

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**SOLOS IRRIGADOS E DESEMPENHO DE SISTEMAS DE
IRRIGAÇÃO EM PERÍMETROS PÚBLICOS DA BAHIA E
PERNAMBUCO**

JORGE LUIZ VIANA BORGES

Cruz das Almas - BA

Julho/2010

SOLOS IRRIGADOS E DESEMPENHO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO EM PERÍMETROS PÚBLICOS DA BAHIA E PERNAMBUCO

JORGE LUIZ VIANA BORGES

Engenheiro Agrônomo

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2007

Dissertação submetida à Câmara de Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Ciências Agrárias, área de Concentração: Agricultura Irrigada e Sustentabilidade de Sistemas Hidroagrícolas

Orientador: Prof. Dr. Aureo Silva de Oliveira

Co-Orientador: Prof. Dr. Francisco Adriano de Carvalho Pereira

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CRUZ DAS ALMAS – BAHIA – 2010

FICHA CATALOGRÁFICA

B732

Borges, Jorge Luiz Viana

Avaliação de Sistemas de Irrigação em Perímetros Públicos da Bahia e Pernambuco / Jorge Luiz Viana Borges _ Cruz das Almas, BA, 2010.

f. 61. ; il.

Orientador: Áureo Silva de Oliveira

Co-orientador: Francisco Adriano de Carvalho Pereira

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Área de Concentração: Agricultura Irrigada e Sustentabilidade de Sistemas Hidroagrícolas.

1. Irrigação. 2. Irrigação agrícola. 3. Física do solo. I. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.
II. Título.

CDD 633.18

DEDICATÓRIA

Ao Mestre Jesus Cristo, pela sua luz e ensinamento do amor ao próximo;

Aos anjos de luz que me acompanham;

Aos meus pais, Antonio de Almeida Borges e Cleonice da Rocha Vianna Borges,
pela graça da vida;

Aos meus irmãos, Alice, João, Antonio, Rita, Aparecida, Cunhados e Sobrinhos.

A minha querida esposa Ana Katya e meus amados filhos Brisa e Gabriel.

A família de minha esposa, Francisco Bezerra, Rosa Maria Bezerra, Anacleto
Bezerra e Catiana Bezerra.

Ao amigo Antonio Moreira e família pela sincera amizade com meus pais.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), ao Núcleo de Engenharia de Água e Solos (NEAS) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias por oferecer oportunidade de realização do curso;

À Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF) por ter concedido a realização do trabalho;

Aos professores Drs. Aureo Silva de Oliveira e Francisco Adriano Pereira, pela confiança, incentivo, amizade e orientação durante o curso;

Ao professor Dr. Warli dos Anjos de Souza pela compreensão e a flexibilidade do horário de trabalho.

Ao Professor Dr. Marcos Roberto da Silva pela amizade, incentivo e sugestões;

Aos Professores Drs. Jorge Rabelo, José Fernandes, Claudia Bloisi, Mauricio Antonio Coelho Filho pelo incentivo;

Ao professor Dr. Eugenio Ferreira Coelho pelas aulas enriquecedoras;

Aos colegas do NEAS, Antonio Helder, Eliel, Mateus, Marcio, Rogério Lemos e Olívia pelas horas de estudos e amizade.

Enfim, aos meus amigos, familiares e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	
ABSTRACT	
INTRODUÇÃO.....	01
 Capítulo 1	
 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DE SOLOS DOS PERÍMETROS IRRIGADOS DE NILO COELHO, BEBEDOURO E MARIA TEREZA, NOS ESTADOS DA BAHIA E PERNAMBUCO.....	 04
 Capítulo 2	
 UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NOS PERÍMETROS IRRIGADOS DE NILO COELHO, BEBEDOURO E MARIA TEREZA, NOS ESTADOS DA BAHIA E PERNAMBUCO.....	 42

SOLOS IRRIGADOS E DESEMPENHO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO EM PERÍMETROS PÚBLICOS DA BAHIA E PERNAMBUCO

Autor: Jorge Luiz Viana Borges

Orientador: Aureo Silva de Oliveira

Co-Orientador: Francisco Adriano de Carvalho Pereira

RESUMO

A contribuição socioeconômica do projeto de agricultura irrigada da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF) realizado em Petrolina (PE) e Juazeiro (BA) exerce papel relevante de sustentabilidade baseado na produção de frutas, gerando emprego e renda. Este trabalho teve como objetivo estudar as características físico-hídricas dos solos e avaliar a qualidade da irrigação com base nos indicadores de performances nas condições atuais de manejo e operação dos sistemas de irrigação, em 28 lotes dos perímetros irrigados de Nilo Coelho e Bebedouro, localizados em Petrolina-PE e Maria Tereza localizada nos municípios de Casa Nova - BA e Petrolina- PE. Foram coletadas amostras em duas profundidades (0-0,3m e 0,3-0,6m) de diferentes perfis de solos cultivados com várias frutíferas, sendo avaliados os seguintes parâmetros: granulometria, densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, curva de retenção de água no solo, capacidade total de armazenamento de água no solo (CTA) e capacidade real de água no solo (CRA). A qualidade da irrigação foi avaliada com base na determinação dos coeficientes de uniformidade de Christiansen e de Distribuição (CUC e CUD), em quatro sistemas de irrigação (aspersão convencional, microaspersão, gotejamento e por sulco). Os perímetros irrigados em relação à caracterização físico-hídrica apresentaram texturas distintas e problemas de compactação leves nos horizontes estudados. Em relação ao desempenho, os sistemas de irrigação por microaspersão e de gotejamento mostraram-se mais eficientes do que o da irrigação por aspersão convencional e por sulco.

Palavras-Chave: física do solo, agricultura irrigada e qualidade da irrigação.

IRRIGATED SOILS AND PERFORMANCE OF IRRIGATION SYSTEMS IN PUBLIC IRRIGATION SCHEMES OF BAHIA AND PERNAMBUCO

Author: Jorge Luis Borges Viana

Advisor: Aureo Silva de Oliveira

Co-Advisor: Francisco Adriano de Carvalho Pereira

ABSTRACT

The contribution of socioeconomic Project Development Company of the Valleys of San Francisco and Parnaíba (CODEVASF) carried out in Petrolina (Pernambuco) and Juazeiro (BA) plays an important role of sustainability based on the production of fruits, generating employment and income. This work aimed to study the physico-hydric soils and evaluate the quality of irrigation on the basis of performance indicators in the current conditions of handling and operation of irrigation systems in irrigated areas of Nilo Coelho, Bebedouro located in Petrolina and Maria Tereza located in the cities of Casa Nova - BA and Petrolina-PE, in 32 irrigated plots. Samples were collected at two depths (0-0.3 m and 0.3 to 0.6 m) of different soil profiles cultivated with various crops. Parameters evaluated: granulometry, density, porosity, macro and micro, retention curve, soil water, total water storage in soil (CTA) and actual capacity of water (CRA). The quality of irrigation was evaluated based on performance indicators (CUC and CUD) in four irrigation systems (sprinkler, sprayer, drip and furrow). The irrigated areas had different textures, light compaction problems in most horizons studied. The micro sprinkler irrigation systems and drip was more efficient than sprinkler irrigation and conventional furrow.

Key words: soil physics, irrigated agriculture and irrigation quality.

INTRODUÇÃO

A pressão mundial pelo combate à fome e a conseqüente busca pela produção de alimentos têm obrigado a agricultura moderna a proporcionar resposta eficiente para satisfazer uma das maiores necessidade humana. Segundo FAO (2002), estima-se que no ano 2030 a metade de todos os alimentos produzidos e dois terços de todos cereais colhidos, sejam oriundos da agricultura irrigada. Em contrapartida, o uso da irrigação na produção agrícola tem sofrido sérias críticas no que diz respeito à questão ambiental (OLIVEIRA et al., 2009), sobretudo por aqueles que a consideram uma das responsáveis, em larga medida, pelo problema de escassez de água e de energia. Todavia, as críticas sobre os aspectos mencionados, não tomando para a produção de alimentos e, portanto, para a economia agrícola brasileira podem ser consideradas improcedentes ou irracionais.

A irrigação, como técnica que garante a produção agrícola, é considerada um elemento fomentador do desenvolvimento socioeconômico. Como exemplo pode-se citar os projetos implantados pela Companhia de Desenvolvimento dos Vales de São Francisco e do Parnaíba - CODEVASF nos municípios de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA). Neste pólo de agricultura irrigada, cultivos de frutas e hortaliças atingem altos índices de produtividade, gerando aumento na renda “per capita”, incremento do comércio local e regional, estabelecimento de indústrias de transformação de matéria-prima (FRANÇA, 2001).

Do ponto de vista hídrico, a demanda de água para produção de alimentos é alta. Para uma planta atingir o potencial produtivo é requerido um volume de água para o respectivo metabolismo que pode ser considerado extremamente alto quando comparado com outros tipos de usos (TESTEZLAF; MATSURA; CARDOSO, 2002).

A demanda de água na agricultura por outro lado, depende do clima da região, dos métodos de cultivo, da produtividade esperada. Uma vez garantido o suprimento de água adequado, a aplicação e distribuição da água no campo devem ser monitorados em intervalos regulares com o objetivo de diagnosticar o desempenho do equipamento instalado e avaliar se o manejo da irrigação está sendo feito de forma satisfatória (FRIZZONE, 2007). Estes cuidados têm igualmente uma conotação ambiental, pois irrigação bem conduzida contribui para economia de água e preservação da qualidade do solo.

