro das leituras do hidrômetro para cada um dos eventos de irrigação.

Com relação ao consumo de água por sistema de produção, como visualizado na figura 49, os resultados obtidos demonstram um maior consumo total de água para o sistema de produção de plantio direto. Todavia, esse resultado, não esperado, nem obtido por outros pesquisadores, pode ser justificado pelas diferenças entre os sistemas de irrigação adotados.

A diferença entre o manejo da água, molhação na cova por mangueirão, nos sistemas de produção convencional e de cultivo mínimo, e o sistema de produção de plantio direto que contemplou o uso de irrigação por gotejamento superficial com gotejadores inseridos, gerou este resultado aparentemente incoerente.

Todavia, quando se avalia a característica dos sistemas de irrigação adotada percebe-se que o gotejamento superficial, com gotejadores inseridos, espaçados entre si de 40 cm e vazão de 2,5 litros por hora, gera uma faixa contínua molhada, desta maneira, quando se consideram apenas os valores de influência da planta, cerca de 65% da área, os valores totais de aplicação hídrica são semelhantes nos três sistemas de produção.

Resultados de economia de 11% no consumo de água durante todo o ciclo da cultura do tomate foi obtido por MAROUELLI et. al. (2006), quando comparou o uso de sistema de produção de plantio direto, com diferentes níveis de palhada e o sistema de produção de cultivo convencional.

É importante ressaltar que os volumes de água aplicados nos sistemas de produção por cultivo mínimo e o sistema de produção por cultivo convencional têm o seu volume de água por irrigação limitado ao volume do covão. Dessa forma, faz-se necessário ampliar a frequência, ou seja, diminuir o turno de rega, nestes sistemas de produção, com o objetivo de suprir a demanda hídrica, pois o volume de água aplicado por irrigação é limitado à capacidade volumétrica do “covão”.

No intuito de avaliar as melhores técnicas de irrigação para a cultura do tomate, MAROUELLI et al. (2003) identificaram o sistema de gotejamento como o mais indicado para o tomate industrial, em face de redução do volume de frutos podres. Com o mesmo objetivo, NOGUEIRA et al. (2000) obtiveram resultados superiores com o uso de tubos gotejadores em subsuperfície, quando comparado com esses gotejadores em superfície.

Em outro estudo, MAROUELLI & SILVA (2005) identificaram que o turno de rega afeta a profundidade de desenvolvimento do sistema radicular, com raízes mais profundas em quando da adoção de turnos de rega maiores. Todavia, não obtiveram resultados significativos para o tamanho, o peso e o número de frutos por planta.

Outra técnica empregada para o bom desenvolvimento da lavoura e que, por via indireta, gera redução do volume de água aplicado durante o ciclo da lavoura, é a adoção de um pequeno stress hídrico na plantas uma a duas semanas após o transplântio. Nessa linha, NGOUAJIO et al. (2007) obtiveram economia de 20 % do volume de água aplicado e incremento de 12 a 14% no número de frutos.

O volume de água representado na figura 49 refere-se aos valores médios da razão entre o volume de água total medido por evento de irrigação dividido pelo número de plantas por sistema de produção considerando a faixa molha para o sistema de plantio direto.

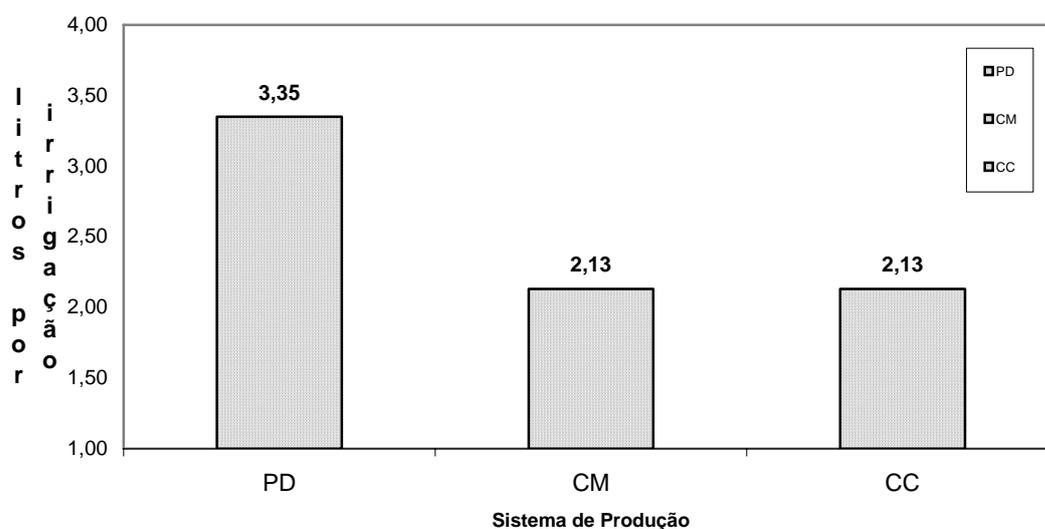


Figura 49 – Volume médio de água aplicado por planta por irrigação.

A vazão do sistema, tanto para os sistemas de produção que fazem uso do mangueirão quanto do sistema de gotejamento é da ordem de 4,0 m³/hora, limitado pelo sistema de adução e os níveis de aceleração do motor à combustão utilizado. A variação da vazão medida por evento de irrigação pode ser visto na figura 50 apresentada a seguir.

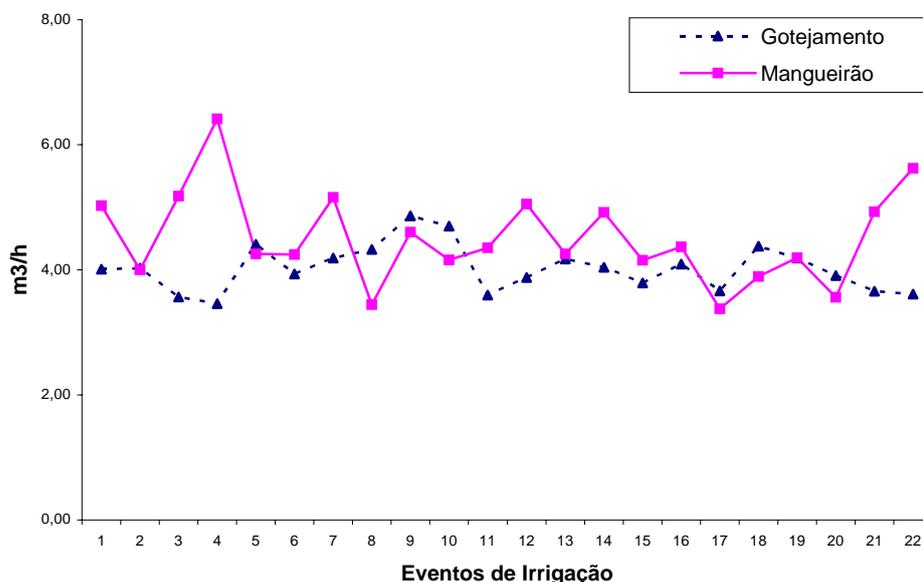


Figura 50 – Vazão média do sistema de irrigação.

Com base nos resultados obtidos, vale ressaltar que, quando se avalia o volume total de água aplicado na linha de plantio (sistema de produção de plantio direto), considerando o espaçamento entre os gotejadores inseridos (0,4 m) e o aplicado na lavoura, 1,2 m entre linhas e 0,8 m entre plantas, obtém-se uma área molhada, de alcance das raízes, de aproximadamente, 66,6% do volume total aplicado.

Com base nesse raciocínio, pode-se afirmar que o volume de água médio efetivamente utilizado pela lavoura da unidade experimental com sistema de produção de plantio direto por planta por evento de irrigação foi de 2,21 litros, portanto, apresentando uma diferença de cerca de apenas 4% superior aos sistemas de plantio convencional e cultivo mínimo.

Avaliando a demanda hídrica total da lavoura de feijão irrigado em sistema de plantio direto e plantio convencional NASCIMENTO et al. (2001) obtiveram resultados 20%

inferiores no consumo de água no sistema de plantio direto; e economia de 29% de água através do manejo da irrigação por tensiometria contra a estimativa do tanque Classe A.

Todavia, com base nos dados de produção, de demanda hídrica e do monitoramento da dinâmica da água, pode-se afirmar que as lavouras conduzidas nos sistemas de produção convencional e de cultivo mínimo passaram por longos períodos de déficit hídrico escondido, em especial nas fases de maturação e colheita, pois, no ano de estudo, 2004, as fases, de desenvolvimento vegetativo e de floração foram bastante chuvosas, fato que, com certeza, inibiu o déficit hídrico nessas fases, uma vez que, a irrigação por molhamento com mangueirão em cova com turno de rega variando de dois a três dias, não supre a demanda hídrica das lavouras, exceto, na sua fase inicial, logo após o transplântio.

5.8 - Dinâmica da água no solo nos sistemas de produção

Neste item será analisado o comportamento hidrológico dos sistemas de produção, incluindo os processos de recarga e redistribuição interna, bem como a sua relação com o desenvolvimento do sistema radicular e com a produção obtida. Os resultados obtidos têm origem nos dados das estações de monitoramento instaladas na área nas profundidades de 20, 40, 60 e 80 cm, com três repetições para cada sistema de produção. Essas estações foram localizadas na linha de plantio, nas proximidades das plantas e também em locais determinados entre plantas.

O potencial matricial foi monitorado no período de 20 de abril de 2005, data de transplântio da lavoura de tomate, até 25 de setembro de 2005, data posterior a última colheita realizada. A avaliação das condições de recarga e drenagem do solo ao longo do período de monitoramento foi realizada através da comparação dos valores de potenciais matriciais de água no solo na profundidade de 80 cm.

Com base no comportamento dos potenciais matriciais médios dos diferentes sistemas de produção e com o objetivo de facilitar a interpretação dos resultados, bem como tornar a avaliação do comportamento hidrológico compatível com a lavoura de tomate, o período da lavoura foi dividido em 4 fases distintas, conforme a figura 51.

Fase I – Vegetativa, com cerca de 60 dias do transplante;

Fase II – Florescimento, cerca de 35 dias, do florescimento ao início da frutificação;

Fase III – Frutificação, cerca de 30 dias de duração;

Fase IV – Maturação e colheita, 30 dias de duração.

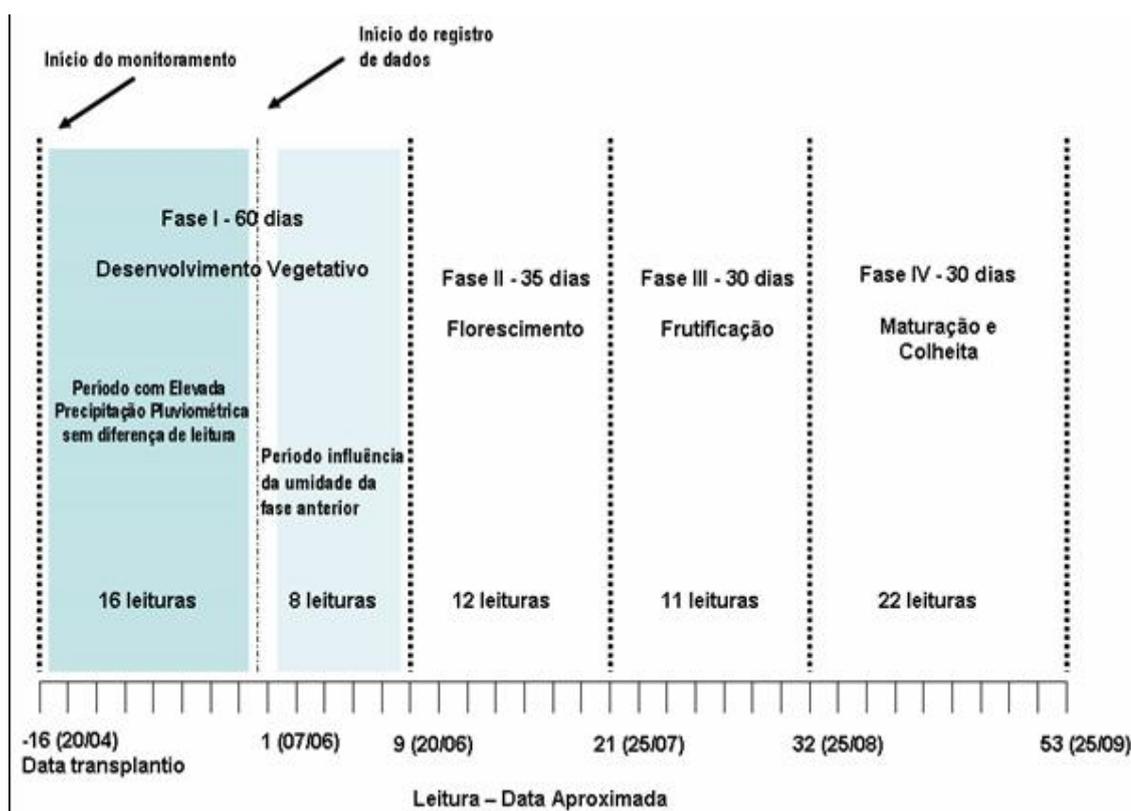


Figura 51 – Esquema geral das fases de desenvolvimento da lavoura de tomate, com respectivas datas limites aproximadas; características de umidade especiais da fase de desenvolvimento da lavoura, número de leituras realizadas por fase da cultura.

A figura 51 ajuda a ilustrar a maneira como foram obtidos e processados os dados de potencial matricial de água no solo. O monitoramento teve início imediatamente ao transplante da lavoura de tomate (20/04), porém, face à saturação dos sensores de matriz granular, para a instalação e calibração, e às freqüentes chuvas neste período, apenas, a partir do início do mês de junho foi possível obter registro de leituras diferentes de zero, tensão que indica a saturação do solo.

Posteriormente, as leituras foram realizadas em intervalos irregulares de 24, 48 ou 72 horas e registradas como leituras seqüenciais nos gráficos apresentados com o intuito de registrar uma tendência ao longo do tempo.

O resultado do monitoramento do potencial matricial às 7 horas da manhã para os três sistemas de produção avaliados, nas quatro profundidades monitoradas, durante todo o ciclo da cultura pode ser visualizado nas figuras 52, 53 e 54 apresentadas a seguir.

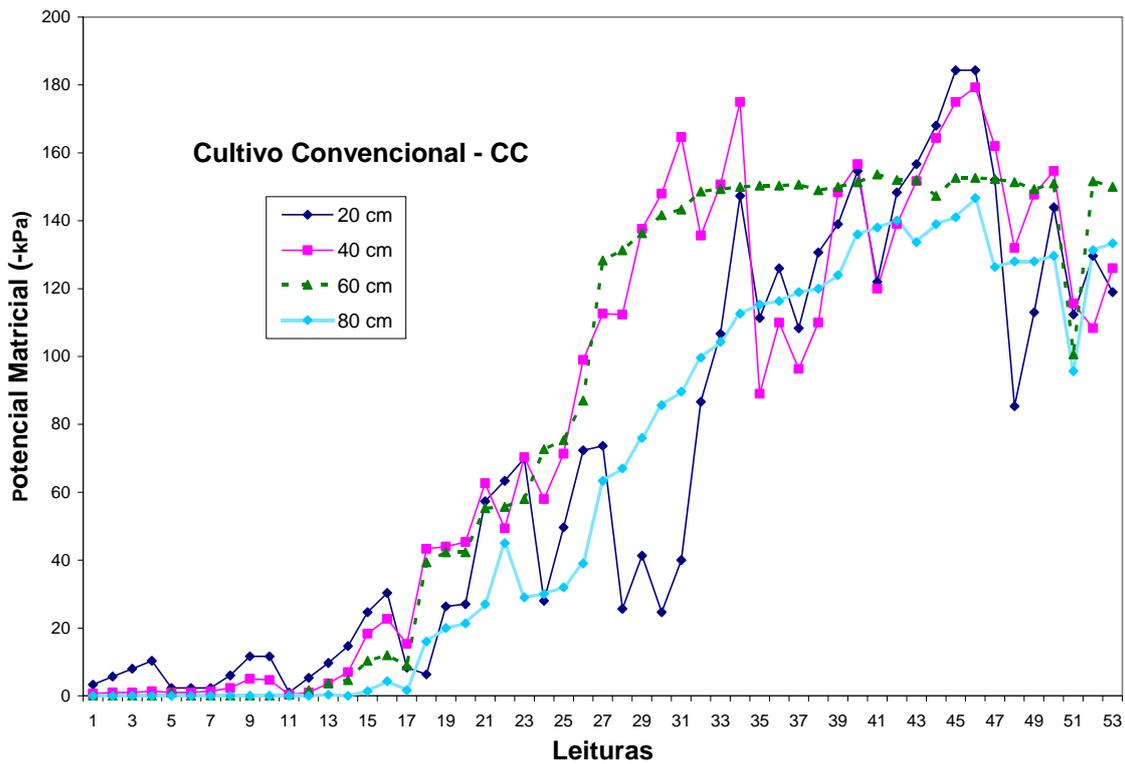


Figura 52 – Valores médios do potencial matricial da água no solo para o sistema de produção de cultivo convencional.