Este trabalho teve como objetivo estudar as características físico-hídricas dos solos e avaliar o desempenho de sistemas de irrigação nas condições atuais de manejo e operação dos sistemas de irrigação nos perímetros públicos de Nilo Coelho, Bebedouro Maria Tereza, localizados nos Estados da Bahia e Pernambuco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FAO. **Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas**. Califórnia, 2002. (FAO irrigation and drainage paper, 61).

FRANÇA, Francisco Mavignier Cavalcante **Políticas e estratégias para um novo modelo de irrigação**: documento síntese. Fortaleza. Banco do Nordeste. 2001. 127p.

FRIZZONE, J. A. Planejamento da irrigação com uso de técnicas de otimização. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, CE. v.1, n.1, p. 24-49, 2007.

OLIVEIRA, A. S. et al. Irrigation water management in Latin America. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Chile, v. 69, n. 1, p. 1-16, 2009.

TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. E.; CARDOSO, J. L. **Importância da irrigação no desenvolvimento do agronegócio**. Campinas-SP: Associação Brasileira da Indústria e Máquinas e Equipamentos, 2002.

CAPÍTULO 1

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DE SOLOS DOS PERÍMETROS IRRIGADOS DE NILO COELHO, BEBEDOURO E MARIA TEREZA, NOS ESTADOS DA BAHIA E PERNAMBUCO¹

¹Artigo ajustado para submissão ao Comitê Editorial do periódico científico Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental

RESUMO: A irrigação funciona como um fator imprescindível para garantia de produção e aumento de produtividade, principalmente em regiões onde há uma irregularidade na distribuição das chuvas, como no semi-árido Nordeste. Este trabalho teve o objetivo de avaliar as características físico-hídricas dos solos dos Perímetros Irrigados de Nilo Coelho (PINC), Bebedouro (PIB) e Maria Tereza (PIMT). Como bases para definir práticas de manejo de solo e da irrigação foram coletadas amostras de estrutura deformada para determinação da granulometria e estruturas indeformada para obtenção da densidade do solo, porosidade total, capacidade total de armazenamento de água no solo (CTA) e capacidade real de água no solo (CRA) em duas profundidades (0-0,3 m e 0,3-0,6 m) de diferentes perfis de solos cultivados com várias frutíferas. Os perímetros irrigados apresentaram texturas e distribuição granulométricas bem distintas nas profundidades de 0 a 0,3 m e de 0,3 a 0,6 m. Verificou-se que os solos amostrados apresentaram problemas de compactação leves na maioria dos horizontes estudados. Os coeficientes de ajuste (R^2) da curva de retenção de água aos dados experimentais foram superiores em média a 97,6, 99,7 e 99,2% para PINC, PIB e PIMT, respectivamente. Quanto à CTA e CRA no solo foram observados um bom armazenamento de água nos solos em relação aos lotes analisados, com exceções os lotes 609, 1000 e 1029 do PINC que se encontravam abaixo e no limite inferior da CTA (12 a 48 mm) para textura franca, conforme a Tabela 4, sinalizando a necessidade de um manejo de irrigação adequado.

Palavras-Chave: granulometria, porosidade, retenção de água.

EVALUATION OF PHYSICAL CHARACTERISTICS AND WATER HOLDING CAPACITY OF SOILS FROM PUBLIC IRRIGATION SCHEMES IN THE STATES OF BAHIA AND PERNAMBUCO

SUMMARY: The irrigation works as an essential factor for ensuring production and increased productivity, especially in regions where there is an irregularity in the distribution of rainfall, as in semi-arid Northeast. This study aimed to evaluate the physico-hydric soils of Irrigated Nile Coelho (PINC), Bebedouro (PIB) and Maria Teresa (PIMT). As a basis for defining management practices for irrigation and soil samples were collected for determination of the deformed structure granulometry and structure for obtaining undisturbed soil bulk density, porosity, total water storage in soil (CTA) and actual ability to water (CRA) at two depths (0-0.3 | 0.3 to 0.6 m) of different soil profiles with several cultivated fruit trees. The irrigated areas showed textures and particle granulometry distribution in very different depths of 0 to 0.3, 0.3 to 0.6 m. It was found that soil compaction problems studied showed mild in most horizons studied. The adjustment coefficients (R^2) of the water retention curve to the experimental data were higher on average to 97.6, 99.7 and 99.2% for PINC, PIB and PIMT, respectively. As for the CTA and CRA were observed in the soil a good water storage in soils in relation to the lots, lots with exceptions 609, 1000 and 1029 of PINC and who were below the lower limit of CTA (12-48 mm) for loam, according to Table 4, indicating the need for adequate irrigation management.

Key words: texture, porosity, water retention.

INTRODUÇÃO

As altas taxas de crescimento populacional nas últimas décadas têm aumentado a demanda por alimentos, fibras, energia e outros produtos necessários à sobrevivência humana. A irrigação funciona como um fator imprescindível para garantia de produção com qualidade e aumento de produtividade, principalmente em regiões onde há uma irregularidade na distribuição das chuvas, como no semi-árido Nordeste.

No cultivo intensivo com irrigação, as alterações nas propriedades físicas do solo são mais acentuadas e ocorrem em menor intervalo de tempo do que em outros sistemas de cultivo (DANTAS, 1996). Dentre as propriedades físicas do solo, a porosidade, a densidade e a condutividade hidráulica são as mais susceptíveis a alterações (COELHO, 1992; ALMEIDA, 1995; SILVA, 1996; SOUZA et al. 2005). Todas as alterações prejudiciais que ocorrem no solo são decorrentes de um manejo mal sucedido. De acordo com Campos et al. (1995), a degradação da estrutura do solo acarreta perda das condições favoráveis ao desenvolvimento vegetal, predispondo-o ao aumento da erosão hídrica. Para Kiehl (1979) e Reichardt (1990), a alteração na estrutura do solo pode provocar compactação e, conseqüentemente, variação na densidade do solo.

Existem muitas causas de variação nas características dos solos, relacionadas com os fatores de formação, com o manejo agrônômico e com a erosão (CASTRIGNANO & STELLUTI, 1999). Segundo Tragmar et al. (1985) propriedades do solo muito afetadas pelo manejo apresentam maior variabilidade que as ligadas às características morfológicas (cor e horizontes), físicas (tamanho das partículas e densidade das partículas) e químicas (pH).

Dentre as muitas variáveis que interferem no crescimento vegetal, a água pode ser considerada a principal, sendo muito importante sua manutenção em níveis não limitantes ao longo do ciclo produtivo da cultura, seja através de técnicas de conservação da água no solo ou pelo fornecimento de água por irrigação (COELHO FILHO, 2001).

A caracterização dos solos quanto aos aspectos físicos e hídricos é fundamental para a compreensão das inter-relações solo/água/planta/atmosfera, indispensáveis ao desenvolvimento adequado das plantas e elaboração de

projetos de irrigação adequados ao meio ambiente. Reichardt (1990) considera o solo como um reservatório de água para plantas e que todas as práticas de manejo de água na agricultura devem visar à manutenção dos níveis ideais para o desenvolvimento das culturas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as características físico-hídricas de solos irrigados de perímetros públicos da CODEVASF localizados na Bahia e Pernambuco visando o melhor desenvolvimento das fruteiras e a economia de água e energia.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área

O estudo foi realizado no Pólo de Irrigação de Petrolina-PE/Juazeiro-BA nos Perímetros Irrigados de Nilo Coelho (PINC), Bebedouro (PIB) e Maria Tereza (PIMT), localizados na região do Sub-médio São Francisco. Os três perímetros compreendem uma área irrigada total de 25.660 ha, assim distribuídos: 18 lotes do PINC compreendido em 12.814 ha de lotes de pequenos produtores e 6.043 ha de lotes empresariais; 4 lotes do PIB compreendido em 1.223 ha de lotes de pequenos produtores e 858 ha de lotes empresariais; 6 lotes do PIMT compreendido em 4.712 ha de lotes de diferentes tamanhos.

Tabela 1. Caracterização geral dos lotes selecionados no PINC.

Lotes	Área Irrigada (ha)	Total de Área (ha)	Cultura	Espaçamento (m)	Sistema
1029	7,5	7,5	Manga Banana Goiaba	12x12	Aspersão convencional
1059	6,25	6,25	Manga Goiaba Banana	12x12	Aspersão convencional
1164	6,0	6,0	Goiaba Manga Abacate Pinha	12x12	Aspersão convencional
1482	9,0	9,0	Uva Goiaba	12x12	Aspersão convencional
1515	1,0	72,0	Goiaba Banana	15x12	Aspersão convencional
309	7,0	7,0	Goiaba Manga Banana	6x6	Microaspersão
392	7,36	7,36	Manga Côco	6x7	Microaspersão
521	6,37	6,37	Manga Goiaba Uva	10x10	Microaspersão
540	65,0	210,0	Uva	10x5	Microaspersão
609	4,0	6,0	Manga	8x9	Microaspersão
765	6,13	6,13	Manga Goiaba	7x8	Microaspersão
1000	6,59	6,59	Côco	8x8	Microaspersão
1079	3,0	5,75	Uva	3x3	Microaspersão
1141	6,0	6,0	Banana Acerola	6x5	Microaspersão
1653	11,2	70,0	Uva	2x3	Microaspersão
541	29,37	29,37	Uva	0,5x3,5	Gotejamento
648	130,0	140,0	Manga Uva	1x8	Gotejamento
1147	21,0	21,0	Uva Goiaba Mamão	0,5x3,5	Gotejamento

Tabela 2. Caracterização geral dos lotes selecionados no PIB.

Lotes	Área Irrigada (ha)	Total de Área (ha)	Cultura	Espaçamento (m)	Sistema
43	3,0	14,0	Manga	6x5	Microaspersão
99	3,0	10,8	Uva	0,5x3	Gotejamento
17	5,5	9,8	Manga Uva	-	Sulcos
64	-	12,6	Uva Manga	-	Sulcos

Tabela 3. Caracterização geral dos lotes selecionados no PIMT.

Lotes	Área Irrigada (ha)	Total de Área (ha)	Cultura	Espaçamento (m)	Sistema
2108	6,0	6,	Manga Goiaba Acerola	24x24	Aspersão convencional
2149	2,5	10,	Côco consórcio Banana	24x24	Aspersão convencional
1908	6,0	6,0	Goiaba Manga	4x5	Microaspersão
1909	8,6	15,5	Manga	5x8	Microaspersão
2028	1,4	5,8	Goiaba	6x7	Microaspersão
2118	2,6	12,	Uva	3x3,5	Microaspersão

Caracterização climatológica

O clima da região é do tipo BSw^h, segundo a classificação de Köppen, ou seja, clima semi-árido. Um dos maiores problemas das regiões semi-áridas é a irregularidade das chuvas, aliada à ocorrência de temperaturas elevadas, ocasionando longos períodos de deficiência hídrica. A temperatura do ar média mensal oscila entre 24,2°C (julho) e 28,2°C (novembro). A reduzida amplitude térmica anual explica-se pela proximidade da região em relação ao equador terrestre. Nos meses mais úmidos (maior precipitação) a umidade relativa do ar média é em torno de 66%. Os menores valores de UR (<55%) ocorrem nos meses de setembro e outubro.

A precipitação pluvial é o elemento meteorológico de maior variabilidade espacial e temporal. Nos últimos 30 anos, em Petrolina, o total anual médio de chuva tem sido da ordem de 567 mm. O período chuvoso concentra-se entre os meses de novembro e abril, com 90% do total anual.

Disponibilidade hídrica

A água é derivada do lago da Barragem de Sobradinho, de propriedade da Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF). Os trabalhos de operação e manutenção dos projetos irrigados são de responsabilidade de Distritos de Irrigação localizados nos perímetros. Os distritos são associações civis sem fins lucrativos que congregam os usuários na área de abrangência dos projetos.

O PINC possui 158 km de canais; 818 km de adutoras, 711 km de estradas; 262 km de drenos; 39 estações de bombeamento. O PIB possui 31 km de canais; 45 km de estradas; 64 km de drenos; 5 estações de bombeamento e o PIMT possuem 76 km de adutoras; 34 km de drenos, 55 km de estradas.

Caracterização do solo

A geologia da área estudada pertence ao grupo Caraíba (BRASIL, 1973), constituído por rochas do Pré-Cambriano Indiviso, destacando-se gnaisses, anfibolitos e migmatitos. Este embasamento cristalino está recoberto por um impedimento de espessura variável, constituído de material detrítico de textura variada, muitas vezes com camadas de calhaus de quartzo e concreções (JACOMINE et al., 1976, 1977). O relevo predominante é típico da depressão periférica do rio São Francisco, apresentando-se caracteristicamente plano e suave ondulado, onde se destacam algumas serras de quartzito com orientação norte-sul, onde se desenvolvem os solos classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006) atualmente são classificados, respectivamente, como NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (RQ), LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (LVAd), ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (PVAd) e ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico (PVAe).

Parâmetros de Avaliação

Granulometria

Utilizaram-se amostras simples com estrutura deformada, retiradas por meio de trato tubular tipo sonda nas profundidades de 0-0,3 m e 0,30-0,6 m, em pontos aleatórios, na proporção de três pontos por hectare, estas adicionadas a um balde e feita à homogeneização para obtenção de uma amostra composta para cada uma das profundidades. Após serem secas ao ar, desagregadas e passadas por peneira com 2 mm de abertura de malha, as amostras foram utilizadas para determinação da granulometria, com base em metodologia descrita no manual de métodos de análises físicas (EMBRAPA, 1997).

Curva de retenção, densidade do solo, porosidade e água disponível

Para determinação das curvas de retenção de água, densidade do solo e porosidade utilizou-se amostras com estrutura indeformada, coletadas em camadas de solo. Foram retiradas duas amostras nas profundidades de 0-0,3 m e 0,3-0,6 m com anéis de Kopeck de 26,5 mm de altura e volume de 50 cm³. A escolha do ponto de amostragem seguiu o critério de maior representatividade de cada lote avaliado. Para a coleta da amostra 0-0,3 m foi aberta uma trincheira até a profundidade de 0,15 m e então se procedeu à coleta. Para a retirada da amostra de 0,3-0,6 m, a mesma trincheira foi reaberta, até a profundidade de 0,45 m. Após a coleta as amostras foram identificadas e acondicionadas em recipientes lacrados para evitar perda de umidade.

Depois de feitas as coletas, as amostras foram enviadas para o IAC (Instituto Agrônomo de Campinas), onde foram realizadas as análises.

Os ajustes das curvas de retenção da água no solo se deram com base na equação (1) de van Genuchten (1980).

$$\theta = \theta_R + (\theta_S - \theta_R) \left[\frac{1}{1 + (\alpha \varphi_m)^n} \right]^m \quad (1)$$

em que: θ_S = umidade do solo saturada (cm³ cm⁻³), θ_R = umidade residual do solo (cm³ cm⁻³) e φ_m = potencial mátrico (kPa).

Os parâmetros α , n e m foram obtidos por ajuste do modelo por meio do programa RETC v. 6.02 (van GENUCHTEN, 2009). Considerou-se capacidade de

campo (CC) a umidade do solo obtida com a aplicação da tensão de -10 kPa para solos de textura franco-arenosa e como ponto de murcha permanente (PMP) a umidade obtida com a tensão de -1500 kPa. A água disponível foi determinada pela diferença entre CC e PMP. Para determinação da porosidade total, macroporosidade e microporosidade, utilizaram-se funis de placa porosa para a aplicação individual da tensão de -6 kPa.

Água disponível

A capacidade total (CTA) de armazenamento de água foi calculada tomando com base os potenciais matriciais de -10 kPa para a capacidade de campo e de -1500 kPa para o ponto de murcha permanente. Para a capacidade real (CRA) adotou-se o fator de reposição $f = 0,50$ para fruteiras em geral como o valor limite para o reinício da irrigação (EMBRAPA, 2009), considerando a profundidade de 0 a 0,6 m.

Equações 2 e 3 utilizadas para o cálculo da CTA e CRA, respectivamente:

$$CTA = (\theta_{cc} - \theta_{pmp})z \quad (2)$$

$$CRA = CTA.f$$

(3)

em que: θ_{cc} = umidade do solo na capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ_{pmp} = umidade do solo no ponto de murcha permanente ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e Z = profundidade efetiva do sistema radicular em 0,3 e 0,6 m.

Com o objetivo de verificar o comportamento dos dados, foi realizada análise estatística descritiva, através da avaliação de medidas de tendência central (média e mediana), dispersão (desvio padrão, amplitude e coeficiente de variação), quartil, curtose e medida de assimetria.

Para caracterização do grau de variabilidade foram analisados os valores de coeficiente de variação (CV) dos atributos, conforme sugeridos por Warrick & Nielsen (1998), o qual considera baixa variabilidade quando $CV < 15\%$, média para o intervalo 15 – 50%, e alta variabilidade quando $CV > 50\%$.

Para o parâmetro da simetria foram consideradas as distribuições: se $A < 0,15$, considera-se a distribuição simétrica; se $0,15 \leq A \leq 1$, considera-se a distribuição moderadamente assimétrica; e se $A > 1$, considera-se distribuição fortemente assimétrica.

Quanto à curtose, se o valor = 0 (ou = 3, pela segunda definição), então tem o mesmo achatamento que a distribuição normal é classificada como mesocúrtica; se o valor é > 0 (ou > 3) a distribuição é mais alta (afunilada) e concentrada que a distribuição normal é classificada como leptocúrtica; e se o valor é < 0 (ou < 3) a distribuição é mais achatada que a distribuição normal é classificada como platicúrtica.

Tabela 4. Variáveis e indicadores utilizados no levantamento das características físico-hídricas do solo.

Variável	Indicadores	Parâmetros		
Textura	GRANULOMETRIA	Classificação		
	Areia, silte e argila	Triângulo textural		
		Valores de densidade global (Mg dm^{-3})		
	TEXTURA	Normal	Levemente compactado	Muito Compactado
Compactação ⁽¹⁾	Arenosa e/ou Franca	1,2 a 1,8	1,8 a 2,0	> 2,0
	Franco-siltosa, Franco-argilosa e/ou Argilosa	1,0 a 1,6	1,6 a 2,0	> 2,0
	TEXTURA	Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)		
Porosidade ⁽¹⁾	Arenosa, Franca e/ou Argilosa	0,20 a 0,30		
	TEXTURA	Tensão da água no solo (kPa)		
Limite superior de água disponível ⁽²⁾	Arenosa e/ou Franca	10		
	Franco-siltosa, Franco-argilosa e/ou argilosa	30		
	TEXTURA	Tensão da água no solo (kPa)		
Limite inferior de água disponível ⁽²⁾	Arenosa, Franca e/ou Argilosa	1500		
	TEXTURA	CTA (mm)		
Água disponível ⁽²⁾	Arenosa	12 a 24		
	Franca	12 a 48		
	Argilosa	36 a 72		

⁽¹⁾ Reichardt (1990); ⁽²⁾ Bernardo et al. (2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Granulometria

Os resultados das análises granulométricas de amostras do PINC indicaram 50% de solos de textura franco-arenosa, 30% de areia franca, 15% de areia e 5% de textura franco-argilo-arenosa até a profundidade de 0,3 m (Tabela 5) e 55% de textura franco-argilo-arenosa, 25% de franco-arenosa e 20% de areia franca na camada de 0,3 a 0,6 m (Tabela 6) em relação ao total de 18 lotes estudado neste perímetro.