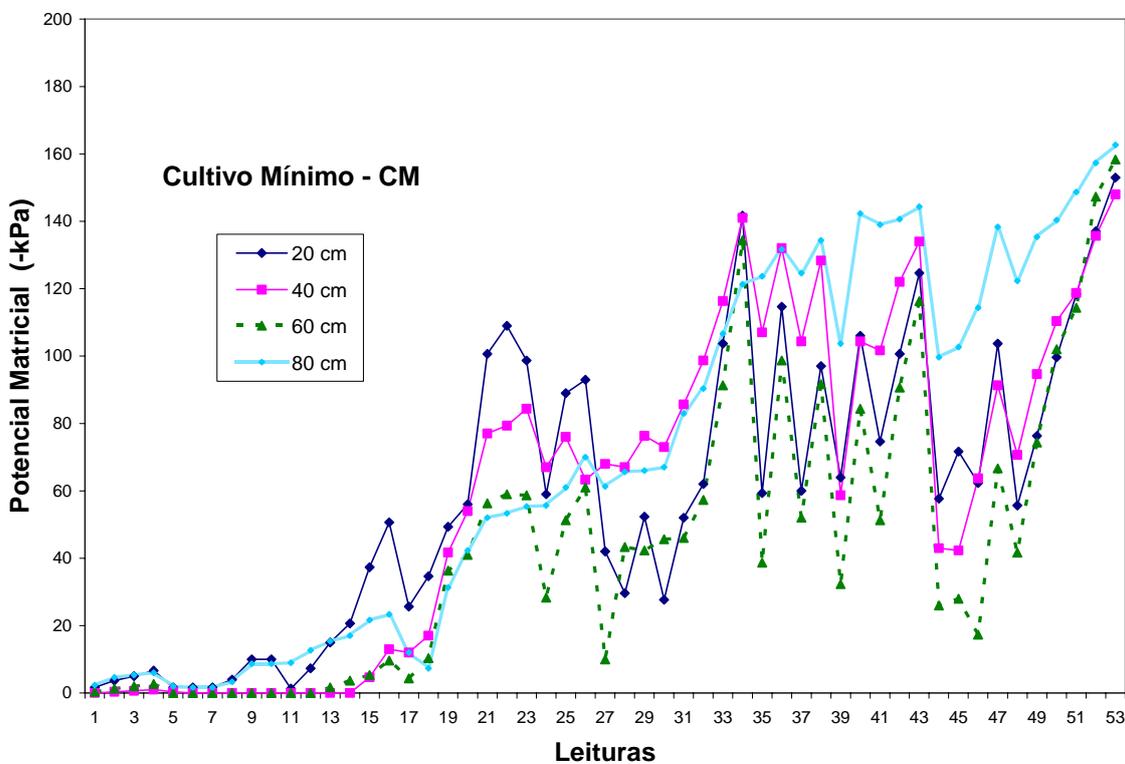


Figura 53 – Valores médios do potencial matricial da água no solo para o sistema de produção de cultivo mínimo.

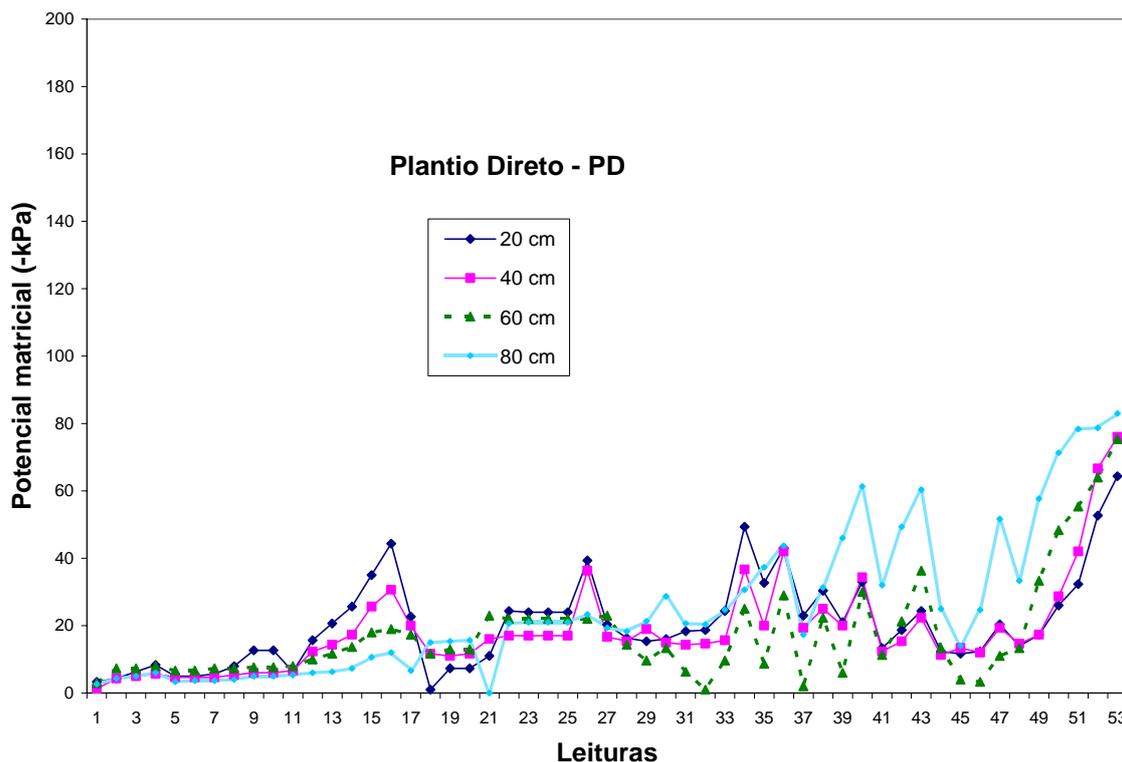


Figura 54 – Valores médios do potencial matricial da água no solo para o sistema de produção de plantio direto.

Nas figuras 52, 53 e 54 foram apresentados os valores médios dos potenciais matriciais nas profundidades de 20, 40, 60 e 80 cm. Comparando os três sistemas de manejo, pode-se identificar que, até o fim do período vegetativo, Fase I, nas figuras já citadas, há uma equivalência entre os potenciais matriciais, quer seja entre as quatro profundidades monitoradas, quer seja entre os sistemas de produção avaliados, com todos apresentando valores próximos a zero, ou seja, saturados, com predomínio da componente gravitacional do movimento da água no solo, pois a mesma está retida a tensão muito baixa no solo.

Essas diferenças de médias, não são significativas estatisticamente em nenhuma das profundidades para a Fase I da lavoura como pode ser verificada na tabela 22 a seguir.

Tabela 22 – Comparação dos valores médios obtidos na determinação da tensão na linha de plantio e análise estatística para as profundidades, 20, 40, 60 e 80 cm, na FASE I, para os sistemas de produção: cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto com teste t-student para n= 4.

FASE I Vegetativa	Cultivo Convencional (CC)	Cultivo Mínimo (CM)	Plantio Direto (PD)	CC vs CM	CC vs. PD	CM vs. PD
Profundidade (cm)	Tensão (-KPa)			Valor p		
20	5,04	3,25	5,75	0,487	0,860	0,491
40	1,21	0,29	4,46	0,230	0,317	0,208
60	0,13	0,79	6,71	0,419	0,121	0,160
80	0,00	3,38	4,08	0,095	0,079	0,777

Valor p seguido de * indica que as médias diferem significativamente entre si pelo teste de t-student a 5%.

Esse comportamento era esperado e absolutamente normal em virtude da permanente e freqüente ocorrência de precipitação pluviométrica neste período, fato que, inclusive, não permitiu o uso de fertirrigação nesta pesquisa.

Na fase seguinte, de florescimento da lavoura, denominada de Fase II - limitada nas figuras apresentadas pela leitura 21 - há um comportamento semelhante entre os três sistemas de produção avaliados, ou seja, um aumento mais rápido da tensão da água no solo para as camadas de 20 e 40 cm, ainda sobre grande influência do período chuvoso atípico. Todavia, avaliando-se os gráficos apresentados nota-se que o sistema de produção de plantio direto apresenta valores de umidade superiores ao longo do período, em todas as profundidades (tabela 23, apresentada a seguir) que só registra a média de todos os dias do período considerado, ao contrário dos dados apresentados nos gráficos que são uma média dos sensores instalados, porém, sempre para um único dia de leitura.

Tabela 23 – Comparação dos valores médios obtidos na determinação da tensão na linha de plantio e análise estatística para as profundidades, 20, 40, 60 e 80 cm, na FASE II, para os sistemas de produção: cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto com teste t-student para n= 4.

FASE II Florescimento	Cultivo Convencional (CC)	Cultivo Mínimo (CM)	Plantio Direto (PD)	CC vs CM	CC vs. PD	CM vs. PD
Profundidade (cm)	Tensão (-KPa)			Valor p		
20	14,75	26,50	17,61	0,211	0,551	0,314
40	17,56	11,86	14,44	0,488	0,571	0,712
60	13,81	9,36	12,56	0,403	0,840	0,534
80	5,42	17,44	9,19	0,009 *	0,303	0,110

Valor p seguido de * indica que as médias diferem significativamente entre si pelo teste de t-student a 5%.

Nas fases seguintes, III e IV, frutificação, maturação e colheita, quando o efeito da precipitação pluviométrica é eliminado, e a planta encontra-se na fase de maior demanda hídrica, a diferenciação entre os sistemas aparece de maneira mais clara, quando avaliamos o comportamento geral apresentado pelos gráficos das figuras 52, 53 e 54, demonstrando as vantagens do sistema de produção de plantio direto com potenciais matriciais sempre superiores para este sistema de produção. Resultados semelhantes foram obtidos por MORENO et al. (1997) e BERTOLINO (2004).

Todavia, quando avaliamos apenas a análise estatística do teste comparativo de médias na tabela 24, esses resultados não são tão absolutos, para a fase III, onde apenas na profundidade de 20 cm quando comparados os sistemas de cultivo mínimo e plantio direto e cultivo convencional e plantio direto na profundidade de 40 cm. Essa diferença de leitura pode ser explicada pelo elevado desvio padrão das médias, uma vez que cada fase contempla cerca de 30 dias de monitoramento com leituras diárias e três repetições, fato que, em virtude da variabilidade e da dinâmica do atributo monitorado, leva a esses elevados valores de desvio padrão.

Tabela 24 – Comparação dos valores médios obtidos na determinação da tensão na linha de plantio e análise estatística para as profundidades, 20, 40, 60 e 80 cm, na FASE III, para os sistemas de produção: cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto com teste t-student para n= 4.

FASE III Frutificação	Cultivo Convencional (CC)	Cultivo Mínimo (CM)	Plantio Direto (PD)	CC vs CM	CC vs. PD	CM vs. PD
Profundidade (cm)	Tensão (-KPa)			Valor p		
20	49,64	68,45	21,18	0,231	0,115	0,001 *
40	98,73	74,27	18,24	0,438	0,005 *	0,087
60	98,64	45,64	18,15	0,206	0,067	0,125
80	53,06	62,76	21,42	0,604	0,111	0,066

Valor p seguido de * indica que as médias diferem significativamente entre si pelo teste de t-student a 5%.

Todavia, quando os resultados obtidos são absolutamente claros, como na fase IV, período de início de primavera na região, com aumento do comprimento do dia, e maiores valores de evapotranspiração, os resultados apresentados nos gráficos das figuras já citadas e os da tabela 25 são semelhantes.

Tabela 25 – Comparação dos valores médios obtidos na determinação da tensão na linha de plantio e análise estatística para as profundidades, 20, 40, 60 e 80 cm, na FASE IV, para os sistemas de produção: cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto com teste t-student para n= 4.

FASE IV Maturação e Colheita	Cultivo Convencional (CC)	Cultivo Mínimo (CM)	Plantio Direto (PD)	CC vs CM	CC vs. PD	CM vs. PD
Profundidade (cm)	Tensão (-KPa)			Valor p		
20	133,17	92,89	27,05	0,353	0,026 *	0,070
40	138,52	103,03	26,32	0,396	0,016 *	0,040 *
60	148,47	77,95	23,82	0,228	0,049 *	0,076
80	125,36	128,38	32,06	0,945	0,067	0,010 *

Valor p seguido de * indica que as médias diferem significativamente entre si pelo teste de t-student a 5%.

Esses resultados demonstram que, caso ocorram problemas na irrigação e/ou déficit hídrico na região, espera-se que as lavouras conduzidas com práticas conservacionistas de manejo do solo, apresentariam teores de umidade superiores ao cultivo convencional. Por outro lado, esses valores também indicam que os sistemas conservacionistas, como o sistema de produção com plantio direto, que possuem teores de umidade muito superiores, capazes de suprir a demanda hídrica da lavoura e de contribuir, em melhores condições, na recarga dos aquíferos.

Resultados semelhantes de maiores teores de umidade no solo em sistemas conservacionistas de solo e água também foram registrados por SALTON & MIELNICZUK (1995); URCHEI (1996); LUCARELLI (1997); e COSTA *et al.* (2003)

Uma outra maneira de analisar comparativamente a dinâmica hidrológica da água no solo é avaliar as profundidades monitoradas em função do sistema de produção de cultivo convencional, de cultivo mínimo e de plantio direto, conforme pode ser visualizado nas figuras 55, 56, 57 e 58.

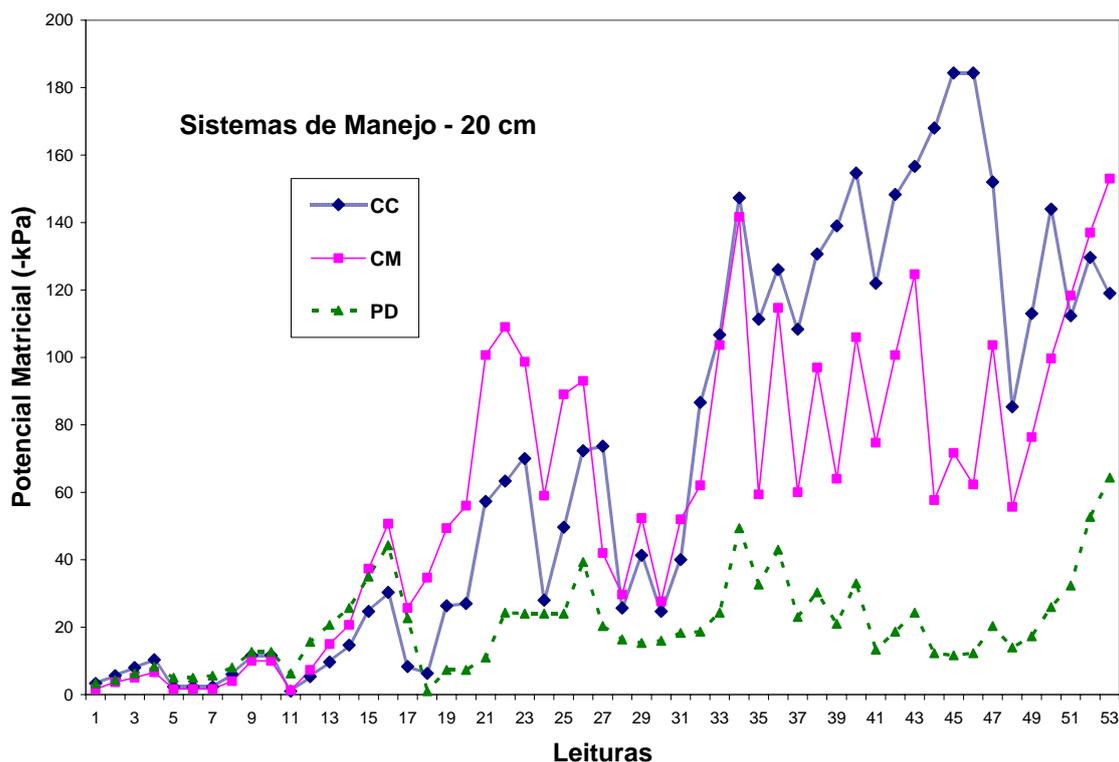


Figura 55 – Valores médios do potencial matricial da água no solo para a profundidade de 20 cm.

Avaliando-se o comportamento do potencial matricial da água no solo, a partir da figura 55, para 20 cm de profundidade, ao longo das quatro fases de cultivo da lavoura de tomate, pode-se observar que na Fase I, os três sistemas apresentam comportamento semelhante influenciado pela precipitação pluviométrica no período. Quando se observa a Fase II, ainda fortemente influenciada pelo regime hídrico do ano de estudo, percebe-se um comportamento similar, porém com o sistema de plantio direto sempre com teores de umidade superior na profundidade em questão. A partir deste ponto, nas Fases III e IV, quando a influência do sistema de produção é preponderante ao comportamento pluviométrico, o sistema de plantio direto apresenta valores médios, de potencial matricial de água no solo, cerca de três vezes superior aos outros dois sistemas de produção.

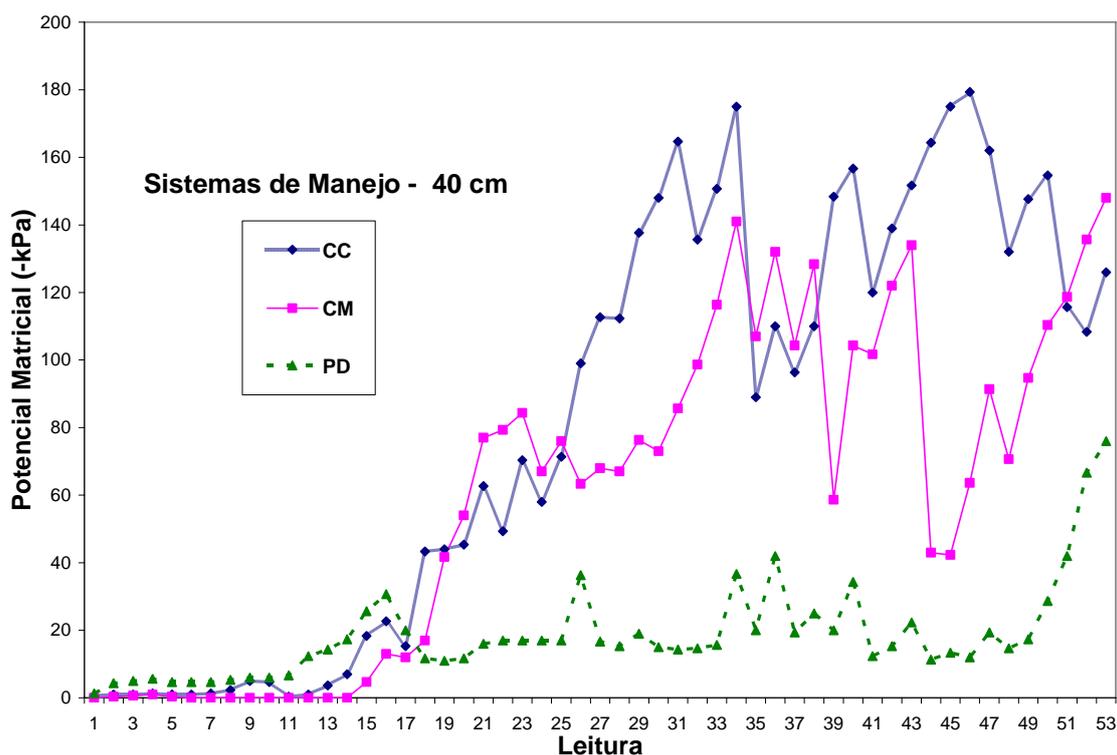


Figura 56 – Valores médios do potencial matricial da água no solo para a profundidade de 40 cm.