Tabela 5. Granulometria dos lotes do PINC nas profundidades de 0 a 0,3 m.

Lote	Frações da amostra total (%)			Composição Granulométrica (TFSA g/kg)				Classe Textural
	Calhaus 200-20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2mm	Areia grossa 2-0,20 mm	Areia fina 0,20-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm	
309	0	0	100	420	350	100	130	Franco-arenosa
392	0	0	100	340	300	70	290	Franco-argilo-arenosa
521	0	0	100	430	380	70	120	Franco-arenosa
540	0	0	100	400	330	90	180	Franco-arenosa
541	0	0	100	450	310	80	160	Franco-arenosa
609	0	0	100	510	370	50	70	Areia-franca
648	0	0	100	430	420	30	120	Areia-franca
765	0	0	100	500	320	80	100	Franco-arenosa
1000	0	0	100	460	260	90	190	Franco-arenosa
1029	0	0	100	520	330	60	90	Areia-franca
1059	0	0	100	490	290	90	130	Franco-arenosa
1079	0	0	100	480	310	100	110	Franco-arenosa
1141	0	0	100	490	320	80	100	Areia-franca
1147	0	0	100	550	350	40	60	Areia
1164	0	0	100	520	390	30	60	Areia
1482	0	0	100	530	350	40	80	Areia-franca
1515	0	0	100	540	380	20	60	Areia
1653	0	0	100	500	380	40	80	Areia-franca

Tabela 6. Granulometria dos lotes do PINC nas profundidades de 0,3 a 0,6 m.

Lote	Frações da amostra total (%)			Composição Granulométrica (TFSA g/kg)				Classe Textural
	Calhaus 200-20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2mm	Areia grossa 2-0,20 mm	Areia fina 0,20-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm	
309	0	0	100	300	270	80	350	Franco-argilo-arenosa
392	0	0	100	420	360	90	130	Franco-arenosa
521	0	0	100	380	340	60	220	Franco-argilo-arenosa
540	0	0	100	410	280	70	240	Franco-argilo-arenosa
541	0	0	100	450	300	40	210	Franco-argilo-arenosa
609	0	0	100	390	380	50	180	Areia-franca
648	0	0	100	390	380	50	180	Areia-franca
765	0	0	100	400	270	90	240	Franco-argilo-arenosa
1000	0	0	100	380	260	100	260	Franco-argilo-arenosa
1029	0	0	100	350	230	150	270	Franco-argilo-arenosa
1059	0	0	100	360	240	130	270	Franco-argilo-arenosa
1079	0	0	100	420	280	90	210	Franco-argilo-arenosa
1141	0	0	100	430	320	80	170	Franco-arenosa
1147	0	0	100	540	300	30	130	Franco-arenosa
1164	0	0	100	500	330	30	140	Franco-arenosa
1482	0	0	100	470	300	70	160	Franco-arenosa
1515	0	0	100	530	320	60	90	Areia-franca
1653	0	0	100	470	400	20	110	Areia-franca

Os resultados das análises granulométricas de amostras do PIB indicaram 50% de solos de textura franco-arenosa e 50% areia franca no perfil de 0 a 0,3 m (Tabela 7) e 75% franco-arenosa e 25% franco-argilo-arenosa no perfil de 0,3 a 0,6 m (Tabela 8) em relação ao número total de 4 lotes.

Tabela 7. Granulometria dos lotes do PIB nas profundidades de 0 a 0,3 m.

Lote	Frações da amostra total (%)			Composição Granulométrica (TFSA g/kg)				Classe Textural
	Calhaus 200-20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2mm	Areia grossa 2-0,20 mm	Areia fina 0,20-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm	
17	0	0	100	210	630	60	100	Areia-franca
43	0	0	100	180	540	120	160	Franco-arenosa
64	0	0	100	140	700	60	100	Areia-franca
99	0	0	100	180	610	100	110	Franco-arenosa

Tabela 8. Granulometria dos lotes do PIB nas profundidades de 0,3 a 0,6 m.

Lote	Frações da amostra total (%)			Composição Granulométrica (TFSA g/kg)				Classe Textural
	Calhaus 200-20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2mm	Areia grossa 2-0,20 mm	Areia fina 0,20-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm	
17	0	0	100	180	530	100	190	Franco-arenosa
43	0	0	100	170	480	90	260	Franco-argilo-arenosa
64	0	0	100	140	650	40	170	Franco-arenosa
99	0	0	100	180	540	90	190	Franco-arenosa

Os resultados das análises granulométricas do PIMT indicaram solos de textura franco-argilo-arenosa e franco-arenosa na mesma proporção de 50% no perfil de 0 a 0,3 m (Tabela 9) e 100% de textura franco-argilo-arenosa no perfil de 0,3 a 0,6 m (Tabela 10) em relação ao número total de 6 lotes.

Tabela 9. Granulometria dos lotes do PIMT nas profundidades de 0 a 0,3 m.

Lote	Frações da amostra total (%)			Composição Granulométrica (TFSA g/kg)				Classe Textural
	Calhaus 200-20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2mm	Areia grossa 2-0,20 mm	Areia fina 0,20-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm	
1908	0	0	100	330	320	130	220	Franco-argilo-arenosa
1909	0	0	100	350	370	100	180	Franco-arenosa
2028	0	0	100	420	300	90	190	Franco-arenosa
2108	0	0	100	320	310	180	190	Franco-arenosa
2118	0	0	100	270	280	120	330	Franco-argilo-arenosa
2149	0	0	100	440	280	60	220	Franco-argilo-arenosa

Tabela 10. Granulometria dos lotes do PIMT na profundidade de 0,3 a 0,6 m.

Lote	Frações da amostra total (%)			Composição Granulométrica (TFSA g/kg)				Classe Textural
	Calhaus 200-20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2mm	Areia grossa 2-0,20 mm	Areia fina 0,20-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm	
1908	0	0	100	280	310	130	280	Franco-argilo-arenosa
1909	0	0	100	260	260	160	320	Franco-argilo-arenosa
2028	0	0	100	320	260	100	320	Franco-argilo-arenosa
2108	0	0	100	170	480	120	230	Franco-argilo-arenosa
2118	0	0	100	330	340	130	200	Franco-argilo-arenosa
2149	0	0	100	270	230	160	340	Franco-argilo-arenosa

As análises descritivas referentes às Tabelas 11 e 12 mostraram ajuste à distribuição normal valores de assimetria próximos a 0, enquanto que as curtoses foram classificadas como platicúrtica para as variáveis com valores < 0 e leptocúrtica para valores > 0.

Tabela 11. Resumo estatístico da granulometria na profundidade de 0 a 0,3 m do PINC.

Parâmetros	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
Nº de amostra	18,00	18	18	18
Média	475,55	341,11	64,44	118,33
Mediana	490,00	340,00	70,00	105,00
Mínimo	340,00	260,00	20,00	60,00
Máximo	550,00	420,00	100,00	290,00
Quartil inferior	430,00	310,00	40,00	80,00
Quartil superior	520,00	380,00	90,00	130,00
Amplitude	210,00	160,00	80,00	230,00
Desvio-Padrão	55,12	40,72	26,17	58,13
CV (%)	11,59	11,94	40,61	49,12
Curtose	0,53	-0,34	-1,38	3,42
Assimetria	-0,79	0,08	-0,64	0,69

Tabela 12. Resumo estatístico da granulometria na profundidade de 0,3 a 0,6 m do PINC.

Parâmetros	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
Nº de amostra	18,00	18	18	18
Média	421,67	308,89	71,67	197,78
Mediana	415,00	300,00	70,00	195,00
Mínimo	300,00	230,00	20,00	90,00
Máximo	540,00	400,00	150,00	350,00
Quartil inferior	380,00	270,00	50,00	140,00
Quartil superior	470,00	340,00	90,00	240,00
Amplitude	240,00	170,00	130,00	260,00
Desvio-Padrão	62,89	49,10	34,17	67,09
CV (%)	14,91	15,89	47,68	33,92
Curtose	-0,12	-0,71	0,37	-0,04
Assimetria	0,32	0,54	0,15	0,12

Analisando-se a Figura 1, observa-se que os valores das medianas e médias para a variável areia grossa, silte e argila foram moderadamente assimétrico, negativo e positivo respectivamente e, simétrico para a variável areia fina na profundidade de 0 a 0,3 m. Na profundidade de 0,3 a 0,6 m as distribuições passaram a ser moderadas positivas para a variável areia grossa e para a variável areia fina. Quanto às variáveis silte e argila ocorreram distribuições simétricas.

Os valores dos coeficientes de variação (CV) referentes à granulometria na profundidade de 0 a 0,3 m indicaram variabilidade baixas para areia grossa (14,91%) e areia fina (11,94%) e variabilidades média para silte (40,61%) e argila (49,12%). Nas profundidades de 0,3 a 0,6 m os coeficientes de variação indicaram variabilidade média, exceto areia grossa que apresentou variabilidade baixa (14,91%). Teor de argila apresentou maior amplitude total e variação interquálica, quando comparado com as outras variáveis.

Comparando-se o teor granulométrico nas duas profundidades, observa-se diminuição dos teores de areia grossa e areia fina e o aumento de argila à medida que aumenta a profundidade.

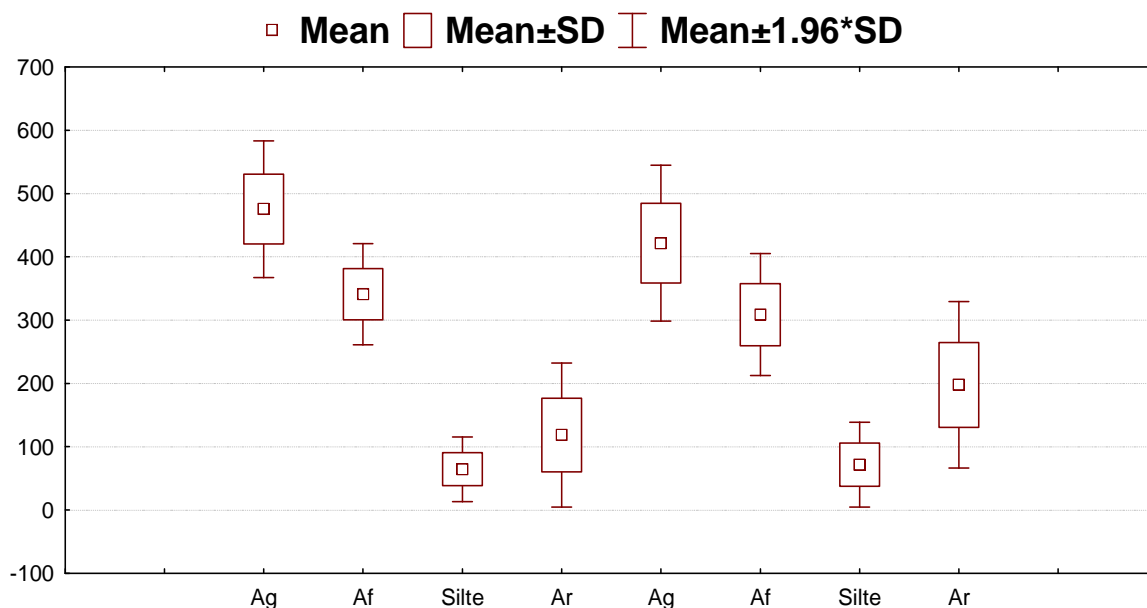


Figura 1. Box-plot” do PINC para areia grossa (Ag), areia fina (Af), silte e argila (Ar) nas profundidades de 0 a 0,3 m e 0.3 a 0,6 m respectivamente.

Os valores das medianas e médias para as variáveis areia grossa, areia fina e silte nas profundidades de 0 a 0,3 m (Tabela 13) apresentaram valores moderadamente assimétrico negativo, simétrico e moderadamente assimétrico positivo, respectivamente, exceto a variável argila que indicou alta assimetria positiva. Curtoses classificadas como leptocúrtica (areia grossa, areia fina e argila) e platicúrtica (silte).

Tabela 13. Resumo estatístico da granulometria nas profundidades de 0 a 0,3 m do PIB.

Parâmetros	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
Nº de amostra	4,00	4,00	4,00	4,00
Média	177,50	620,00	85,00	117,50
Mediana	180,00	620,00	80,00	105,00
Mínimo	140,00	540,00	60,00	100,00
Máximo	210,00	700,00	120,00	160,00
Quartil inferior	160,00	575,00	60,00	100,00
Quartil superior	195,00	665,00	110,00	135,00
Amplitude	70,00	160,00	60,00	60,00
Desvio-Padrão	28,72	65,83	30,00	28,72
CV (%)	16,18	10,62	35,29	24,44
Curtose	1,65	1,04	-3,90	3,41
Assimetria	-0,26	0,00	0,42	1,53

Em relação à profundidade de 0,3 a 0,6 m (Tabela 14) os valores das medianas e médias para a variável areia grossa e silte corresponderam à assimetria negativa alta, valores abaixo do quartil inferior, e assimetria moderada para a variável areia fina e argila. Curtoses classificadas como leptocúrticas.

Tabela 14. Resumo estatístico da granulometria nas profundidades de 0,3 a 0,6 m do PIB.

Parâmetros	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
Nº de amostra	4,00	4,00	4,00	4,00
Média	167,50	550,00	80,00	202,50
Mediana	175,00	535,00	90,00	190,00
Mínimo	140,00	480,00	40,00	170,00
Máximo	180,00	650,00	100,00	260,00
Quartil inferior	155,00	505,00	65,00	180,00
Quartil superior	180,00	595,00	95,00	225,00
Amplitude	40,00	170,00	60,00	90,00
Desvio-Padrão	18,93	71,65	27,08	39,47
CV (%)	11,30	13,03	33,85	19,49
Curtose	2,61	2,21	3,48	3,10
Assimetria	-1,19	0,63	-1,11	0,95

Observa-se na Figura 2 maior teor de areia fina nas duas profundidades e dispersão dos dados para abaixo do quartil inferior para o teor de areia grossa na profundidade de 0,3 a 0,6 m.

O coeficiente de variação (CV) na profundidade de 0 a 0,3 m, areia grossa (16,18%), silte (35,29%) e argila (24,44%) indicaram variabilidade média e variabilidade baixa para a variável areia fina (10,62%). Na profundidade de 0,3 a 0,6 m, a variável areia grossa (11,30%) e a variável areia fina (13,03%) indicaram baixa variabilidade, enquanto que as variáveis silte (33,85%) e argila (19,49%) apresentaram média variabilidade.

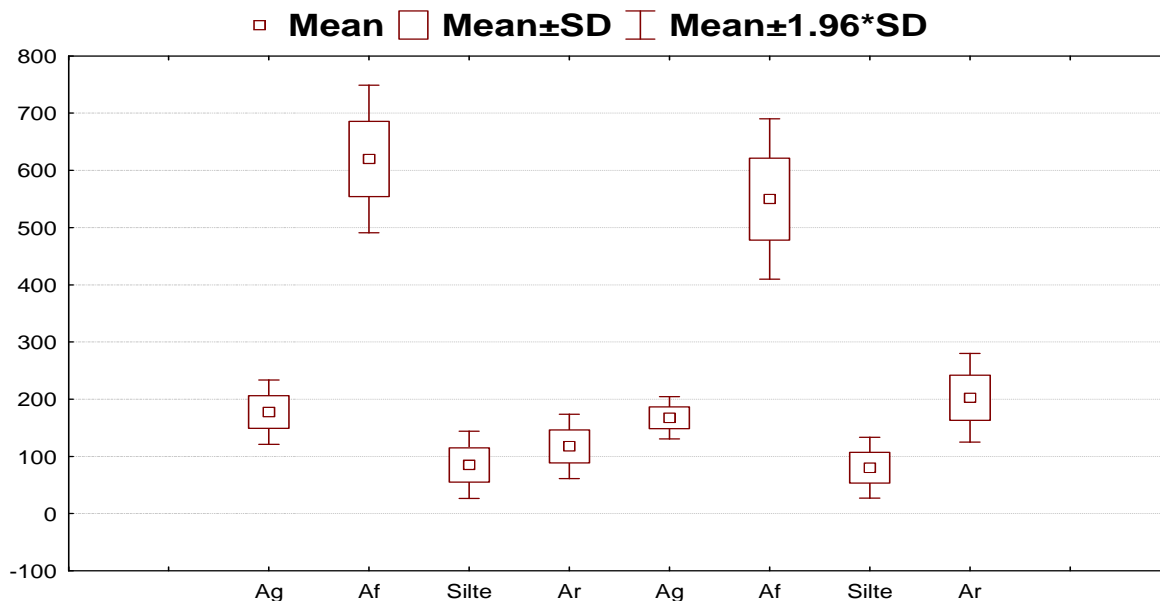


Figura 2. Box-plot” do PIB para areia grossa (Ag), areia fina (Af), silte e argila (Ar) nas profundidades de 0 a 0,3 m e 0,3 a 0,6 m respectivamente.

As análises descritivas referentes às Tabelas 15 e 16 mostraram ajuste à distribuição normal valores de assimetria próximos a 0. Curtoses classificadas como platicurtica (areia grossa) e leptocúrtica (areia fina, silte e argilar) na profundidade de 0 a 0,3 m. Curtoses classificada como platicurtica (silte e argilar) e leptocúrtica (areia grossa e areia fiana) na profundidade de 0,3 a 0,6 m. Quanto o coeficiente de variação (CV) as variáveis apresentaram variabilidade média nas duas profundidades, com exceção a variável areia fina na profundidade de 0 a 0,3 m apresentou variabilidade baixa.

Tabela 15. Resumo estatístico da granulometria nas profundidades de 0 a 0,3 m do PIMT.

Parâmetros	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
Nº de amostra	6,00	6,00	6,00	6,00
Média	355,00	310,00	113,33	221,67
Mediana	340,00	305,00	110,00	205,00
Mínimo	270,00	280,00	60,00	180,00
Máximo	440,00	370,00	180,00	330,00
Quartil inferior	320,00	280,00	90,00	190,00
Quartil superior	420,00	320,00	130,00	220,00
Amplitude	170,00	90,00	120,00	150,00
Desvio-Padrão	64,11	33,47	40,82	55,65
CV (%)	18,06	10,79	36,02	25,10
Curtose	-1,1	1,89	0,87	4,17
Assimetria	0,70	0,45	0,24	0,89

Tabela 16. Resumo estatístico da granulometria nas profundidades de 0,3 a 0,6 m do PIMT.

Parâmetros	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
Nº de amostra	6,00	6,00	6,00	6,00
Média	271,67	313,33	133,33	281,67
Mediana	275,00	285,00	130,00	300,00
Mínimo	170,00	230,00	100,00	200,00
Máximo	330,00	480,00	160,00	340,00
Quartil inferior	260,00	260,00	120,00	230,00
Quartil superior	320,00	340,00	160,00	320,00
Amplitude	160,00	250,00	60,00	140,00
Desvio-Padrão	57,07	90,70	23,38	56,00
CV (%)	21,00	28,95	17,53	19,88
Curtose	1,93	2,40	-0,91	-1,45
Assimetria	-0,17	0,94	0,43	-0,98

Na Figura 3, observou-se distribuição normal na profundidade de 0 a 0,3 m, assimetrias moderadas positivas para as variáveis areia grossa, areia fina, silte e argila e assimetrias moderadas positivas para areia fina e silte e assimetria negativa para as variáveis areia grossa e argila na profundidade de 0,3 a 0,6 m.