Quando se avalia o comportamento do potencial matricial da água no solo na profundidade de 40 cm, ao longo das quatro fases de cultivo da lavoura de tomate, pode-se observar que na Fase I, os três sistemas apresentam comportamento semelhante influenciado pela precipitação pluviométrica no período. Todavia, já a partir de meados da Fase II, diminui acentuadamente a influência do regime hídrico do ano de estudo, surgindo o sistema de plantio direto com teores de umidade muito superiores na profundidade em questão. Pode-se inferir que os sistemas de cultivo convencional e de cultivo mínimo estão perdendo esta umidade para a atmosfera. Nas Fases III e IV, quando a influência do sistema de produção é preponderante ao comportamento pluviométrico, o sistema de plantio direto apresenta valores médios, de potencial matricial de água no solo, quase quatro vezes superiores aos outros dois sistemas de produção. Nessas duas fases finais da lavoura, pode-se verificar que enquanto o aporte de água oferecido pela irrigação atinge

com facilidade a camada de 40 cm no sistema de plantio direto, o suprimento hídrico do sistema de plantio convencional fica limitado aos primeiros 20 cm de solo, com elevadas perdas de água para a atmosfera por evapotranspiração, ficando o sistema de cultivo mínimo em situação intermediária.

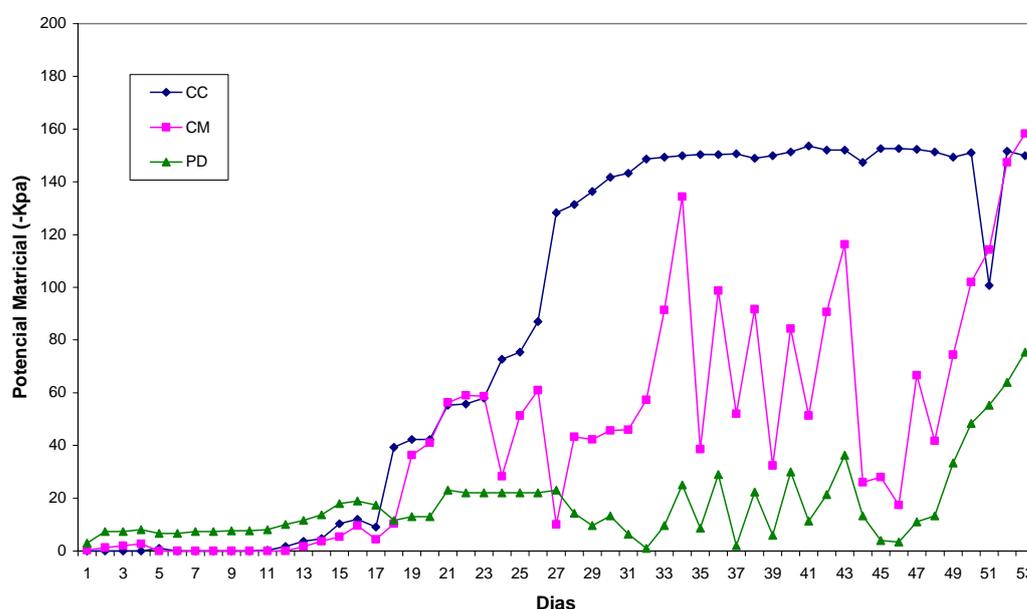


Figura 57 – Valores médios do potencial matricial da água no solo para a profundidade de 60 cm.

Quando se avalia o comportamento do potencial matricial da água no solo para a profundidade de 60 cm, ao longo do ciclo de cultivo pode-se observar que na Fase I e até meados da Fase II, os três sistemas apresentam comportamento semelhante influenciado pelas chuvas no período. Todavia, já a partir de meados da Fase II, quando cessa a influencia do regime hídrico do ano de estudo, o sistema de plantio direto ainda apresenta teores de umidade muito superiores aos demais sistemas de produção avaliados. Como

esta profundidade é considerada limite para a absorção de água pela cultura do tomate, todo esse recurso passa a estar disponível para reentrar no sistema através dos aquíferos.

É importante observar que, no sistema de produção com cultivo mínimo, a umidade responde positivamente nesta profundidade face aos eventos de irrigação. Porém, para o sistema de plantio convencional, nenhuma umidade é incorporada a esta camada de solo por qualquer dos eventos de irrigação monitorados.

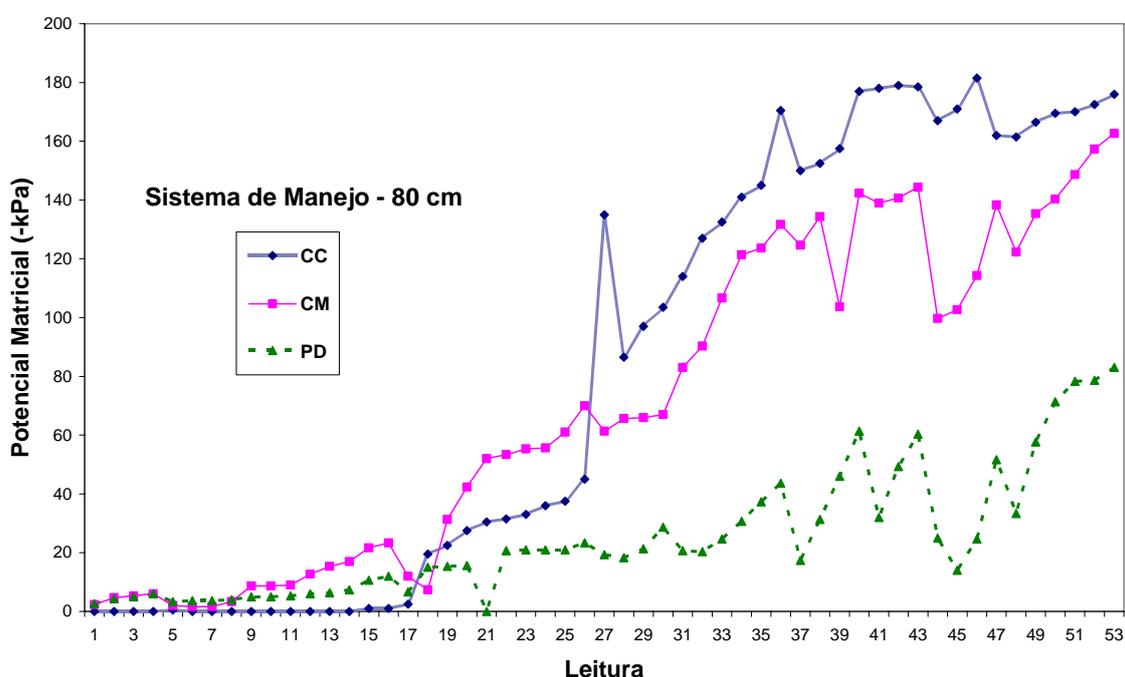


Figura 58 – Valores médios do potencial matricial da água no solo para a profundidade de 80 cm.

Quando avaliamos o comportamento do potencial matricial de água no solo a 80 cm de profundidade durante todo o ciclo da lavoura de tomate podemos afirmar que durante o período chuvoso não houve diferenças entre os três sistemas de produção que disponibilizaram água para a atmosfera e para drenagem profunda e recarga de aquíferos. Por outro lado, nas Fases III e IV, apenas o sistema conservacionista de produção, calcado nos preceitos do plantio direto foi capaz de disponibilizar água em potenciais elevados, passíveis de sofrerem drenagem para as camadas mais profundas.

Uma outra análise que leva à plena compreensão da dinâmica hidrológica do solo em função das precipitações naturais e das diferentes técnicas de manejo do solo e da água adotada pelos sistemas de produção é avaliar o potencial matricial de água no solo entre plantas, ou seja, no intervalo dos “covões” para os sistemas de produção convencional e mínimo, e ao longo da linha dos tubos gotejadores para o sistema de produção de plantio direto.

O comportamento do potencial matricial de água no solo, entre plantas, para as profundidades de 20, 40, 60 e 80 cm., nos três sistemas de produção avaliados, pode ser visualizado nas figuras 59, 60 e 61.

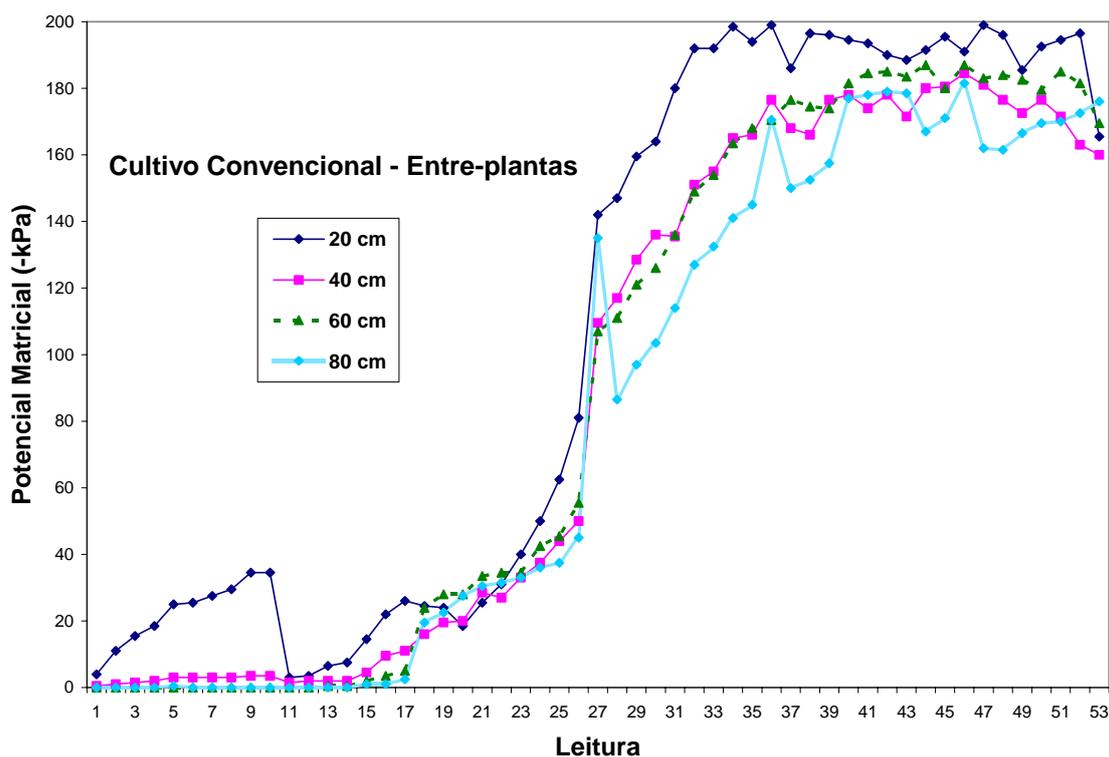


Figura 59 – Valores médios do potencial matricial da água no solo para sistema de produção com cultivo convencional, entre plantas.

Quando se avalia o comportamento do potencial matricial da água no solo entre plantas para o sistema de produção de plantio convencional, ao longo do ciclo de cultivo pode-se observar que desde a Fase I e até próximo ao final da Fase II, período de elevada precipitação pluviométrica no ano de estudo, o potencial matricial na profundidade de 20 cm era inferior ao das demais profundidades, com elevadas perdas de água para a atmosfera. Pode-se justificar esse comportamento pela ausência de cobertura e pela elevada temperatura superficial do solo neste sistema de produção.

Porém, a partir da Fase III até o fim do ciclo da lavoura, o comportamento do potencial matricial de água no solo das quatro profundidades monitoradas é semelhante, pois neste período não foram registrados eventos de chuva natural. Dessa forma, o comportamento do potencial matricial nos sensores localizados entre plantas, ou seja, entre os “covões”, que funciona como bacia de acumulação no sistema de produção convencional; demonstra a completa ausência de influencia dos eventos de irrigação sobre o solo deste local, o qual apresenta muito baixos teores de umidade em todas as profundidades monitoradas, o que limita o volume potencial de solo a ser explorado pelo sistema radicular da planta.

É importante observar que, em vários momentos, no sistema de produção convencional as tensões médias registradas, para a profundidade de 20 cm atinge a -200 kPa, possivelmente, limitados pelo limite de leitura do sensor de matriz granular.

Todavia, quando se avalia o comportamento do potencial matricial da água no solo entre plantas para o sistema de produção de cultivo mínimo, ao longo do ciclo de cultivo, conforme apresentado na figura 59, pode-se observar que desde a Fase I, período de elevada precipitação pluviométrica no ano de estudo, o potencial matricial na profundidade de 20 cm era inferior ao das demais profundidades, comprovando elevadas perdas de

água para a atmosfera. Pode-se justificar esse comportamento pela ausência de cobertura do solo e pela elevada temperatura superficial do solo neste sistema de produção.

Porém, a partir da Fase II, com a aplicação de palhada de arroz de cobertura, até o fim do ciclo da lavoura, o comportamento do potencial matricial de água no solo demonstra uma manutenção dos teores de umidade nas profundidades de 60 e 80 cm. Em detrimento das camadas superficiais de 20 e 40 cm que sofrem maior impacto da perda de água para as camadas inferiores e para a atmosfera.

É importante observar que, diferentemente do sistema de produção convencional, que em vários momentos, registra tensões médias de -200 kPa ou superiores, o sistema de produção de cultivo mínimo apresenta valores cerca de 15% superiores para as camadas superficiais (20 e 40 cm) e de até quase 25 % na camada de 80 cm.

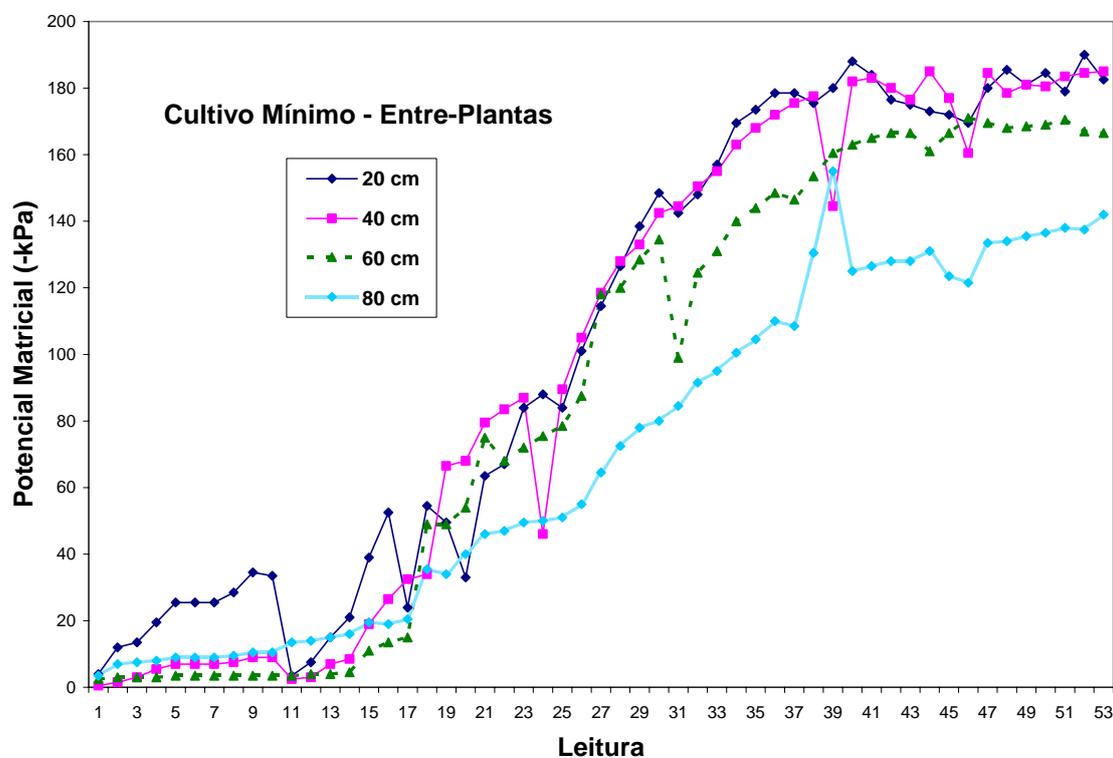


Figura 60 – Valores médios do potencial matricial da água no solo para sistema de cultivo mínimo, entre plantas.

Observando-se a figura 61, que apresenta o gráfico do comportamento do potencial matricial da água no solo entre plantas para o sistema de produção de plantio direto, verifica-se um comportamento completamente distinto do apresentado pelos sistemas de produção de cultivo convencional e de cultivo mínimo.

Esse comportamento é justificado pela diferença fundamental entre os sistemas de irrigação adotados, pois no sistema de produção de plantio direto, a irrigação foi realizada através de tubos com gotejadores inseridos ao longo de toda a linha de plantio, distinto dos outros dois sistemas de produção que realizavam sua irrigação por molhação, com mangueirões, depositando a água em covões onde se localizavam as plantas de tomate.

É importante notar, que exceto um pequeno período na Fase III para a profundidade de 40 cm, durante todo o ciclo da lavoura, o sistema de produção de plantio direto apresenta potenciais matriciais de água no solo compatíveis com o desenvolvimento da lavoura do tomate. Dessa forma, o sistema radicular da lavoura de tomate conduzida sob este sistema de produção pode apresentar uma melhor distribuição horizontal e vertical.