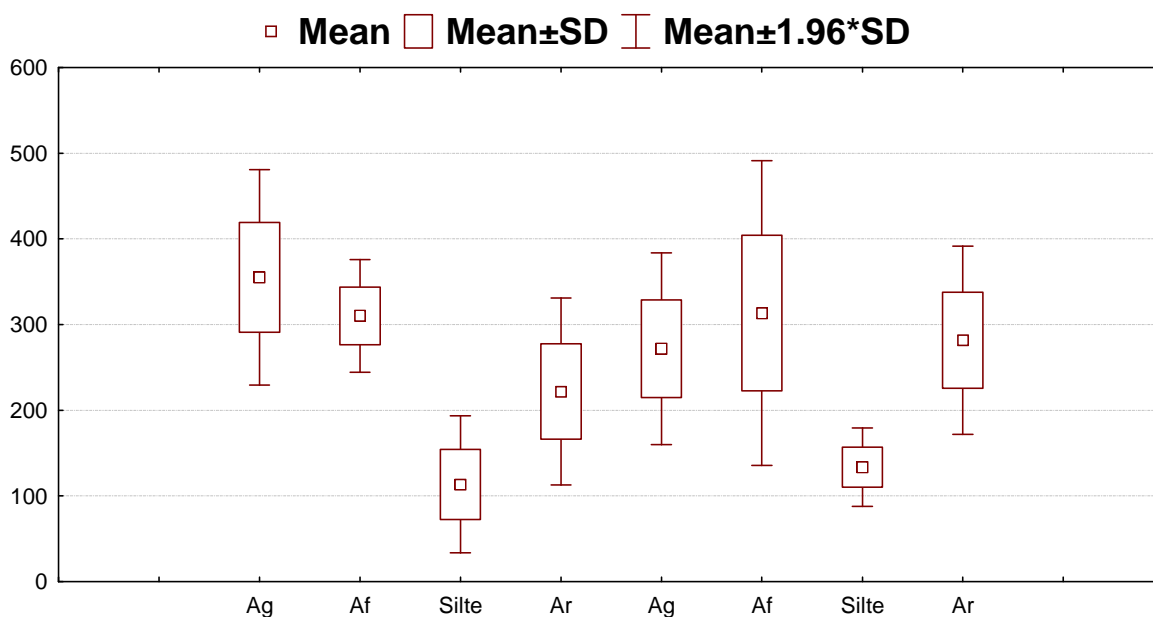
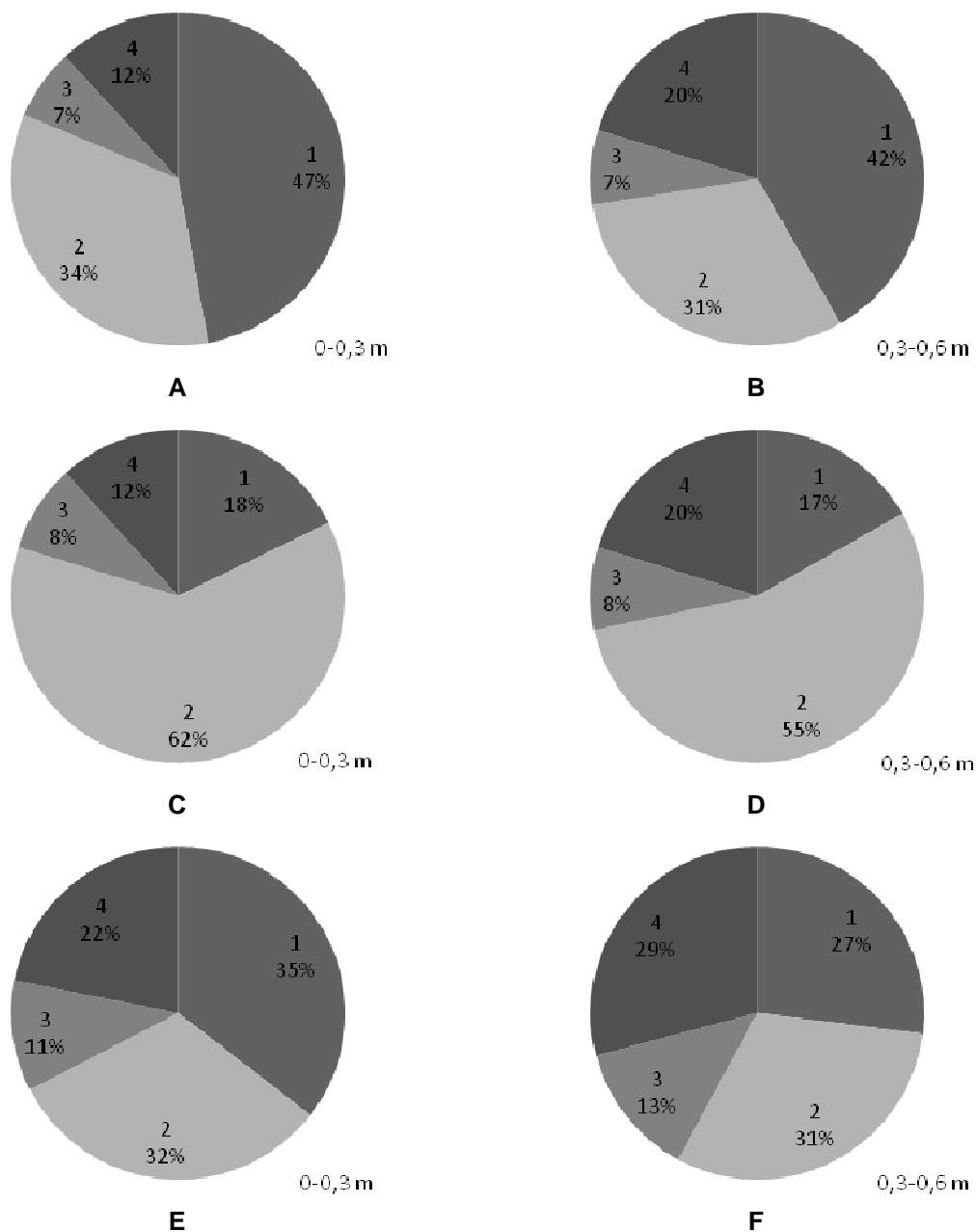


Figura 3. Box-plot” do PIMT para areia grossa (Ag), areia fina (Af), silte e argila (Ar) nas profundidades de 0 a 0,3 m e 0.3 a 0,6 m respectivamente.

As composições granulométricas apresentaram em média predominância de areia grossa e fina seqüencialmente no PINC e PIMT e, maior concentração de areia fina seguida de areia grossa no PIB, conforme a Figura 4.



1 = Areia grossa, 2 = Areia fina, 3 = Silte e 4 = Argila

Figura 4. Composição granulométrica: A, B - PINC; C, D - PIB; E, F - PIMT.

Observa-se na Figura 4 que à medida que a profundidade aumenta o percentual de argila aumenta em todos os perímetros. O aumento do teor de

argila parece estar associado com a intensidade de movimentação do solo e do uso da água. A redução do teor de argila do horizonte superficial pode ter sido ocasionada pelo revolvimento intenso do solo, relacionado ao excesso de água aplicada na irrigação, favorecendo o processo de eluviação, bem como pela erosão eólica durante as operações de gradagem executadas com o solo seco e sob ventos fortes.

A migração da fração argila no perfil do solo, em consequência do cultivo, foi também constatada por outros autores, tais como Santos e Ribeiro (2000) os quais, trabalhando com Latossolo e um Argissolo, em área de estudo do Projeto Senador Nilo Coelho na região do submédio São Francisco, comparou o teor de argila dos horizontes Ap e BA e observou aumento significativo entre os perfis das áreas cultivadas e não cultivadas, bem como entre o perfil 5 (gotejamento - limão) e o perfil 6 (irrigação por sulco - culturas anuais), culminando com mudança textural abrupta no perfil 6.

Densidade do solo e porosidade

Os resultados referentes à análise descritiva para os dados de densidade do solo (Ds), porosidade total, microporosidade e macroporosidade nas profundidades de 0 a 0,3 m e de 0,3 a 0,6 m do PINC apresentados na Tabela 17 e 18, indicaram ajuste à distribuição normal.

Tabela 17. Resumo estatístico da densidade do solo (Mg m^{-3}), da porosidade total (m^3m^{-3}), da microporosidade (m^3m^{-3}) e da macroporosidade (m^3m^{-3}) nas profundidades de 0 a 0,3 m do PINC.

Parâmetros	Ds Mg m^{-3}	Porosidade Total m^3m^{-3}	Microporosidade m^3m^{-3}	Macroporosidade m^3m^{-3}
Nº de amostra	18	18	18	18
Média	1,82	0,46	0,23	0,23
Mediana	1,84	0,44	0,22	0,23
Mínimo	1,38	0,39	0,19	0,13
Máximo	2,04	0,55	0,27	0,33
Quartil inferior	1,72	0,42	0,21	0,20
Quartil superior	1,95	0,50	0,25	0,27
Amplitude	0,66	0,16	0,08	0,20
Desvio-Padrão	0,15	0,05	0,03	0,05
CV (%)	8,47	10,80	10,90	23,03
Curtose	2,70	-0,79	-1,13	-0,23
Assimetria	-0,43	0,87	0,47	0,06

Tabela 18. Resumo estatístico da densidade do solo (Mg m^{-3}), da porosidade total (m^3m^{-3}), da microporosidade (m^3m^{-3}) e da macroporosidade (m^3m^{-3}) nas profundidades de 0,3 a 0,6 m do PINC.