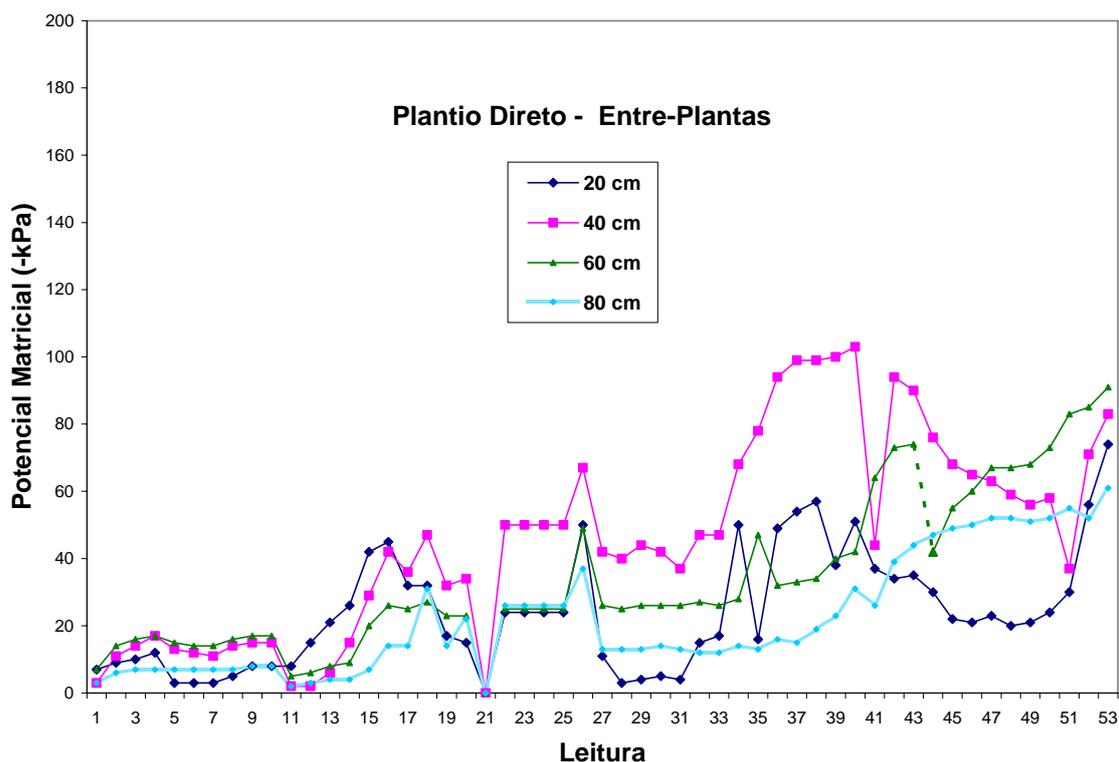


Figura 61 – Valores médios do potencial matricial da água no solo para sistema de produção de plantio direto, entre plantas.

As figuras 62, 63, 64 e 65, facilitam a compreensão e a comparação entre os distintos comportamentos do potencial matricial para as diferentes profundidades monitoradas em função do sistema de produção.

Se avaliarmos a Fase I, de elevados teores de umidade natural, observa-se na figura 62, para a profundidade de 20 cm, um comportamento semelhante e de potencial matricial muito menor para os sistemas de produção de plantio convencional e cultivo mínimo. Isso pode ser explicado pelo estilo de plantio no “covão” desses sistemas, que concentra a umidade nestes locais.

Todavia, para as demais profundidades monitoradas, 40, 60 e 80 cm, e por todo o ciclo da lavoura, o sistema de plantio direto apresenta potencial matricial de água no solo cerca de 5 vezes maior que os apresentados pelos sistemas de cultivo convencional e cultivo mínimo.

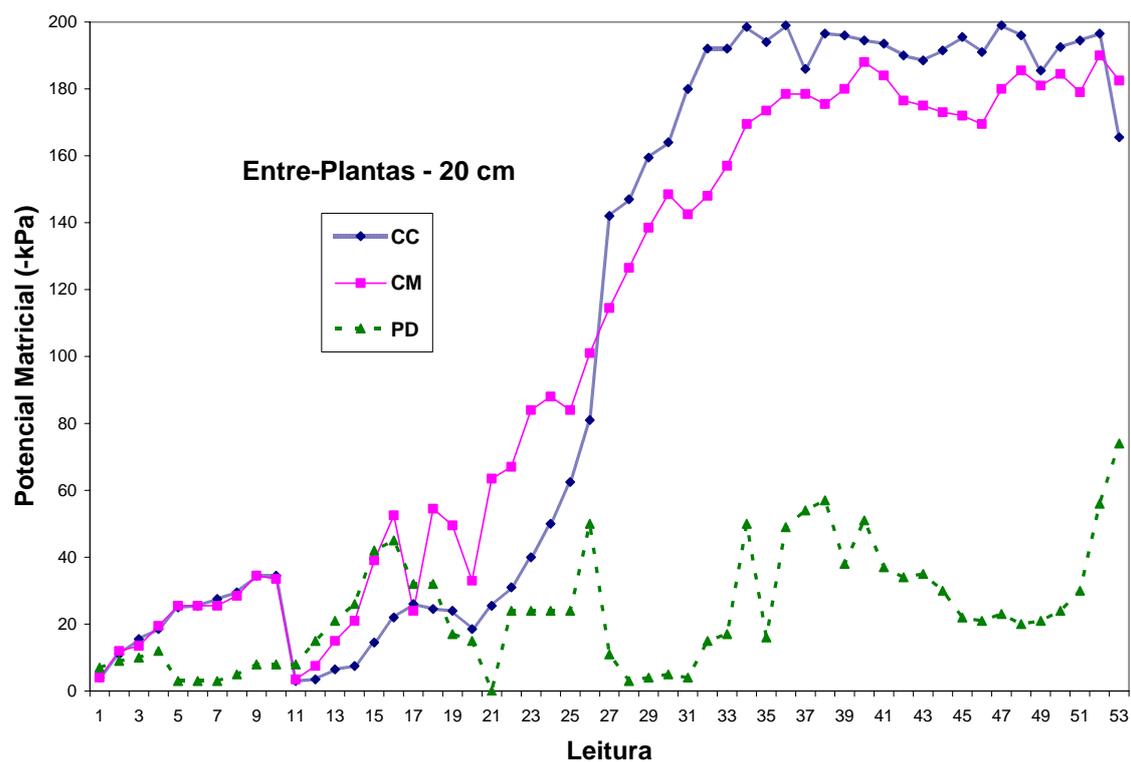


Figura 62 – Valores médios do potencial matricial da água no solo - 20 cm., entre plantas.

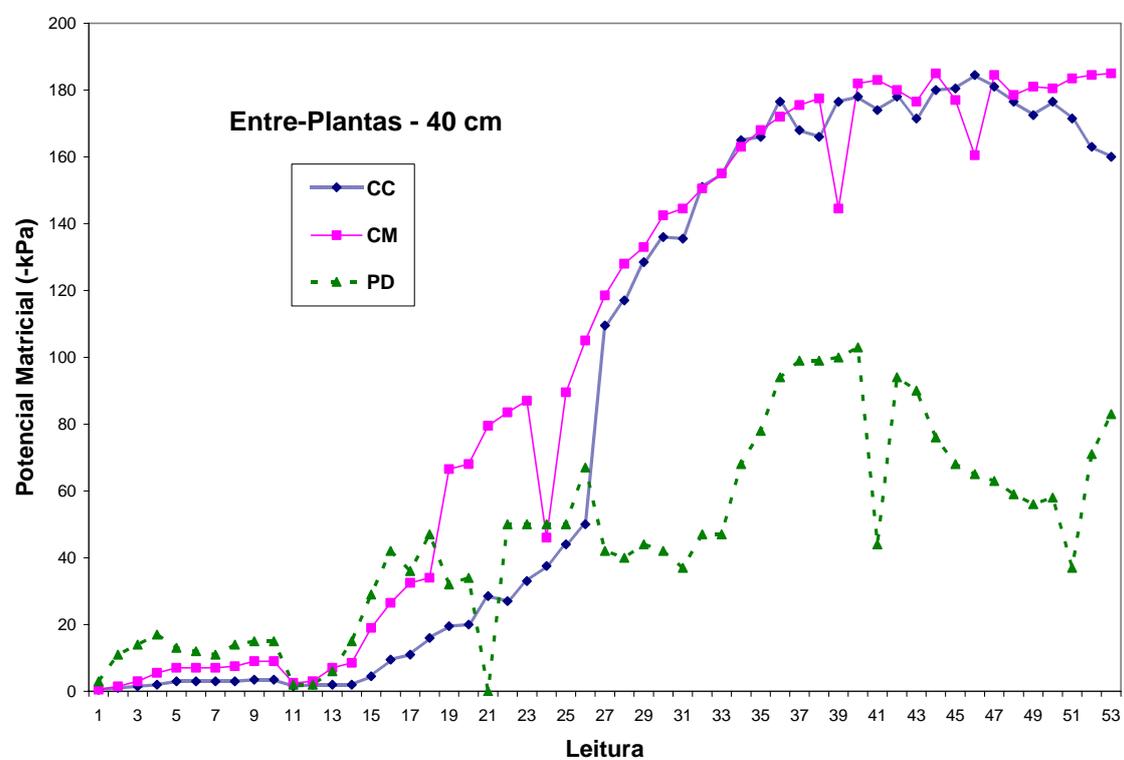


Figura 63 – Valores médios do potencial matricial da água no solo - 40 cm., entre plantas.

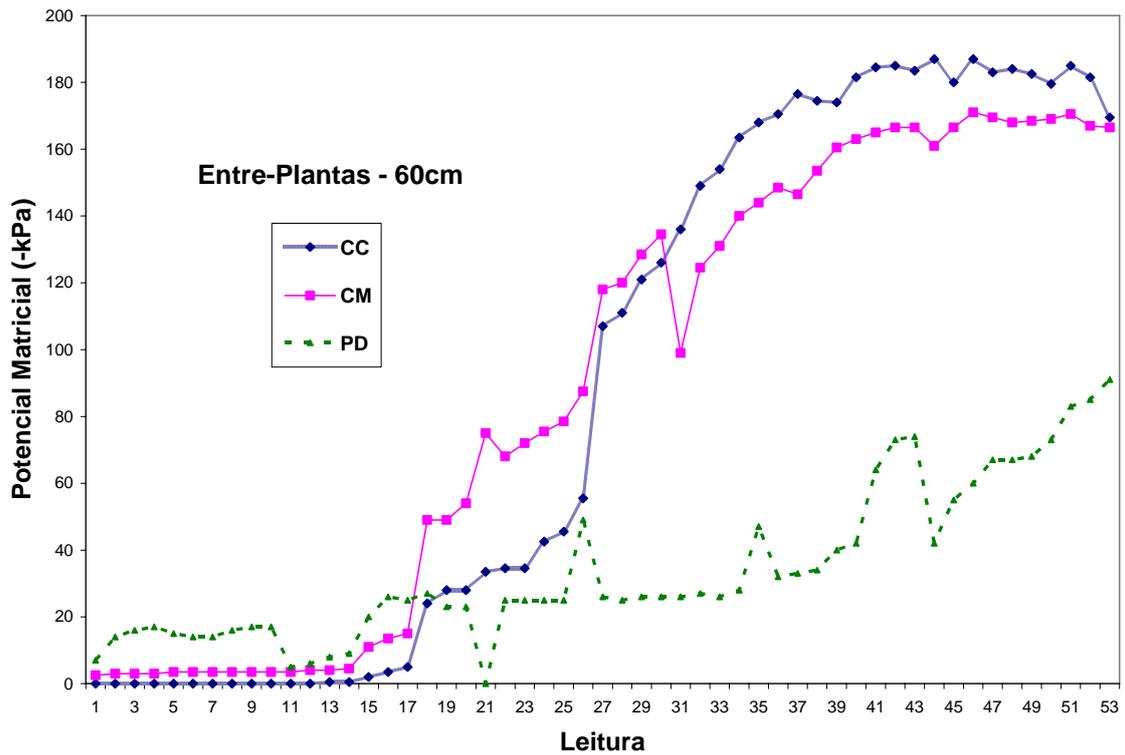


Figura 64 – Valores médios do potencial matricial da água no solo - 60 cm., entre plantas.

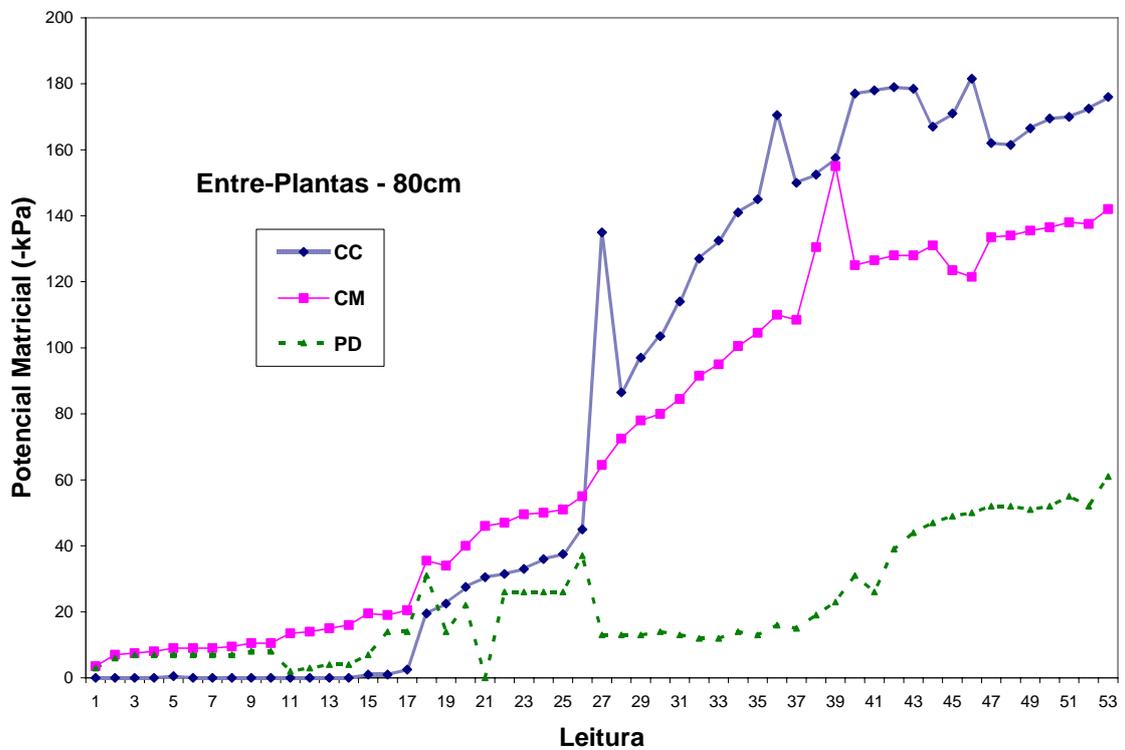


Figura 65 – Valores médios do potencial matricial da água no solo - 80 cm., entre plantas.

Quando é realizada a comparação dos valores médios obtidos na determinação da tensão na entre linha de plantio através da análise estatística para as quatro profundidades, 20, 40, 60 e 80 cm, ao longo de todo o ciclo da cultura, dividido em fases de desenvolvimento da cultura, para os três sistemas de produção: cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto, os resultados são altamente significativos e demonstram a clara vantagem do sistema de produção de plantio direto em detrimento dos demais sistemas avaliados, em especial, nas Fases III e IV de desenvolvimento da lavoura, quando não houve influencia da precipitação pluviométrica, conforme pode ser visualizado nas tabelas 26, 27, 28 e 29 apresentadas a seguir.

Tabela 26 – Comparação dos valores médios obtidos na determinação da tensão na entre plantas e análise estatística para as profundidades, 20, 40, 60 e 80 cm, na FASE I, para os sistemas de produção: cultivo, cultivo mínimo e plantio direto com teste t-student para n= 4.

FASE I Vegetativa	Cultivo Convencional (CC)	Cultivo Mínimo (CM)	Plantio Direto (PD)	CC vs CM	CC vs. PD	CM vs. PD
Profundidade (cm)	Tensão (-KPa)			Valor p		
20	19,56	19,25	3,25	0,985	0,038 *	0,020 *
40	2,13	4,88	5,93	0,563	0,223	0,837
60	0,00	3,18	7,06	0,423	0,006 *	0,354
80	0,06	7,81	3,19	0,290	0,184	0,500

Valor p seguido de * indica que as médias diferem significativamente entre si pelo teste de t-student a 5%.

Tabela 27 – Comparação dos valores médios obtidos na determinação da tensão na entre plantas e análise estatística para as profundidades, 20, 40, 60 e 80 cm, na FASE II, para os sistemas de produção: cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto com teste t-student para n= 4.

FASE II Florescimento	Cultivo Convencional (CC)	Cultivo Mínimo (CM)	Plantio Direto (PD)	CC vs CM	CC vs. PD	CM vs. PD
Profundidade (cm)	Tensão (-KPa)			Valor p		
20	18,25	30,63	11,21	0,378	0,565	0,133
40	7,92	23,79	11,46	0,053	0,356	0,124
60	7,62	17,88	8,58	0,039 *	0,766	0,089
80	6,17	20,67	5,46	0,047 *	0,614	0,047 *

Valor p seguido de * indica que as médias diferem significativamente entre si pelo teste de t-student a 5%.

Tabela 28 – Comparação dos valores médios obtidos na determinação da tensão na entre plantas e análise estatística para as profundidades, 20, 40, 60 e 80 cm, na FASE III, para os sistemas de produção: cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto com teste t-student para n= 4.

FASE III Frutificação	Cultivo Convencional (CC)	Cultivo Mínimo (CM)	Plantio Direto (PD)	CC vs CM	CC vs. PD	CM vs. PD
Profundidade (cm)	Tensão (-KPa)			Valor p		
20	98,41	105,27	9,09	0,877	0,002 *	0,013 *
40	76,95	105,18	22,09	0,281	0,040 *	0,042 *
60	77,00	96,05	15,27	0,123	0,027 *	0,009 *
80	68,14	61,64	10,59	0,522	0,003 *	0,024 *

Valor p seguido de * indica que as médias diferem significativamente entre si pelo teste de t-student a 5%.

Tabela 29 – Comparação dos valores médios obtidos na determinação da tensão entre linhas de plantio e análise estatística para as profundidades, 20, 40, 60 e 80 cm, FASE IV, para os sistemas de produção: cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto com teste t-student para n= 4.

FASE IV Maturação e Colheita	Cultivo Convencional (CC)	Cultivo Mínimo (CM)	Plantio Direto (PD)	CC vs CM	CC vs. PD	CM vs. PD
Profundidade (cm)	Tensão (-KPa)			Valor p		
20	192,18	176,41	17,59	0,469	0,006 *	0,019 *
40	171,43	173,98	37,25	0,884	0,002 *	0,011 *
60	176,52	158,50	27,52	0,555	0,007 *	0,033 *
80	163,00	124,36	17,84	0,083	0,007 *	0,002 *

Valor p seguido de * indica que as médias diferem significativamente entre si pelo teste de t-student a 5%.

Como pode ser percebido pela avaliação conjunta dos dados de dinâmica da água nos três sistemas de produção, o sistema de produção de plantio direto, que na nossa pesquisa adotou como fatores diferenciais o revolvimento mínimo do solo, o plantio de cultura de verão para formação de palhada e cobertura do solo, associado com a irrigação por gotejamento, apresentou resultados, em particular nas Fases III em que água estava sempre, em todas as profundidades monitoradas, retida em menores tensões e apresentaram uma média de amplitudes muito inferior aos demais sistemas de produção.

Dessa forma, o sistema de plantio direto permitiu uma maior eficiência do uso da água, com conseqüente economia da mesma, além de possibilitar a adoção de turnos de rega maiores e menores perdas de evaporação para a atmosfera.

Resultados semelhantes de uso mais eficiente dos recursos hídricos, diminuição das lâminas de irrigação e ampliação do turno de rega foram obtidos por MAROUELLI et al. (2006), quando estudaram a condução de tomate industrial sob sistema de irrigação e compararam o sistema de plantio direto com o sistema de cultivo convencional.

Essa dinâmica de água na produção de tomate sob sistema de plantio direto que favorece a disponibilidade hídrica através da distribuição mais homogênea de água ao longo do perfil do solo, retida em tensões inferiores, associada à maior infiltração potencial e a menores taxas de escoamento por enxurradas e de evaporação, favorecem a recarga dos aquíferos subterrâneos por drenagem profunda.

Nessa mesma linha, SCOPEL et al. (2005) estudaram a dinâmica de água no cerrado brasileiro em sistema de produção de plantio direto obtendo resultados semelhantes ao dessa pesquisa, comprovando os benefícios desse sistema de produção na conservação de solo e água, através do registro de redução de 10 a 20% das taxas médias de evaporação de água para a atmosfera e redução de mais de 50% das perdas de água por escoamento superficial, além de registrar maiores taxas de infiltração.

5.9 - Análise do desenvolvimento do sistema radicular

Nesse tópico será avaliado o comportamento e o desenvolvimento do sistema radicular da lavoura do tomate. Esse estudo foi realizado através da abertura de dois perfis em trincheiras em cada uma das áreas dos sistemas de produção. Com a utilização de uma moldura de 0,50 por 0,50 metros. Foram realizados 4 registros fotográficos com câmaras digitais de 4,2 megapixel.

Os registros fotográficos foram posteriormente processados no programa Corel Draw, onde foi realizado o corte da imagem nas camadas de 0 – 10; 10 – 30; 30 – 50; e 0 – 50 cm. para posterior processamento. A partir das imagens particionadas, as mesmas foram tratadas por métodos de classificação supervisionada através do programa ENVI.

As imagens foram processadas isoladamente, ou seja, a amostra de 0 a 50 cm; sofreu um processamento completo, e as demais, fatiadas a partir da imagem original de 0 a 50 cm também sofreram um processamento completo. Na realidade, o significado desta particularidade representa que, a área total de raízes quando processada a imagem de 0 a 50 cm é diferente do somatório de raízes do processamento isolado das fatias de 0 a 10 cm; 10 a 30 cm; e de 30 a 50 cm; uma vez que, para cada uma das imagens dessas fatias foi realizada uma classificação que incluí a definição de alvos espectrais independentes.

Na análise de raízes por fatiamento de profundidade, avalia-se a distribuição de raízes ao longo do perfil, obtida a partir da determinação do percentual de raízes por profundidade frente ao total de raízes emitidas.

O resultados obtidos no tratamento das fotografias digitais através da classificação supervisionada aplicadas com o apoio do programa ENVI podem ser visualizados nas tabelas 30, 31, 32, 33, 34 e 35.

Tabela 30 – Valores absolutos do tratamento das fotos digitais para os sistemas de produção de cultivo convencional, repetições 1, 2 e 3, do perfil 1, para a profundidade de 0 a 50 cm.

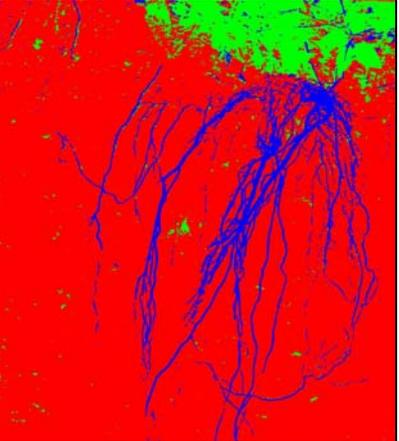
CULTIVO CONVENCIONAL					
Classe	%	Classe	%	Classe	%
(Solo)	87.515%	(Solo)	84.584%	(Solo)	87.430%
(Vegetação)	4.461%	(Vegetação)	7.819%	(Vegetação)	3.351%
(Raiz)	8.024%	(Raiz)	7.597%	(Raiz)	9.219%
					
					

Tabela 31 – Valores absolutos do tratamento das fotos digitais para os sistemas de produção de cultivo convencional, repetições 1, 2 e 3, do perfil 2, para a profundidade de 0 a 50 cm.

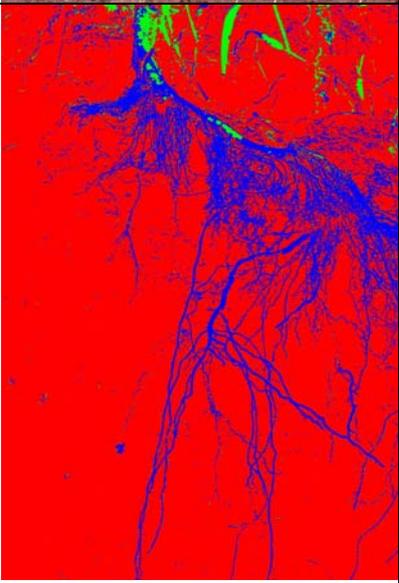
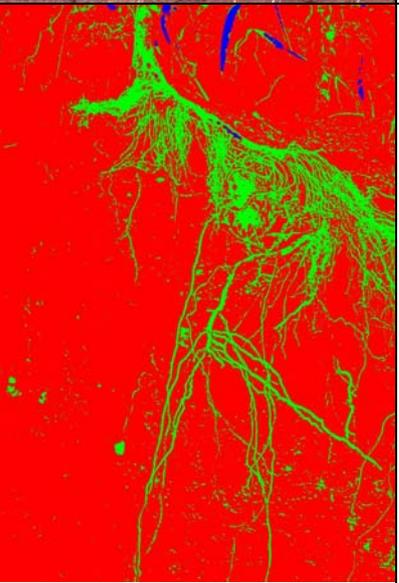
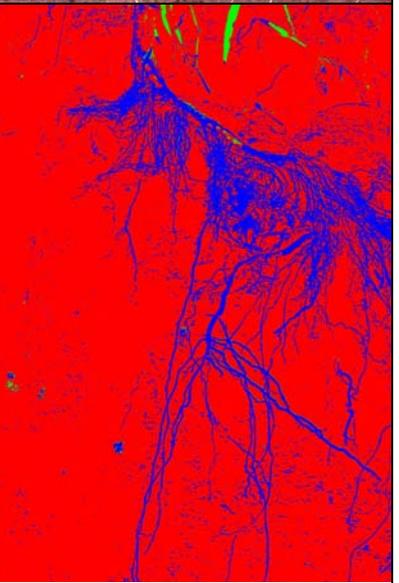
CULTIVO CONVENCIONAL					
Classe	%	Classe	%	Classe	%
(Solo)	85.853%	(Solo)	87.194%	(Solo)	86.667%
(Vegetação)	1.645%	(Vegetação)	0.285%	(Vegetação)	0.510%
(Raiz)	12.502%	(Raiz)	12.521%	(Raiz)	12.823%
					
					

Tabela 32 – Valores absolutos do tratamento das fotos digitais para os sistemas de produção de cultivo mínimo, repetições 1, 2 e 3, do perfil 1, para a profundidade de 0 a 50 cm.

CULTIVO MÍNIMO					
File: Classificada_5600_2		File: Classificada_5597		File: Classificada_5598	
Classe	%	Classe	%	Classe	%
(Solo)	78.934%	(Solo)	76.937%	(Solo)	77.226%
(Vegetaçõ)	4.646%	(Vegetação)	8.394%	(Vegetação)	8.971%
(Raiz)	16.419%	(Raiz)	14.670%	(Raiz)	13.803%

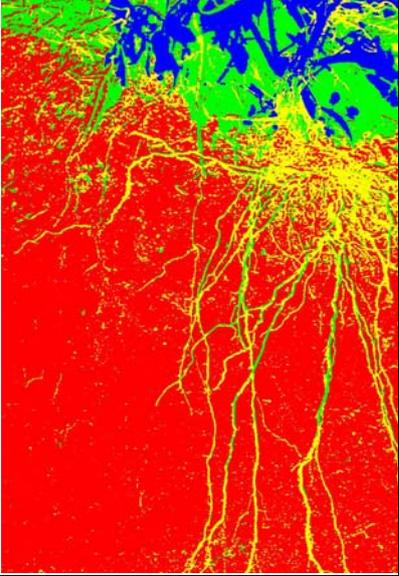
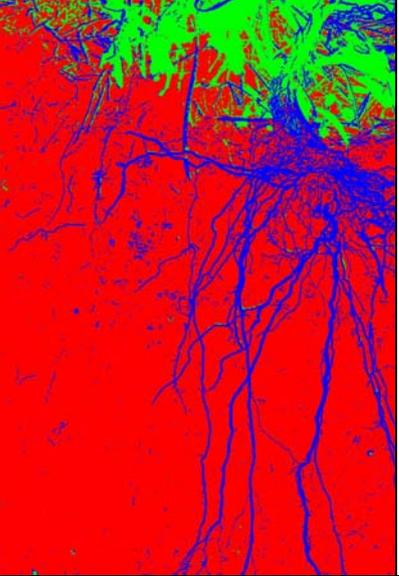
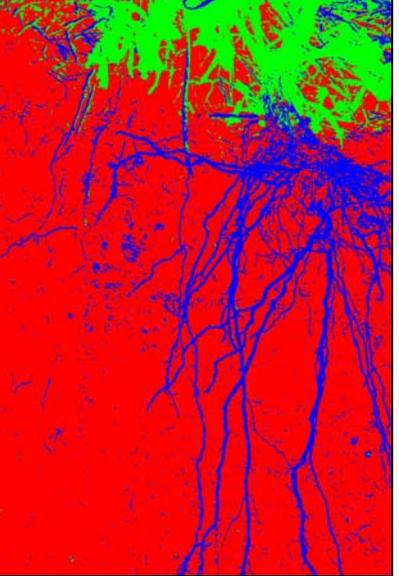
		
		

Tabela 33 – Valores absolutos do tratamento das fotos digitais para os sistemas de produção de cultivo mínimo, repetições 1, 2 e 3, do perfil 2, para a profundidade de 0 a 50 cm.

CULTIVO MÍNIMO					
Classe	%	Classe	%	Classe	%
(Solo)	61.762%	(Solo)	79.141%	(Solo)	59.739%
(Folha Seca)	15.098%	(Folha Seca)	16.936%	(Folha Seca)	16.936%
(Vegetação)	6.824%	(Vegetação)	6.987%	(Vegetação)	6.155%
(Raiz)	16.316%	(Raiz)	13.872%	(Raiz)	17.169%

Tabela 34 – Valores absolutos do tratamento das fotos digitais para os sistemas de produção de plantio direto, repetições 1, 2 e 3, do perfil 1, para a profundidade de 0 a 50 cm.

PLANTIO DIRETO					
Classe	%	Classe	%	Classe	%
(Solo)	76.227%	(Solo)	77.613%	(Solo)	77.570%
(Folha Seca)	13.104%	(Folha Seca)	11.526%	(Folha Seca)	11.924%
(Vegetação)	1.749%	(Vegetação)	1.675%	(Vegetação)	1.553%
(Raiz)	8.920%	(Raiz)	9.185%	(Raiz)	8.954%

Tabela 35 – Valores absolutos do tratamento das fotos digitais para os sistemas de produção de plantio direto, repetições 1, 2 e 3, do perfil 2, para a profundidade de 0 a 50 cm.

PLANTIO DIRETO					
Classe	%	Classe	%	Classe	%
(Solo)	59.355%	(Solo)	73.005%	(Solo)	78.550%
(Folha Seca)	29.090%	(Folha Seca)	16.063%	(Folha Seca)	7.476%
(Vegetação)	1.973%	(Vegetação)	1.783%	(Vegetação)	2.040%
(Raiz)	9.583%	(Raiz)	9.149%	(Raiz)	11.933%

The image displays three columns of soil profiles, each showing a natural photograph of a soil profile with roots and a corresponding digital color treatment. The top row shows the natural soil profiles, and the bottom row shows the digital color treatments. The color treatments are: red for soil, green for roots, and blue for dry leaves.

Os resultados consolidados da área média de raízes sobre a área total, no caso da profundidade de 0 – 50cm, e do percentual médio de raízes emitidas por profundidade com base no total de raízes para cada perfil, nas demais profundidades consideradas; são apresentados em conjunto com o tratamento estatístico aplicado e podem ser visualizados nas tabelas 36 e 37.

Tabela 36 – Comparação dos valores médios obtidos na determinação da área ocupada pelas raízes e tratamento estatístico para a profundidade de 0 a 50 cm; nos três sistemas de produção: cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto, com teste t-student para n= 6.

Profundidade (cm)	Cultivo Convencional (CC)	Cultivo Mínimo (CM)	Plantio Direto (PD)	CC vs CM	CC vs. PD	CM vs. PD
	Área %			Valor p		
0 - 50	10,45	15,37	9,62	0,002 *	0,469	0,001 *

Valor p seguido de * indica que as médias diferem significativamente entre si pelo teste de t-student a 5%.

Avaliando-se os resultados das médias obtidas pelo sistema de produção com cultivo mínimo que apresentou resultados cerca de 50% superiores de ocorrência de raízes para a profundidade efetiva de 50 cm quando comparado com os dados de plantio direto e convencional, pode-se afirmar que estes resultados apresentam algum erro. Esses resultados não ocorrem como esperados, e podem ser atribuídos a problemas de luminosidade na aquisição das fotografias digitais, uma vez que, os desvios padrões das repetições e entre repetições é baixo, com coeficiente de variação variando entre 10 e 20%.

Uma fonte de erro possível é a etapa final de processamento, durante a fase de definição de alvos para formação das assinaturas espectrais empregadas nas classificações supervisionadas, uma vez que, baseado nos resultados de propriedades físicas, químicas, físico-hídricas, morfológicas, no comportamento da dinâmica da água, e da produtividade

obtida nesta parcela experimental, esses resultados não se justificam. Corrobora com esta análise, a ausência de resultados semelhantes na bibliografia consultada.

No sentido de avaliarmos os resultados tomados em fatias isoladas, partimos da hipótese que houve problemas nos dados de raízes para o sistema de cultivo mínimo e que os sistemas não apresentam diferenças significativas no volume total de raízes emitidas, uma vez que quando avaliadas o volume total de raízes pelos dois processos, esses resultados não coincidem entre si.

Dessa forma, buscamos avaliar a distribuição das raízes ao longo do perfil através das camadas fatiadas de 0 a 10; 10 a 30 e 30 a 50 cm, comparando o percentual de raízes da camada com o total emitido pela amostra de forma a compreender esses resultados.

Tabela 37 – Comparação da distribuição de raízes ao longo do perfil, obtidas a partir da determinação do percentual de raízes por profundidade frente ao total de raízes emitidas e tratamento estatístico para as três profundidades, 0 a 10 cm; 10 a 30 cm; e 30 a 50 cm, nos três sistemas de produção: cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto com teste t-student para n= 6.

Profundidade (cm)	Cultivo Convencional (CC)	Cultivo Mínimo (CM)	Plantio Direto (PD)	CC vs CM	CC vs. PD	CM vs. PD
	% Raízes Prof / Total Raízes			Valor p		
0 - 10	27,92	26,85	9,58	0,792	0,0001 *	0,0007 *
10 - 30	46,93	48,46	48,46	0,729	0,777	0,999
30 - 50	25,15	24,69	41,96	0,928	0,009 *	0,005 *

Valor p seguido de * indica que as médias diferem significativamente entre si pelo teste de t-student a 5%.

Com esse foco, quando utilizamos os resultados das análises realizadas para a distribuição de raízes emitidas por profundidade, mas comparadas com o total de raízes emitidas no tratamento, e não com a área ocupada pelas raízes naquela profundidade, alguns resultados interessantes são obtidos, conforme pode ser visto na tabela 37.

Nesse caso, quando comparamos os resultados sistemas de cultivo convencional e de cultivo mínimo, para as profundidades isoladamente, os percentuais de raízes por profundidade não apresentam qualquer diferenças significativas estatisticamente entre esses sistemas de produção, como era esperado em função das propriedades do solo e da dinâmica de água estudada para esses sistemas de produção.

Todavia, quando se avalia o comportamento e a distribuição do sistema radicular do tomate comparando-se o sistema de produção de plantio direto versus os sistemas de produção de cultivo convencional e cultivo mínimo, observa-se que os sistemas que aplicam a irrigação em “covões” concentram quase 30% de suas raízes nos primeiros 10 cm de solo, e apresentam mais de 75% de suas raízes até 30 cm de profundidade, enquanto que, no sistema de produção de plantio direto, as raízes apresentam-se distribuídas ao longo de todo o perfil do solo, ao ponto de, apresentar mais de 40% de suas raízes na camada de 30 a 50 cm; e que representam quase o dobro do percentual total das raízes emitidas para a profundidade nos sistemas de produção de cultivo mínimo e cultivo convencional.

Resultados semelhantes foram obtidos por CENTURION & BEULTER (2004), que estudaram o impacto da compactação e da umidade no desenvolvimento e na distribuição do sistema radicular e na produtividade da soja.

Vale frisar que, esses resultados poderiam ser muito mais significativos, uma vez que, acredita-se que, tenham sido em parte mascarados pela elevada precipitação pluviométrica ocorrida na fase de desenvolvimento vegetativo da cultura, período de maior desenvolvimento do sistema radicular.

Esses resultados são compartilhados por MAROUELLI et al. (2005), quando compararam a profundidade e distribuição de raízes em função da dinâmica da água no solo através da adoção de turnos de rega diferenciados na cultura do tomate industrial, e encontraram raízes em profundidades superiores quando esse turno de rega é maior.

6.0 Conclusões e considerações finais

Coerente com os objetivos dessa pesquisa, voltados para a avaliação de sistemas de produção de tomate de mesa que contribuíssem com a conservação de solo e água no noroeste fluminense, esse trabalho obteve resultados que atenderam plenamente aos objetivos específicos propostos, citados no capítulo I, no corpo dessa pesquisa.