Parâmetros	Ds Mg m ⁻³	Porosidade Total m ³ m ⁻³	Microporosidade m ³ m ⁻³	Macroporosidade m ³ m ⁻³
Nº de amostra	18	18	18	18
Média	1,78	0,47	0,27	0,20
Mediana	1,81	0,46	0,28	0,19
Mínimo	1,33	0,40	0,21	0,13
Máximo	1,93	0,58	0,32	0,33
Quartil inferior	1,75	0,45	0,26	0,20
Quartil superior	1,83	0,48	0,29	0,27
Amplitude	0,60	0,18	0,11	0,19
Desvio-Padrão	0,13	0,04	0,03	0,04
CV (%)	7,54	8,77	10,45	22,85
Curtose	7,32	2,89	0,58	2,06
Assimetria	-0,72	0,65	-1,04	0,52

Na Figura 5, os valores da mediana e média para as variáveis Pt e Micro apresentaram distribuições moderadamente assimétricas positivas e distribuição simétrica para a variável Macro e curtoses platicúrticas nas profundidades de 0 a 0,3 m. Na profundidade de 0,3 a 0,6 m indicou distribuições moderadamente assimetrias positivas para as variáveis Pt e Macro e dispersão maior dos dados para valores abaixo do quartil inferior (assimetria negativa). Curtoses classificadas como leptocúrticas.

Os valores dos coeficientes de variação (CV) nas duas profundidades para as variáveis Pt (10,80 e 8,77%) e Micro (10,90 e 10,45%) indicaram pequenas variações em torno da média, o que classificaram estas como baixas variações. A variável Macro (23,03 e 22,85%) foi classificada como média variação, propriedade física sensível ao manejo do solo.

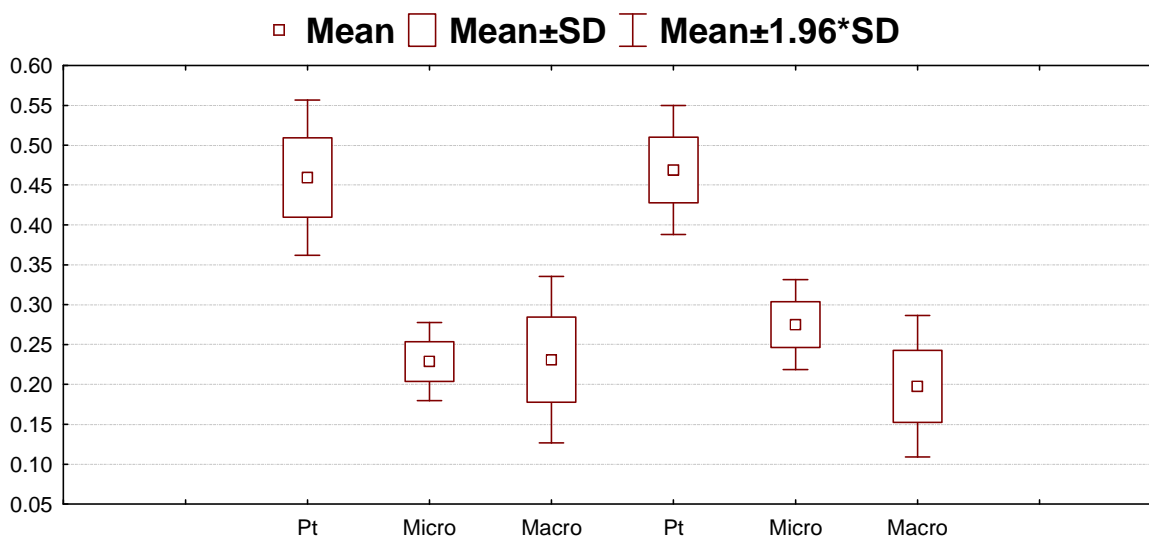


Figura 5. Representação gráfica do Box-plot da Porosidade total (Pt), da Microporosidade (Microp.) e da Macroporosidade (Macrop.) do PINC nas profundidades de 0 a 0,3 m e de 0,3 a 0,6 m.

Analisando-se a Figura 6 para variável Ds, verifica-se distribuição moderadamente assimétrica negativa e curtoses classificadas como leptocurticas, médias variando de 1,82 a 1,78 Mg m⁻³ entre as duas profundidades, caracterizando solos levemente compactados, segundo a Tabela 4.

Quanto o coeficiente de variação para Ds (8,47 e 7,54%) indicaram pequena variação em torno da média, o que está de acordo com os resultados Warrick & Nielsen (1998) que classificaram esta propriedade como baixa variação, não superando 10%.

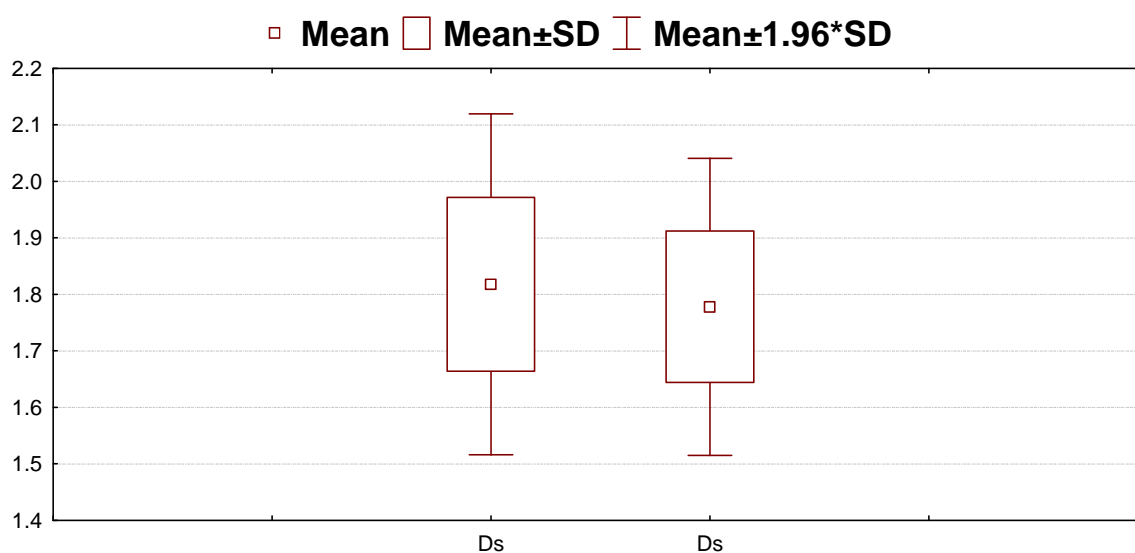


Figura 6. Representação gráfica do Box-plot da densidade do solo (Ds) do PINC nas profundidades de 0 a 0,3 e de 0,3 a 0,6 m.

Os resultados referentes à análise descritiva para os dados da variável porosidade total indicaram distribuições moderadamente assimétricas positivas, distribuições simétrica e assimétrica positiva com dispersão dos dados acima do quartil superior para a variável microporosidade e distribuição simétrica para a variável macroporosidade nas duas profundidades. Todas as variáveis apresentaram curtoses classificadas como leptocurticas e coeficientes de variação (CV) com pequena variação entorno da média, classificados como baixo para todas as variáveis, não superando a 10%, conforme as Tabela 19 e 20.

Tabela 19. Resumo estatístico da densidade do solo (Mg m^{-3}), da porosidade total (m^3m^{-3}), da microporosidade (m^3m^{-3}) e da macroporosidade (m^3m^{-3}) nas profundidades de 0 a 0,3 m do PIB.

Parâmetros	Ds Mg m^{-3}	Porosidade Total m^3m^{-3}	Microporosidade m^3m^{-3}	Macroporosidade m^3m^{-3}
Nº de amostra	4,00	4,00	4,00	4,00
Média	1,78	0,50	0,32	0,18
Mediana	1,79	0,49	0,32	0,18
Mínimo	1,65	0,48	0,28	0,16
Máximo	1,86	0,54	0,34	0,20
Quartil inferior	1,71	0,48	0,29	0,17
Quartil superior	1,83	0,52	0,34	0,19
Amplitude	0,21	0,06	0,06	0,04
Desvio-Padrão	0,09	0,03	0,03	0,02
CV (%)	5,05	5,23	9,05	9,36
Curtose	1,88	2,23	-1,29	0,34
Assimetria	-0,67	0,86	0,00	0,00

Tabela 20. Resumo estatístico da densidade do solo (Mg m^{-3}), da porosidade total (m^3m^{-3}), da microporosidade (m^3m^{-3}) e da macroporosidade (m^3m^{-3}) nas profundidades de 0,3 a 0,6 m do PIB.

Parâmetros	Ds Mg m^{-3}	Porosidade Total m^3m^{-3}	Microporosidade m^3m^{-3}	Macroporosidade m^3m^{-3}
Nº de amostra	4,00	4,00	4,00	4,00
Média	1,92	0,45	0,32	0,13
Mediana	1,91	0,44	0,31	0,13
Mínimo	1,83	0,42	0,29	0,12
Máximo	2,04	0,51	0,36	0,15
Quartil inferior	1,86	0,42	0,29	0,12
Quartil superior	1,98	0,48	0,34	0,14
Amplitude	0,21	0,09	0,07	0,03
Desvio-Padrão	0,09	0,04	0,03	0,01
CV (%)	4,60	2,08	9,37	7,69
Curtose	0,92	2,03	0,76	2,22
Assimetria	0,33	0,75	1,00	0,00

Observando a Figura 7, verificou-se diminuição dos valores das variáveis Pt e da Macro em relação às profundidades de 0,3 a 0,6 m. Contudo, não houve alterações entre os valores da variável Micro.