O pequeno período de implementação do sistema de produção com plantio direto foi o principal responsável pelos resultados obtidos de avaliação das propriedades físicas e físico-hídricas monitoradas quando comparados com os dados relativos dos outros sistemas de produção.

Os resultados da análise granulométrica da unidade experimental identificaram teores inferiores de argila e de silte, principalmente no horizonte superficial Ap, na área de sistema de produção de plantio direto. Todavia, acredita-se que essa alteração não está associada às práticas de manejo do solo adotadas pelos sistemas de produção e sim, possivelmente, pela erosão laminar natural na área e pelas práticas de manejo empregadas anteriormente à implantação da unidade experimental.

Em relação a densidade do solo, a porosidade e a condutividade hidráulica de laboratório, apenas esta última apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os sistemas de produção avaliados. Os maiores valores obtidos nos ensaios de condutividade hidráulica de laboratório quando avaliados em conjunto com o comportamento da porosidade total; da microporosidade; da macroporosidade; da granulometria; e da estrutura da camada superficial, permite concluir que, em face ao curto período de implantação do sistema de

produção de plantio direto, não existem elementos para atribuir essa diferenciação ao sistema de manejo do solo adotado, e sim, à variabilidade espacial deste atributo.

Os resultados obtidos nas determinações de condutividade hidráulica realizada em campo, com o permeâmetro de Guelph na entrelinha de cultivo, não foram os esperados, uma vez que, se estimava valores inferiores para o sistema de produção convencional onde não se utiliza de cobertura do solo, além de sofrer o impacto do tráfego de pessoas durante as irrigações e aplicações de defensivos. Todavia, como o número de irrigações foi reduzido em virtude das precipitações pluviométricas naturais que ocorreram no período de desenvolvimento vegetativo da cultura, tais efeitos podem ter sido minimizados. Além disso, os elevados valores de desvio padrão desses resultados também contribuem para a conclusão de não influência do sistema de produção nesse atributo do solo.

Com relação aos resultados obtidos de retenção de água no solo, pode-se afirmar que o sistema de produção adotado não influenciou nos resultados, os quais apresentam correlação direta com os valores de microporosidade obtidos, acompanhando a mesma tendência. Todavia, quando se avalia a tensão de armazenamento de água no solo, e a sua disponibilidade para as plantas, o sistema de plantio direto apresenta resultados mais favoráveis.

Talvez, junto com o teor de umidade, a temperatura do solo seja o atributo de maior impacto em função do sistema de produção. A partir dos resultados obtidos, pode-se afirmar que o sistema de plantio direto apresenta valores muito favoráveis para temperatura máxima, mínima e média, além de apresentar amplitude térmica inferior, favorecendo um desenvolvimento mais uniforme do sistema radicular e da microfauna do solo.

Os resultados de volume de água aplicado para os diferentes sistemas de produção avaliados indicam que, após as devidas correções e ajustes, todos os sistemas avaliados apresentaram consumo semelhante de água por planta por ciclo. Contudo, se avaliarmos o volume de água consumido por unidade de produção, o sistema de plantio direto apresentou resultados superiores. Estima-se que com a adoção do sistema de gotejamento com monitoramento do potencial de água do solo e com controle de volume aplicado de forma homogênea nos diferentes sistemas, a economia do consumo de água por ciclo da lavoura por pé plantado possa chegar a 35%.

A produtividade obtida no sistema de produção de plantio direto, apesar de recorde declarado de produção, foi afetada pela poda de folhas praticada, a qual gerou uma queima de frutos por insolação. Essa perda de produção foi estimada em 40 caixas que associada aos frutos não colhidos, abandonados na lavoura em função dos preços não compensadores, também estimada, em 40 caixas, limitou a produtividade. Dessa forma, pode-se supor que, com a adoção do conjunto de técnicas proposto a obtenção de patamares superiores de produção será uma realidade irrefutável, com a obtenção de recordes de produção para a variedade Dédora na região.

Estima-se que níveis superiores de produção serão alcançados quando da adoção da fertirrigação, do manejo da irrigação em função do potencial da água no solo, e do manejo integrado de pragas, práticas não adotadas ao longo do desenvolvimento desta pesquisa.

Com relação à distribuição de água no solo nas profundidades monitoradas durante o ciclo da cultura, pode-se concluir que o sistema de produção de plantio direto, não apenas perde menos água para a atmosfera (disponibilizando essa água para as plantas) como

também, contribui para a manutenção da água no sistema, uma vez que colabora para a drenagem profunda e, conseqüentemente, para a recarga dos aquíferos.

Os resultados obtidos para a avaliação do desenvolvimento do sistema radicular para a profundidade efetiva de 0 a 50 cm foram surpreendentes, supondo-se a incorporação de erros nos aspectos operacionais, metodológicos ou de procedimentos. Nesse sentido, recomenda-se atenção na interpretação de resultados obtidos por essa metodologia.

Por outro lado, quando avaliamos os dados obtidos da análise por camadas, encontram-se resultados interessantes, podendo-se afirmar que o sistema de produção de plantio direto apresenta uma maior distribuição de raízes ao longo dos 50 cm avaliados, enquanto que, os sistemas de plantio convencional e de cultivo mínimo apresentam mais do que o dobro de raízes nos primeiros 10 cm de solo e que concentram 75% de suas raízes nos primeiros 30 cm. Essa característica torna essas lavouras extremamente vulneráveis e dependentes de turnos de rega muito pequenos.

Isoladamente, a prática de manejo que apresentou o melhor resultado foi o sistema de irrigação por gotejamento que, associado à cobertura de palha do cultivo anterior adotado pelo sistema de produção de plantio direto, apresentou resultados de produtividade 50% aos obtidos pelo sistema de cultivo convencional, sendo recomendável sua imediata adoção nos sistemas de produção da região.

Pode-se também atribuir ao sistema de irrigação por gotejamento os maiores teores de umidade em todas as profundidades, seja no local de plantio, seja entre plantas para o sistema de plantio direto, com menores perdas de umidade para a atmosfera e maior drenagem profunda, contribuindo na recarga dos aquíferos subterrâneos, conforme citado anteriormente.

Com relação aos custos de implantação do sistema de gotejamento, quando é possível aproveitar a infra-estrutura pré-existente, em particular o conjunto moto-bomba e a tubulação de adução, estima-se que, o produtor obtendo ganhos semelhantes aos obtidos nessa pesquisa, pague o investimento no primeiro ano, apenas com a diferença entre as produções obtidas, para valores históricos de R\$ 12,00 a caixa de tomate com 22 kg. Quando não há a possibilidade do aproveitamento da infra-estrutura pré-existente, a conta fica um pouco mais complexa, pois o ganho de escala na tubulação de adução e essa distância complicam a conta. Todavia, partindo dos mesmos pressupostos de resultados de produção e de preços, pode-se estimar em duas safras o tempo para se recuperar o investimento.

Com base nos dados de propriedades dos solos, nos dados de monitoramento da irrigação, na dinâmica da água no solo e na avaliação desses resultados com a produção e as práticas agronômicas adotadas para o sistema de cultivo convencional, pode-se afirmar que os plantios que fazem uso do sistema de irrigação por mangueirão com o uso de “covões” mantêm as plantas em permanente sede escondida, em especial na fase de frutificação, o de maior demanda hídrica da cultura.

Devido às características fisiográficas da região, em particular com relação à declividade média das áreas de produção na região, recomenda-se a adoção de irrigação por gotejamento autocompensados, face às diferenças de cota entre as linhas inferiores e superiores de cultivo.

Recomendam-se ainda, estudos de adubação, em especial do uso de fertirrigação, um monitoramento agrometeorológico para definição do balanço hídrico no município, o ajuste do Kc para as diferentes fases do tomate na região, além da adoção de práticas como Manejo Integrado de Pragas – MIP e o Manejo Integrado de Doenças – MID, com o objetivo de

otimizar o uso dos escassos recursos hídricos disponíveis e de melhorar a qualidade ambiental das lavouras, dos produtores e do meio ambiente do município.

Vale citar que, independente da adoção de práticas conservacionistas de solo e água, do uso de outras práticas agrícolas adequadas, como: espaçamento, adubação balanceada, uso de espalhar e condução por fitilho, além da adoção de técnicas de manejo de pragas e doenças, com o conseqüente aumento da rentabilidade da lavoura por aumento da produtividade e qualidade da produção, o sistema de produção proposto só irá se tornar sustentável caso seja possível a organização desses produtores e a obtenção de modelos de comercialização diversos do existente hoje na região.

No intuito de avançar nas contribuições oferecidas por essa pesquisa, sugere-se a incorporação da análise de aspectos de morfologia dos solos, em particular o estudo de agregados e sua influência na dinâmica da água no solo com o objetivo de melhor compreender este processo.

Com o objetivo de otimizar o aproveitamento dos escassos recursos hídricos na região, sugere-se o refinamento da coleta e da análise do potencial de água no solo, através do emprego de coletores automatizados de dados. Ainda nessa mesma linha, recomenda-se a elaboração de estudos que correlacionem a tensão de água no solo com os níveis de umidade, no intuito de otimizar as lâminas líquidas adotadas na irrigação do tomate.

Desta forma, independente da carência de dados conclusivos, recomenda-se a adoção de técnicas de manejo conservacionista, como: o cultivo em curvas de nível; o preparo do solo com tração animal; o plantio direto; a rotação de culturas de inverno; a cobertura do solo; a irrigação por gotejamento autocompensado; o manejo eficaz dos recursos hídricos; o controle

integrado de pragas; e a adubação racional, como elementos chave, na redução do caráter itinerante destas lavouras no sentido de buscar a conservação do solo, da água, e a sustentabilidade ambiental do cultivo de tomate de mesa na região noroeste fluminense.

Todavia, sabe-se que, a adoção dessas novas tecnologias em larga escala, enfrenta barreiras do arranjo produtivo local onde existem as figuras do proprietário, do empreendedor (empresário), e do produtor. Neste arranjo, no qual existe o equilíbrio de despesas e benefícios entre os atores, a adoção destas tecnologias, as quais necessitam de um investimento inicial, pode comprometer a sua plena adoção.

7. Referências bibliográficas

ABOUDRARE, A.; DEBAEKE, P.; BOUAZIZ, A.; CHEKLI, H. Effects of soil tillage and fallow management on soil water storage and sunflower production in semi-arid Mediterranean climate. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 83, p. 183-196, 2006.

ABREU, M. B.; FIDALGO, E. C. C. Mapeamento do uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Rio São Domingos. In: WORKSHOP DE INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES OBTIDAS NO ÂMBITO DO PROJETO PRODETAB AQUÍFEROS - EMBRAPA SOLOS. Rio de Janeiro. 2006. **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. CD ROM.

AGRIANUAL: anuário estatístico da agricultura brasileira. São Paulo: FNP – Consultoria e Comércio, 2005. 500 p.

ALVARENGA, M. A. R. Origem, botânica e descrição da planta. In: ALVARENGA, M. A. R., Ed. **Tomate**: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia. Lavras: UFLA, 2004.

ALVES, C. M.; SUZUKI, L. E. A. S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n.1, p. 27-34, 2004.

ARSHAD, M. A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 88, p. 153-160, 2002.

ARYA, L. M.; DIELROF, T. S.; SOFYAN, A.; WIDJAJA-ADHI, I. P. G.; GENUCHTEN, M. T. van. Field measurement of the saturated hydraulic conductivity of a macroporous soil with unstable subsoil structure. **Soil Science**, Baltimore, v. 163, n. 11, p. 841-852, 1998.

BENATTI JUNIOR, R.; BERTONI, J.; MOREIRA, C. A. Perdas por erosão em plantio direto e convencional de milho em dois solos de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas**, v.1, n. 2, p. 121-123, jul./dez. 1977.

BENJAMIN, J. G.; NIELSEN, D. C.; VIGIL, M. F. Quantifying effects of soil conditions on plant growth and crop production. **Geoderma**, Amsterdam, v. 116, p. 137-148, 2003.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, MG, 1995. 657 p.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Cobertura morta e métodos de preparo do solo na erosão hídrica em solo com crosta superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, n. 3, p. 373-379, 1989.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 155-163, 2004.

BERTOLINI, D.; LOMBARDI NETO, F. **Manual técnico de manejo e conservação do solo e água**. São Paulo: CATI, 1993. v.1, 15 p.(CATI. Manual, 38).

BERTOLINO, A. V. F. A. ; SOUZA, A. P.; FERNANDES, N. F. Monitoramento dos fluxos de água sob diferentes técnicas de manejo e uso: importância na análise dos processos erosivos - Campus Experimental de Avelar, RJ. **Revista GEOUERJ**, Rio de Janeiro, 2003.

BERTOLINO, A. V. F. A. **Influência do manejo na hidrologia de solos agrícolas em ambiente serrano**: Paty do Alferes - RJ. Rio de Janeiro. 2004. 179 p. Tese (Doutorado em Geografia), CCMN-UFRJ, Rio de Janeiro.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1999. 355 p.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J.C. Agregação de Latossolo Vermelho distrófico típico relacionada com o manejo na região dos cerrados no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 129-136, 2001.

BHERING, S. B.; PEREIRA, N. P.; MACEDO, J. R.; CHAGAS, C. da S.; SILVA, E. F. da; PRADO, R. B.; NETO, N. C. S. Caracterização edafoambiental das microbacias de Cambiocó e Santa Maria no município de São José do Ubá, região Noroeste do Estado do Rio de Janeiro para fins de planejamento conservacionista. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais**: solos, sustentabilidade e qualidade ambiental. Recife: Embrapa Solos: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. CD-ROM.

BINDRABAN, P. S.; STOOORVOGEL, J. J.; JANSEN, D. M.; VLAMING, J.; GROOT, J. J. R. Land quality indicators for sustainable land management: proposed method for yield gap and soil nutrient balance. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. Amsterdam, v. 81, p. 103-112, 2000.

BOUMA, J. O Land quality indicators of sustainable land management across scales. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 88, p. 129-136, 2002.

BOUMAN, B. A. M.; SCHIPPER, R. A.; NIEUWENHUYSE, A.; HENGSDIJK, H.; JANSEN, H. G. P. Quantifying economic and biophysical sustainability trade-offs in land use exploration at the regional level: a case study for the Northern Atlantic Zone of Costa Rica. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 114, p. 95-109, 1998.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNCZUK, J. Cobertura do solo por resíduos de oito seqüências de coberturas e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e

crescimento inicial do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 91-98, jan./abr. 1990a.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 3, p. 369-374, set./dez. 1990b.

BRASIL. Presidência da República. Comissão Interministerial para Preparação da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. **O desafio do desenvolvimento sustentável**: relatório do Brasil para a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Brasília, DF: CIMA, 1991. 204 p.

BYERLEE, D.; MURGAI, R. Sense and sustainability revised: the limits of total factor productivity measures of sustainable agricultural systems. **Agricultural Economics**, Madison, v. 26, p. 227-236, 2001.

CALDERANO FILHO, B.; CHAGAS, C. da S.; PRADO, R. B.; PEREZ, D. V.; GONÇALVES, A. O.; SOUZA, J. S. de. Levantamento semidetalhado dos solos da microbacia do Barro Branco, no Município de São José de Ubá, região Noroeste do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Contém texto e mapa color, escala 1:10.000. No prelo.

CAMARGO FILHO, W. P., MAZZEI, A. R. **Produção de tomate** – sustentabilidade e preços. *Informações Econômicas*, São Paulo, v. 32, p. 45-50, 2002.

CAMPOS, B. C. de; REINERT, D. J.; NICOLODI, R., RUEDELL, J., PETRERE, C. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 121-126, 1995.

CANALLI, L. B.; ROLOFF, G. Influência do preparo e da correção do solo na condição hídrica de um latossolo vermelho escuro sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas**, v. 21, n. 1, p. 99 -104, 1997.

CANNELL, R. Q.; HAWES, J. D. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 30, n. 2-4, p. 245-282, 1994.

CANQUI-BLANCO, H.; LAL, R.; POST, W. M.; IZAURRALDE, R. C.; SHIPITALO, M. J. Soil hydraulic properties influenced by corn stover removal from no-till corn in Ohio. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 92, p. 144-155, 2007.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade dos agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas v. 14, n. 1, p. 99-105, jan./ abr. 1990.

CARVALHO, J. R. P. de; VIEIRA, S. R.; MARINHO, P. R.; DECHEN, S. C.; MARIA, I. C. de; POTT, C. A.; DUFRANC, G. **Avaliação da variabilidade espacial de parâmetros físicos do solo sob plantio direto em São Paulo - Brasil**. Campinas: Embrapa

Informática Agropecuária, 2001. 4 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Comunicado Técnico, 12).

CARVALHO FILHO, A. de; LUMBRERAS, J. F.; SANTOS, R. D. dos. Os solos do Estado do Rio de Janeiro. In: CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Rio de Janeiro: geologia, geomorfologia, geoquímica, geofísica, recursos minerais, economia mineral, hidrogeologia, estudos de chuvas intensas, solos, aptidão agrícola, uso e cobertura do solo, inventário de escorregamentos, diagnóstico geoambiental.** Rio de Janeiro: CPRM: Embrapa Solos; [Niterói]: DRM-RJ, 2001 (a). CD-ROM. Cap. 6. Contem texto e mapa color., escala 1:500.000.

CARVALHO FILHO, A. de; LUMBRERAS, J. F.; AMARAL F. C. S. do; NAIME, U. J. Aptidão agrícola das terras do Estado do Rio de Janeiro. In: **CPRM. Serviço Geológico do Brasil.** Rio de Janeiro: geologia, geomorfologia, geoquímica, geofísica, recursos minerais, economia mineral, hidrogeologia, estudos de chuvas intensas, solos, aptidão agrícola, uso e cobertura do solo, inventário de escorregamentos, diagnóstico geoambiental. Rio de Janeiro: CPRM: Embrapa Solos; [Niterói]: DRM-RJ, 2001 (b). CD-ROM. Cap. 7. Contem texto e mapa color., escala 1:500.000.

CARVALHO, J. G.; BASTOS, A. R. R.; ALVARENGA, M. A. R. Nutrição mineral e adubação. In: ALVARENGA, M. A. R., (Ed.). **Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia.** Lavras: Editora UFLA, 2004.

CAVALCANTE, L. F.; REICHARDT, K.; LIBARDI, P. L. Determinação da condutividade hidráulica do solo durante a redistribuição da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 2, n. 1, p. 77-99, jan./ abr. 1978.

CAVALIERI, K. M. V.; TORMENA, C. A.; FILHO, P. S. V.; GONÇALVES, A. C. A.; COSTA, A. C. S. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 137-147, 2006.

CEPAL. Economic commission for latin american and caribbean. Social statistical. In: **Statistical yearbook for Latin American and the Caribbean**, 2005. Santiago, Chile, 2006. 62 p.

CERRI, C.; FELLER, C.; CHAUVEL, A. Evolução das propriedades de um latossolo vermelho escuro após desmatamento e cultivo por doze e cinquenta anos com cana-de-açúcar. **Cahiers ORSTOM**, Serie Pedologie, Bondy, v. 26, n. 1, p. 36-50. 1991.

CONNOLLY, R. D. Modelling effects of soil structure on the water balance of soil-crop systems: a review. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 48, p. 1-19, 1998.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um latossolo bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 527-535, 2003.

CRESTANA, S.; POSADAS, A. N. Dinâmica da água de solutos na região não saturada do solo: modelagem determinística e estocástica, In: CRESTANA, S.; CRUVINEL, P. E.; MASCARENHAS, S.; BISCEGLI, C. I.; MARTIN NETO, L.; COLNAGO, L. A. **Instrumentação agropecuária: contribuições no liminar do novo século**. São Carlos: EMBRAPA-CNPDIA; Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996. p. 263-291.

CRESTANA, S.; GUIMARÃES M. F.; JORGE, L. A. C.; RALISH, R.; TOZZI, C. L.; TORRE, A.; VAZ, C. M. P. Avaliação da distribuição de raízes no solo por processamento de imagens digitais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 3, p. 365-371, 1994.

CENTURION, J. F.; MORAES, M. H.; DELLA LIBERA, C. L. F. Comparação de métodos para determinação da curva de retenção de umidade em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 2, p.173-179, abr./jun. 2001.

CICHOTA, R.; LIER, Q. de J. van. Análise da variabilidade espacial de pontos amostrais da curva de retenção da água no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 4, p. 585-596, 2004.

COLETTI, C.; TESTEZLAF, R. O uso da água na tomaticultura. In: "WORKSHOP TOMATE NA UNICAMP: Perspectivas e Pesquisas", 2003, Campinas. **Anais**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2003. CD-ROM.

DALVI, V. B.; TIWARI, K. N.; PAWADE, M. N. PHIRKE, P. S. Response surface analysis of tomato production under microirrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 41, p. 11-19, 1999.

DANTAS, M. E.; SHINZATO, E.; MEDINA, A. I. de M.; SILVA, C. R. da; PIMENTEL, J.; LUMBRERAS, J. F.; CALDERANO, S. B.; CARVALHO FILHO, A. de. Diagnóstico geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. In: **CPRM. Serviço Geológico do Brasil**. Rio de Janeiro: geologia, geomorfologia, geoquímica, geofísica, recursos minerais, economia mineral, hidrogeologia, estudos de chuvas intensas, solos, aptidão agrícola, uso e cobertura do solo, inventário de escorregamentos, diagnóstico geoambiental. Rio de Janeiro: CPRM: Embrapa Solos; [Niterói]: DRM-RJ, 2001. CD-ROM. Cap. 11. Contém texto e mapa color., escala 1:500.000.

DANTAS, M. E. Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro. Escala 1:50.000. Rio de Janeiro: CPRM; Niteroi: DRM-RJ. 2000. 60 p.

DANTAS, M. E. **Mapa de favorabilidade hidrogeológica do Rio de Janeiro**. Escala 1:50.000. Rio de Janeiro: CPRM; Niteroi: DRM-RJ, 2001.

DENARDIN, J. E. Manejo adequado do solo para áreas motomecanizadas. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DO SOLO E PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL, 1., SIMPÓSIO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO DO PLANALTO, 3., 1984, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: PIUCS ; UPF-Faculdade de Agronomia, 1984. p. 107-124.

- DRM-RJ. Mapeamento da bacia hidrográfica do rio São Domingos. Niteroi, 2004. Escala 1:50.000, Versão Preliminar, no prelo
- DERPSCH, R. Agricultura sustentável. In: SATURNINO, H. M.; LANDERS, J. N., (Ed.). **O meio ambiente e o plantio direto**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1997. 116 p.
- DOUGLASS, G. K. The meanings of agricultural sustainability. In: DOUGLASS, G.K. (Ed.). **Agricultural sustainability in a changing world order**, Boulder: Westview Press, 1984. p.3-30.
- DUMANSKI, J.; PIERI, C. Land quality indicators: research plan. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 81, p. 93-102, 2000.
- DUNNE, T.; LEOPOLD, L. **Water in environmental planning**. New York: W. H. Freeman, 1978. 818 p.
- EDWARDS, W. M.; NORTON, L. D.; REDMOND, C. E. Characterizing macropores that affect infiltration into nontilled soil. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 52, p. 483-487, 1988.
- ELDREDGE, E. P.; SHOCK, C. C.; STIEBER, T. D. Calibration of granular matrix sensors for irrigation management. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, n. 6, p. 1228-1232, nov./dez. 1993.
- ELRICK, D. E., REYNOLDS, W. D.; TAN, K. A. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analyses. **Ground Water Monitoring & Remediation**, Westerville, Ohio, v. 9, p. 184-193, 1989.
- ELTZ, F. L. F., CASSOL, E. A., SCOPEL, I.; GUERRA, M. Perdas de solo e água por erosão em diferentes sistemas de manejo e coberturas vegetais em solo Laterítico Bruno-Avermelhado Distrófico (São Jerônimo) sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 117-125, 1984.
- ELTZ, F. L. F.; PEIXOTO, R. T. G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, n. 2, p. 259-267, 1989.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev.atual. Rio de Janeiro, 1997, 212 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa dos Solos. **Definição e notação de horizontes e camadas do solo**. 2. ed.rev.atual. Rio de Janeiro, 1988. 54 p. (Embrapa-SNLCS. Documentos, 3).
- EMBRAPA SOLOS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF: Embrapa Produção da Informação, 1999. 412 p.

- EMBRAPA HORTALIÇAS. **A cultura do tomateiro** (para mesa), Brasília, DF: Embrapa-Serviço de Produção de Informação, 1993, 92 p. (Coleção Plantar, 5).
- FABRIZZI, K. P.; GARCÍA, F. O.; COSTA, J. L.; PICONE, L. I. Soil water dynamics, physical proprieties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the Southern Pampas of Argentina. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 81, p. 57-69, 2005.
- FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W., SEDIYAMA, C. S., SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 1097-1104, 2003.
- FANTE JUNIOR. L.; REICHARDT, K.; JORGE, L.A.C.; SANTOS, O. O. Distribuição do sistema radicular de uma cultura forrageira. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 1091-1100, 1999. Suplemento.
- FAYAD, J. A.; FONTES, P C R; CARDOSO, A. A; FINGER, F. L.; FERREIRA, F.A. Absorção de nutrientes pelo tomateiro cultivado sob condições de campo e de ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 1, p.90-94, 2002.
- FEIBERT, E. B. G.; SHOCK, C. C.; SAUNDERS, L. D. Nitrogen fertilizer requirements of potatoes using carefully scheduledly sprinkler irrigation. **HortScience**, Alexandria, v. 33, n.2, p. 262-265, abril, 1998.
- FIDALGO, E. C. C.; ABREU, M. B. de; ARAUJO, F. O. de. Uso e ocupação das terras na bacia hidrográfica do rio São Domingos. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 9. SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 13., 2005, Niteroi. **Anais...** Niterói: Instituto de Geociências da UFF, 2005. CR-ROM.
- FIDALGO, E. C. C.; ABREU, M. B. Uso de imagens Áster para o mapeamento do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio São Domingos, RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais ...** Goiânia: INPE, 2005, p. 3747 – 3753.
- FREITAS, V. H. **Plantio direto**: o caminho para uma agricultura sustentável. Londrina: IAPAR, 1997.
- FULLER, L. G.; GOH, T. B.; OSCARSON, D. W. Cultivation effects on dispersible clay of soil aggregates. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 75, p. 101-107, 1995.
- FUNDAÇÃO CENTRO DE INFORMAÇÕES E DADOS DO RIO DE JANEIRO. **Anuário estatístico do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2005.
- FURLANI, A. M. C. Absorção de nutrientes pelas plantas. In: **Curso de atualização em nutrição mineral de plantas perenes**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. p. 2-13. Anais.

GÁLVEZ-FERNÁNDEZ, J.; SIMMONDS, L. P. O. Monitoring and modelling the three-dimensional flow of water under drip irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 83, p. 197-208, 2006.

GAWAD, G. A.; ARSLAN, A.; GAIHBE, A.; KADOURI, F. The effects of saline irrigation water management and salt tolerant tomato varieties on sustainable production of tomato in Syria (1999-2002). **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 78, p. 39-53, 2005.

GEORGAKAKOS, K. P.; CARPENTER, T. M. Potential value of operationally available and spatially distributed ensemble soil water estimates for agriculture. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 328, p. 177-191, 2006.

GONÇALVES, A. O.; FIDALGO, E. C. C.; BASTOS, C. L.; ABREU, M. B. Caracterização climática da bacia do rio São Domingos. In: WORKSHOP DE INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES OBTIDAS NO ÂMBITO DO PROJETO PRODETAB AQUÍFEROS - EMBRAPA SOLOS. 2006, Rio de Janeiro. 2006. **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. CD ROM.

GOMES C. e TESTEZLAF, R. Produtividade e eficiência de uso da água na cultura do tomate de mesa sob sistema de irrigação por gotejamento e sulcos. In: "WORKSHOP TOMATE NA UNICAMP: Perspectivas e Pesquisas", 2003, Campinas. **Anais...** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2003. 1 CD-ROM.

GRAZIANO, J. Sistema de Plantio Direto de Hortaliças: O cultivo do tomateiro no vale do Rio do Peixe, SC, em 101 respostas dos agricultores. Florianópolis, EPAGRI, Boletim Didático, 57, 2004. 53p.

GREEN, T. R.; AHUJA, L. R.; BENJAMIN, J. G. Advances and challenges in predicting agricultural management effects on soil hydraulic properties. **Geoderma**, Amsterdam, v. 116, p. 3-27, 2003.

GUZHA, A. C. Effects of tillage on soil microrelief, surface depression storage and soil water storage. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, p. 105-114, 2004.

HAMBLIN, A. P. The influence of soil structure on water movement, crop rot growth and water uptake. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 38, p. 95-158, 1985.

HANSEN, J. W. Is agricultural sustainability a useful concept? **Agricultural Systems**, Amsterdam, v. 50, p. 117-143, 1996.

HEILBRON, M.; DUARTE, B. P.; NOGUEIRA, J. R.; ALMEIDA, J. C. H.; TUPINAMBÁ, M.; GERALDES, M. C.; GUIA, C.; MIRANDA, A. W. A.; FILHO, R. S. S.; MEDEIROS, F. F. F.; MANSUR, K. Geologia da bacia do rio São Domingos, São José de Ubá, Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 9., 2005, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: DRM-RJ, 2005. 1 CD-ROM.

HERNANI, L. C., SALTON, J. C., FABRÍCIO, A. C., DEDECEK, R.; ALVES JUNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, n. 4, p. 667-676, out./dez. 1997.

HERRICK, J. E. Soil quality: an indicator of sustainable land management? **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 15, p. 75-83, 2000

HILLEL, D. **Soil and Water: Physical Principles and Processes, Physical Ecology: a Series of Monographs, Texts and Treatises**, Academic Press, New York, 1971, 288 p.

HILLEL, D. **Solo e Água – Fenômenos e Princípios Físicos**. Traduzido pelo convênio UFRGS-USAID / Wisconsin, Publicado pelo Departamento de Solos – UFRGS, Porto Alegre/RS, 1970, 231 p.

HMSO. Environmental Evaluation of Development Plans. London: HMSO, 1993.

HUDSON, N. **Soil Conservation**. London: Batsford Academic & Educ, 1961. 312 p.

IBSNAT/SMSS. **Agrotechnology Transfer**, Honolulu, n. 6, 1987. 4 p.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; DIAS JUNIOR, M. S.; TORMENA, C. A. Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 11-18, 2001.

JACQUES, P. D.; SHINZATO, E. Uso e cobertura do solo. In: **CPRM. Serviço Geológico do Brasil**. Rio de Janeiro: geologia, geomorfologia, geoquímica, geofísica, recursos minerais, economia mineral, hidrogeologia, estudos de chuvas intensas, solos, aptidão agrícola, uso e cobertura do solo, inventário de escorregamentos, diagnóstico geoambiental. Rio de Janeiro: CPRM: Embrapa Solos; Niterói: DRM-RJ, 2001d. Cap. 8. Contém texto e mapa color., escala 1:500.000. 1 CD-ROM.

JANSSEN, B. H., GUIKING, F. C. T., VAN DER EIJK, D., SMALLING, E. M. A., WOLF, J., VAN REULER, H. QUEFTS. Wageningen, Netherlands: Winand Staring Center. 1989.

KLAR, A. E. **A Água no Sistema Solo-planta-atmosfera**. Nobel, São Paulo, 1988, 408 p.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Condutividade hidráulica de um latossolo roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 945-953, 2002.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um latossolo roxo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 959-964, 2000.

KIRCHHOF, G.; SO, H. B.; ADISARWANTO, T.; UTOMO, W. H.; PRIYONO, S.; PRASTOWO, B.; BASIR, M.; LANDO, T. M.; DACANAY, E. V.; ELICANO-TAN, D.;

SANIDAD, W. B. Growth and yield response of grain legumes to different soil management practices after rainfed lowland rice. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 56, p. 51-66, 2000.

KONRAD, M.; HERNANDEZ, F. B. T.; SANTOS, R. A. Distribuição espacial do sistema radicular da aceroleira em um solo podzólico vermelho-amarelo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola 30., 2001, Foz do Iguaçu/PR, **Anais...**, Foz do Iguaçu: CONBEA, Julho de 2001.

LAL, R. GHUMAN, B., DHEARER, W. Sustainability of Different Agricultural Production Systems for Rainforest Zone of Southern Nigeria. In: International Congress on Soil Science 14., 1990. Kyoto/Japan, **Anais...**, Kyoto, Japan, v. 6, p. 186-191, 1990.

LEMOS, R. C. de; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3.ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 83p.

LEROHL, M. L. The sustainability of selected prairie crop rotations. **Canadian Journal of Agricultural Economics**, Ottawa, v. 39, p. 667-676, 1991.

LETEY, J. Relationship between Soil Physical Properties and Crop Production. **Advances in Soil Science**, New York, v. 1, p. 277-294, 1985.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Editora ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo, 1ª ed., 1995, 497p.

LIPIEC, J.; HATANO, R. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 116 p. 107-136, 2003.

LUCARELLI, J. R. F. **Alterações em características de um Latossolo Roxo submetido a diferentes sistemas de manejo**. 1997. 87p. Dissertação – Mestrado em Engenharia Agrícola. Faculdade de Engenharia Agrícola. UNICAMP, Campinas.

LUMBRERAS, J. F.; NAIME, U. J.; CARVALHO FILHO, A. de. Zoneamento agroecológico do Estado do Rio de Janeiro, 2003. Rio de Janeiro: Embrapa Solos (Rio de Janeiro) In: WORKSHOP DE INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES OBTIDAS NO ÂMBITO DO PROJETO PRODETAB AQUÍFEROS – Setembro de 2006. **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. Contém texto e mapa color., escala 1:250.000. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 33).

LUMBRERAS, J. F.; CARVALHO FILHO, A. de; NAIME, U. J.; AMARAL F. C. S. do; WITTERN, K. P.; SHINZATO, E.; DANTAS, M. E.; PRADO, R. B.; FIDALGO, E. C. C.; OLIVEIRA, R. P.; AGLIO, M. L. D.; CHAFFIN, C. E. **Mapa do zoneamento agroecológico do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003b. mapa color. Escala 1:250.000 Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/sigweb.html>> Acesso em: 5 jun. 2006.

LYON, D. J.; STROUP, W. W.; BROWN, R. E. Crop production and soil water storage in long term winter wheat-fallow tillage experiments. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 49, p. 19-27, 1998.

MACEDO, J. R.; FILHO, T. B. O.; BRITO, F. S.; OTTONI, M. V.; BHERING, S. B.; PEREIRA, N. R.; PALMIERI, F. Contribuição ao sistema brasileiro de classificação de solos com a inclusão da nomenclatura físico-hídrica nos 5 e 6 níveis categóricos. In: Workshop do projeto gestão participativa da sub-bacia do rio São Domingos/RJ – Geparmh, 14,. **Anais...**, 2005, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005.

MALASH, N.; FLOWERS, T. J.; RAGAB, R. Effect of irrigation systems and water management practices using saline and non-saline water on tomato production. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 78, p. 25-38, 2005.

MANTOVANI, E. C.; RAMOS, M. M. Eficiência na aplicação da água. In: COSTA, E. F., VIEIRA, R. F., VIANA, P. A. **Quimigação**: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Brasília: EMBRAPA - SPI, 1994. p. 135 - 152.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Manejo de irrigação em hortaliças**. 5.ed. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - CNPH, 1996. 71p.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, H. R.; SILVA, W. L. C.; CARRIJO, O. A. **Tensiômetros para manejo de irrigação em hortaliças**. Embrapa Hortaliças, 1998.

MARQUELLI, W. A.; SANT'ANA, R. R.; SILVA, W. L. C.; MORETTI, C. L.; VILELA, N. J. Avaliação técnica e econômica do espaçamento de gotejadores em tomateiro para processamento cultivado em fileiras simples e duplas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, n.2, p. 202-206, 2003.

MARQUELLI, W. A.; CARRIJO, O. A.; ZOLNIER, S. Variabilidade espacial do sistema radicular do tomateiro e implicações no manejo da irrigação em cultivo sem solo com substratos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 57-60, 2005.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Frequência de irrigação por gotejamento durante o estágio vegetativo do tomateiro para processamento industrial. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 7, p. 661-666, 2005.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, H. R.; MADEIRA, N. R. Uso de água e produção de tomateiro para processamento em sistema de plantio direto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 9, p. 1399-1404, 2006.

MAZUCHOWSKI, J. Z., DERPSCH, R. **Guia de preparo do solo para culturas anuais mecanizadas**. Curitiba: ACARPA, 1984. 68 p.

MEDEIROS, R.D.; SOARES, A.A.; GUIMARÃES, R.M. Compactação do solo e manejo da água. I: efeitos sobre a absorção de N, P, K. massa seca de raízes e parte aérea de plantas de arroz. **Ciência Agrotec.**, Lavras, v.29, n.5, p.940-947, set/out., 2005.

MEDEIROS, R.D.; SOARES, A.A.; GUIMARÃES, R.M. Efeitos da compactação do solo e do manejo da água sobre os componentes de produção e a produtividade de grãos de arroz. **Ciência Agrotec.**, Lavras, v.29, n.5, p.940-947, set/out., 2005.

MELO FILHO, J. F. e SILVA J. R. C. Erosão, teor de água no solo e produtividade do milho em plantio direto e preparo convencional em um Podzólico Vermelho-Amarelo no Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 291-297, 1993.

MENEZES, J. M. **Hidrogeoquímica da bacia hidrográfica do rio São Domingos – São José de Ubá/RJ**. 2005. 181p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geologia, UFRJ, Rio de Janeiro.

MESQUITA, M. G. B.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 879-883, 2004.

MINAMI, K. **O Tomateiro**. Piracicaba: Fundação Cargill: ESALQ-USP, 1978.

MOFOKE, A. L. E.; ADEWUMI, J. K.; BABATUNDE, F. E.; MUDIARE, O. J.; RAMALAN, A. A. Yield of tomato grown under continuous-flow drip irrigation in Bauchi state of Nigeria. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 84, p. 166-172, 2006.

MORGAN, R. P. C. Soil erosion and conservation in Britain. In: Morgan, R. P. C. (Ed.). **Soil erosion and its control**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986, p. 160-184.

MOROTE, C. G. B.; VIDOR, C.; MENDES, N. G. Alterações na temperatura do solo pela cobertura morta e irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 81-84, jan./abr. 1990.

MOURA, N. N. Percepção de risco do uso de agrotóxicos: o caso dos produtores de São José de Ubá/RJ. 2005. 92p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UFRRJ, Rio de Janeiro..

MUZILLI, O. O plantio direto no Brasil. In: Fancelli, A. L. (Coord). **Atualização em plantio direto**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p. 3-16.

MUZILLI, O. Princípios e perspectivas de expansão. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Plantio direto no Estado do Paraná**. Londrina, 1981. p. 11-17. (IAPAR. Circular, 23)

NAIME, U. J.; MOTTA, P. E. F. da; LUMBRERAS, J. F.; CARVALHO FILHO, A. de; PALMIERI, F.; BARUQUI, A. M.; FIDALGO, E. C. C. Aptidão agrícola das terras da bacia hidrográfica do Rio S. Domingos, municípios de São José de Ubá e Itaperuna, Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. Contém texto e mapa color., escala 1:50.000. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento). No prelo.

NARASIMHAN, T. N. Pedology: a hydrogeological perspective. **Vadose Zone Journal**, Madison, v. 4. p. 891-898, 2005.

NASCIMENTO, J. L.; STONE, L. F.; OLIVEIRA, L. F. C. Demanda total de água do feijoeiro nos sistemas de plantio convencional e direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 31(2): 159-161, 2001.

NGOUAJIO, M.; WANG, G.; GOLDY, R. Withholding of drip irrigation between transplanting and flowering increases the yield of field-grown tomato under plastic mulch. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 87, p. 285-291, 2007.

OECD. **Core set of indicators for environmental performance reviews**: A synthesis report by the group on the state of the environment. Paris, 1993.

OLIVEIRA, M. B. Análise do desempenho de equações de infiltração e de métodos de determinação da capacidade de campo para solos em uma bacia hidrográfica de São José de Ubá-RJ. 2004. 227 p. Dissertação. (Mestrado) – COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro.

OTTONI, M. V. Classificação físico-hídrica de solos e determinação da capacidade de campo in situ a partir de testes de infiltração. 2005. 141 p. Dissertação (Mestrado) - COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro.

PAGLIAI, M.; PEZAROSSA, B.; MAZONCINNI, M. Effects of tillage on porosity and microstructure of loam soil. **Soil Technology**, Cremlingen, v. 2, p. 345-358, 1989.

PALADINI, F. L. S.; MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 2, p. 135-140, 1991.

PANDA, R. K.; BEHERA, S. K.; KASHYAP, P. S. Effective management of irrigation water for wheat under stressed conditions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 63, p. 37-56, 2003.

PEARCE, D., MARKANDYA, A.; BARBIER, E. B. **Blueprint for a Green Economy**. London: Earthscan. 1989.

PESEK, J. Historical perspective. In: HATFIELD J. L.; KARLEN, D. L. (Ed.). **Sustainable Agriculture Systems**. London: Lewis, 1994. p. 1-19.

PRADO, R.; MACEDO, J. R.; PEREZ, D.; GONÇALVES, A. O.; MARINHO, A. G. ; CARVALHO, B. A.; RANGEL, M. C. Monitoramento de indicadores de qualidade da água como subsídio à gestão de recursos hídricos em microbacia do município de São José de Ubá - RJ. In: WORKSHOP DO PROJETO GESTÃO PARTICIPATIVA DA SUB-BACIA DO RIO SÃO DOMINGOS/RJ – GEPARMBH, 4., 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005. 1 CD ROM.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo**: a agricultura em regiões tropicais. São Paulo: Nobel, 1979. 549 pp.

RAO, M. D.; RAGHUWANSHI, N. S.; SINGH, R. Development of a physically based 1D-infiltration model for irrigated soils. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 85 p. 165-174, 2006.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4. ed. São Paulo: Fundação Cargill, 1985, 445 p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990, 188 p.

REICHARDT, K.; TIMM L. C. **Solo, Planta e Atmosfera: Conceitos, Processos e Aplicações**. São Paulo: Manole, 2004. 478p.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E. A method for simultaneous in situ measurements in the vadose zone of field saturated hydraulic conductivity, sorptivity, and the conductivity-pressure head relationship. **Ground Water Monitoring Review**, v. 6, p. 84-95, 1986.

REYNOLDS, W. D.; VIEIRA, S. R.; TOPP, G. C. An assessment of the single-head analysis for the constant head well permeameter. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, 72: 489-501, 1992.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma** Amsterdam, v. 110, p. 131-146, 2002.

RIGBY, D.; WOODHOUSE, P.; YOUNG, T.; BURTON, M. Constructing a farm level indicator of sustainable agricultural practice. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 39, p. 463-478. 2001.

REINERT, D. J. Recuperação de solos em sistemas agropastoris. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V., ed. Recuperação de áreas degradadas. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p.163-176.

SÁ, J. C. M. Plantio direto: a alternativa de manejo do solo em regiões tropicais. In: **Ft-Pesquisa e Sementes**. Recomendações de cultivo 1995. Ponta Grossa, 1995. p. 05-14.

SÁ, N. S. A. de; PEREIRA, G. M.; ALVARENGA, M. A. R.; MATTIOLI, W; CARVALHO, J. A. Comportamento da cultura do tomateiro sob diferentes tensões de água no solo em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 341-347, 2005.

SANTOS, H. P.; TOM, G. O.; LHAMBI, J. C. B. Plantio direto versus convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de culturas em rotação com cevada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 449-454, 1995.

SARWAR, A.; BASTIAANSEN, W. G. M.; FEDDES, R. A.; Irrigation water distribution and long-term effects on crop and environment. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 50, p. 125-140, 2001.

SAYSEL, A. K.; BARLAS, Y.; YENIGÜN, O. Environmental sustainability in a agricultural development project: a system dynamics approach. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 64, p. 247-260, 2002.

SCOPEL, E.; DOUZET, J. M.; SILVA, F. A. M. ; CARDOSO, A. ; MOREIRA, J. A. A.; FINDELING, A.; BERNOUX, M. Impactos do sistema de plantio direto com cobertura vegetal (spdcv) sobre a dinâmica da água, do nitrogênio mineral e do carbono do solo do cerrado brasileiro. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v.22, n.1, p.169-183, jan./abr. 2005.

SHARRATT, B.; ZHANG, M.; SPARROW, S. Twenty years of tillage research in subarctic Alaska. I. Impact on soil strength, aggregation, roughness, and residue cover. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 91, p. 75-81, 2006.

SHARRATT, B.; ZHANG, M.; SPARROW, S. Twenty years of conservation tillage research in subarctic Alaska. II. Impact on soil hydraulic properties. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 91, p. 82-88, 2006.

SHOCK, C. C.; HOBSON, J. H.; SEDDIGH, M.; SHOCK B.M.; STIEBER, T. D.; SAUNDERS L. D. Mechanical straw mulching of irrigation furrows soil erosion and nutrient losses. **Agronomy Journal**, Madison, v.89, n.6, p. 887-893, 1997.

SHOCK, C. C. Instrumentos para determinação da umidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola/Universidade Federal de Lavras, 1998, p. 137-149.

SHOCK, C. C.; BARNUM, J.; SEDDIGH, M. Calibration of Watermark soil moisture sensors for irrigation management. In: International Irrigation Show, 1998, San Diego. **Proceedings...** San Diego: The Irrigation Association. 1998, p. 139-146.

SHOCK, C. C. Irrigation management that produces value for growers and environmental stewardship. In: INTERNATIONAL IRRIGATION SHOW, 1999, San Diego. **Proceedings...** San Diego: The Irrigation Association, 1999, p. 101-108.

SHOCK, C. C.; RYAN, J. D.; SHOCK, C.A.; KIMBERLING, C.A. Innovative, automatic, low-cost reading of watermark soil moisture sensors. In: INTERNATIONAL IRRIGATION SHOW, 1999, San Diego. **Proceedings...** San Diego: The Irrigation Association, 1999, p. 147-152.

SHOCK, C. C; FELBERT, E. B. G; SAUDERS, L. D. **Irrigation management for hybrid polar production. 1997 -1999.** Oregon State University, Malheur Experiment Station, Annual Report, 1999. Disponível em: <<http://www.cropinfo.net/AnnualReports/1999/popinn99.htm>> acesso em: 09/03/2005.

SHOCK, C. FEIBERT, E. JADERHOLM, S. **A Comparison of six soil moisture sensors.** Oregon State University, Malheur Experiment Station, Annual Report, 2001.

Disponível em: <<http://www.cropinfo.net/AnnualReports/2001/popsensortest01.htm>> acesso em: 09/03/2005.

SHOCK, C. AKIN, A. UNLENEM, L. FEIBERT, E. KINDRA, N. AUTUMM, T. **A comparison of soil water potential and soil water content sensors.** Oregon State University, Malheur Experiment Station Annual Report, 2002. Disponível em: <<http://www.cropinfo.net/AnnualReports/2002/sensortest02.htm>> acesso em: > acesso em: 09/03/2005.

SHOCK, C., KIMBERLING, K., TSCHIDA, A., KINDRA, N., LYNN, JENSEN., SHOCK, C. **Soil moisture based irrigation scheduling to improve crops and the environment.** Oregon State University, Malheur Experiment Station, Annual Report, 2002. Disponível em: <<http://www.cropinfo.net/AnnualReports/2002/hansen2002.htm>> acesso em: 09/03/2005.

SHOCK, C. C. Soil water potencial measurement by granular matrix sensor. In STEWART, B. A.; HOWELL, T. A (Ed.). **The Encyclopedia of Water Science.** New York: Marcel Dekker, 2003, p. 899-903.

SHOCK, C. C.; SHOCK, C. **Comparison of the AM400 and watermark monitor for precise irrigation scheduling.** Oregon State University, Malheur Experiment Station, Annual Report, 2003. Disponível em: <<http://www.cropinfo.net/AnnualReports/2003/hansenirrometer2003.htm>> acesso em: 09/03/2005.

SHOCK, C. C.; AKIN, A. I; UNLENEM, L. A.; FEIBERT, E. B. G.; SHOCK, C. A. Precise irrigation scheduling using soil moisture sensors. In: INTERNATIONAL IRRIGATION SHOW, 2003, San Diego. **Proceedings...** San Diego: The Irrigation Association, 2003, p. 251-262.

SHUKLA, M. K.; LAL, R.; EBINGER, M. Determining soil quality indicators by factor analysis. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 87, p. 194-204, 2006.

SIDIRAS, N.; DERPSCH, R.; MONDARDO, A. Influência de diferentes sistemas de preparo de solo na variação da umidade e rendimento da soja em Latossolo Roxo Distrófico (Oxisol). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.1, p. 103-106, jan./abr. 1983.

SIDIRAS, N. e PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo na temperatura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.3, p. 181-184, set./dez. 1986.

SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L.; CAMARGO, O. A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n. 2, p. 91-95, mai./ago. 1986.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22, n.2, p.311-317, 1998.

SILVA, A. J. N.; RIBEIRO, M. R.; MERMUT, A. R.; BENKE, M. B. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em latossolo amarelos coesos do Estado de Alagoas: propriedade micromorfológicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, n.3, p.515-525, 1998.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Susceptibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho- Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.24, n.2, p.239-249, 2000.

SILVA, A. P. D.; NADLER, A. e KAY, B. D. Factors contributing to temporal stability in spatial patternise of water content in the tillage zone. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.58, p. 207-218, 2001.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, p. 253-260, 2001.

SINGH, K. B.; GAJRI, P. R.; ARORA, V. K.; Modelling the effects of soil and water management practices on the water balance and performance of rice. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 49, p. 77-95, 2001.

SINGH, U.; THORNTON, P. K. Using crop models for sustainability and environmental quality assessment. **Outlook on Agriculture**, London, v. 21, p. 209-218. 2002.

SMITH, C. S.; MCDONALD, G. T. Assessing the sustainability of agriculture at the planning stage. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 52, p. 15-37, 1998.

SMITH, C. S.; MCDONALD, G. T.; THWAITES, R. N. TIM: Assessing the sustainability of agriculture land management. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 60, p. 267-288, 2000.

STARR, J. L.; PALTINEAUNU, I. C. Real-time soil water dynamics over large areas using multisensor capacitance probes and monitoring system. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 47, p. 43-49, 1998.

STOCKLE, C. O.; PAPENDICK, R. I.; SAXTON, K. E.; CAMPBELL, G. S.; VAN EVERT, F. K. A framework for evaluating the sustainability of agricultural production systems. **American Journal of Alternative Agriculture**, Cambridge, Inglaterra, v. 9, p. 45-50. 1994.

SUSTAINABLE development. In: AUSTRÁLIA. Queensland Government. **Commission of inquiry into the conservation, management and use of Fraser Island and the Great Sandy Region**: final discussion paper. Brisbane: Queensland Government Printer, 1990. v.1, p. 281-297.

THOMPSON, R. B.; GALLARDO, E. M.; AGÜERA, T.; VALDEZ, L. C.; FERNANDEZ, M. D. Evaluation of the watermark sensor for use with drip irrigated vegetable crops. **Irrigation Science**, Berlin, v. 24, p. 185-202, 2006.

THOMPSON, R. B.; GALLARDO, M.; VALDEZ, L. C.; FERNÁNDEZ, M. D. Using plant water status to define threshold values for irrigation management of vegetable crops using soil moisture sensors. WANG, D.; KANG, Y.; WAN, S. Effect of soil matric potential on tomato yield and water use under drip irrigation condition. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 88, p. 147-158, 2007.

TORMENA, C. A.; SILVA A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um latossolo roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.22, n. 4, p. 573-581, 1998.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade, e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, v.59, n.4, p.795-801, out./dez. 2002

TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num latossolo vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 1023-1031, nov./dez. 2004.

TORQUEBIAU, E. Are tropical agro forestry gardens sustainable? **Agriculture and Human Values**, Dordrecht, v. 9, p. 11-19, 1992.

USÓN, A.; POCH, R. M. Effects of tillage and management practices on soil crust morphology under a Mediterranean environment. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, n. 3-4, p. 191-196, april 2000.

VAN DEN BYGAART, A. J.; PROTZ, R.; TOMLIN, A. D.; MILLER, J. J. Tillage System effects on near-surface soil micromorphology: observations from a landscape to micro-scale in silt loam soils of southwestern Ontario. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 51, n. 1-2, p. 139-149, jul. 1999.

VAN DIEPES, V. C. A., RAPPALST, C., WOLF, J.; VAN KEULEN, H. **CWFS Crop Growth Simulation Model WOFOST**. Wageningen: Center for World Food Studies, 1988.

VIEIRA, S. R., HATFIELD, J. L., NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.

VIEIRA, S. R.; REYNOLDS, W. D.; TOPP, G. C. Spatial variability of hydraulic properties in a highly structured clay soil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE AND WORKSHOP ON THE VALIDATION OF FLOW AND TRANSPORT MODELS FOR THE UNSATURATED ZONE, 1988, Ruidoso, New Mexico, USA. **Proceedings...** New Mexico, USA.

- VIEIRA, S. R. Permeâmetro: novo aplicado na avaliação de manejo do solo. **O Agrônomo**: Boletim Técnico-Informativo do Instituto Agrônomo, Campinas, v. 47-50, p. 32-33, 1998.
- VOMOCIL, J. A.; FLOCKER, W. J. Effect os soil compaction on storage and movement of soil, air and water. **Tras. Am. Soc. Agric. Eng.**, Saint Joseph, v. 4, p. 242-246, 1966.
- WAIRIU, M.; LAL, R. Tillage and land use effects on soil microporosity in Ohio, USA and Kolombangara, Solomon Islands. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 88, p. 80-84, 2006.
- WANG, D.; KANG, Y.; WAN, S. Effect of soil matricial potential on tomato yield and water use under drip irrigation condition. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, 2006.
- WANG, D.; KANG, Y.; LIU, S-P.; HOU, X-Y. S. Effect of soil matric potential on potato growth under drip irrigation in the North China Plain. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 88, p. 34-42, 2007.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transaction American Geophysical Union**, Baltimore, v. 39, n. 5, p. 285-291, 1958.
- WISCHMEIER, W. H. A rainfall erosion index for a Universal Soil-Loss Equation. **Proc. Soil Sci. Soc. Am.**, Madison, v. 23, p.246-249, 1959.
- YUNLONG, C.; SMIT, B. Sustainability in Agriculture: A General Review. **Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 49, p. 299-307. 1994
- ZAFFARONI, E.; BARROS, H. H.; NÓBREGA, J. A. M.; LACERDA, J. C.; SOUZA, J. R. V. E. Efeitos de métodos de preparo do solo na produtividade e outras características agrônômicas de milho e feijão no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n. 1, p.99-104, 1991.