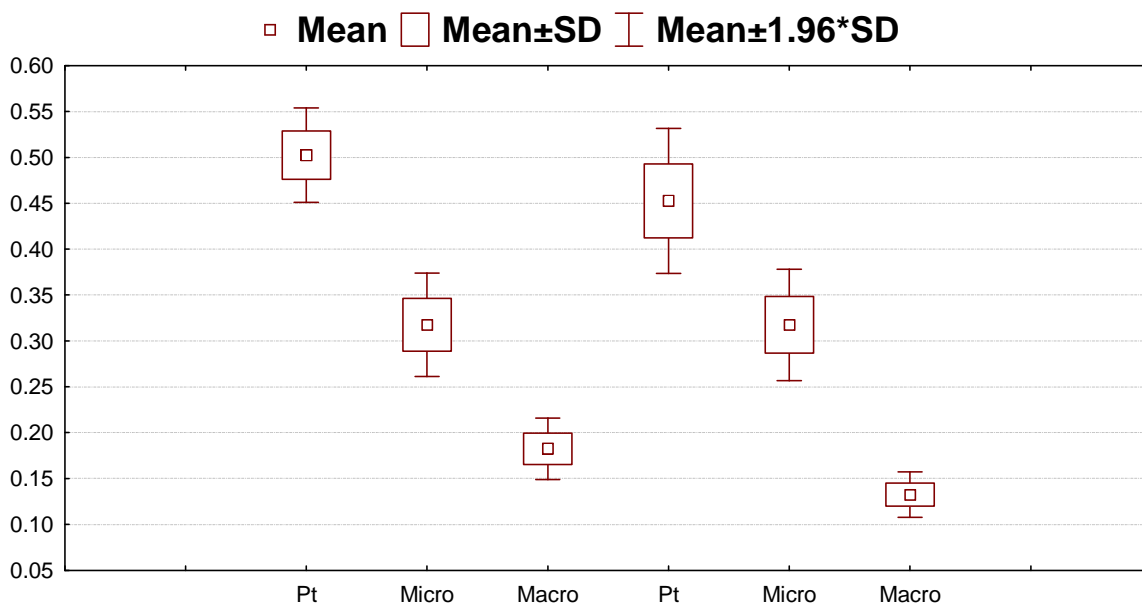


Figura 7. Representação gráfica do Box-plot da Porosidade total (Pt), da Microporosidade (Microp.) e da Macroporosidade (Macrop.) do PIB nas profundidades de 0 a 0,3 m e de 0,3 a 0,6 m.

Analisando-se a Figura 8 para variável D_s , verificaram-se distribuições moderadamente assimétricas, negativa e positiva, e, curtoses classificadas como leptocurticas, médias variando de 1,78 a 1,98 $Mg\ m^{-3}$ entre as duas profundidades. Solos caracterizados como levemente compactados, segundo a Tabela 4.

Observa-se compactação maior nas profundidades de 0,3 a 0,6 m. Essas características em relação aos valores de D_s do PIB poderão estar associadas com o cultivo por muito tempo com intenso revolvimento do solo.

Quanto o coeficiente de variação para D_s (5,05 e 4,60%) indicaram pequena variação em torno da média, classificadas como baixa variação, não superando 10%.

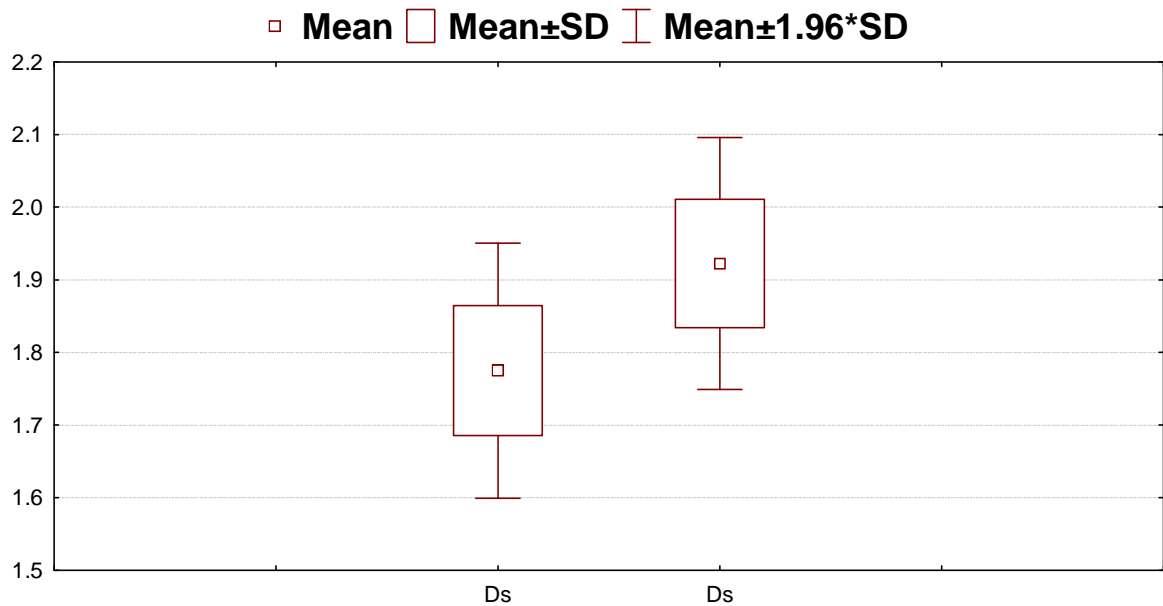


Figura 8. Representação gráfica do Box-plot da densidade do solo (D_s) do PIB nas profundidades de 0 a 0,3 e de 0,3 a 0,6 m.

O resultado referente à variável porosidade total indicou distribuição moderadamente assimétrica positiva e assimetria negativa para as variáveis microporosidade e macroporosidade, curtoses classificadas como platicúrtica para a variável porosidade total e leptocúrtica para as variáveis microporosidade e macroporosidade. Coeficiente de variação (CV) classificado como baixa para a variável porosidade total (10,64%) e médio para as variáveis microporosidade (29,17%) e macroporosidade (26,09%) na profundidade de 0 a 0,3 m. Na profundidade de 0,3 a 0,6 m, verificam-se distribuições simétricas para todas as variáveis, curtoses classificadas como platicúrtica para a variável porosidade total e leptocúrtica para as variáveis microporosidade e macroporosidade. Coeficientes de variação classificados como baixa para porosidade total (5,77%) e para microporosidade (12,90%) e médio para macroporosidade (33,33%), conforme as Tabela 21 e 22.

Quanto à análise descritiva para variável D_s apresentados nas Tabelas 21 e 22 indicaram ajuste à distribuição normal. Os valores da mediana e média apresentam simetria e assimetria moderada positiva, curtoses classificadas com platicúrtica e leptocúrtica nas profundidades de 0 a 0,3 m, respectivamente.

Tabela 21. Resumo estatístico da densidade do solo (Mg m^{-3}), da porosidade total (m^3m^{-3}), da microporosidade (m^3m^{-3}) e da macroporosidade (m^3m^{-3}) nas profundidades de 0 a 0,3 m do PIMT.

Parâmetros	Ds Mg m^{-3}	Porosidade Total m^3m^{-3}	Microporosidade m^3m^{-3}	Macroporosidade m^3m^{-3}
Nº de amostra	6,00	6,00	6,00	6,00
Média	1,83	0,47	0,24	0,23
Mediana	1,83	0,48	0,23	0,22
Mínimo	1,70	0,40	0,13	0,17
Máximo	1,95	0,52	0,32	0,30
Quartil inferior	1,81	0,42	0,22	0,17
Quartil superior	1,86	0,51	0,31	0,30
Amplitude	0,25	0,12	0,19	0,13
Desvio-Padrão	0,08	0,05	0,07	0,06
CV (%)	4,37	10,64	29,17	26,09
Curtose	1,88	-1,48	0,35	0,35
Assimetria	0,00	-0,60	0,43	0,50

Tabela 22. Resumo estatístico da densidade do solo (Mg m^{-3}), da porosidade total (m^3m^{-3}), da microporosidade (m^3m^{-3}) e da macroporosidade (m^3m^{-3}) nas profundidades de 0,3 a 0,6 m do PIMT.

Parâmetros	Ds Mg m^{-3}	Porosidade Total m^3m^{-3}	Microporosidade m^3m^{-3}	Macroporosidade m^3m^{-3}
Nº de amostra	6,00	6,00	6,00	6,00
Média	1,72	0,52	0,31	0,21
Mediana	1,70	0,52	0,31	0,21
Mínimo	1,62	0,49	0,25	0,13
Máximo	1,83	0,57	0,36	0,32
Quartil inferior	1,66	0,49	0,29	0,17
Quartil superior	1,81	0,54	0,33	0,24
Amplitude	0,21	0,08	0,11	0,19
Desvio-Padrão	0,09	0,03	0,04	0,07
CV (%)	5,23	5,77	12,90	33,33
Curtose	-2,10	-1,64	0,40	0,50
Assimetria	0,66	0,00	0,00	0,00

Na Figura 9 percebe-se dispersão dos dados para os valores abaixo do quartil inferior da variável Micro e dispersão dos dados para valores acima do quartil superior para a variável Macro na profundidade de 0 a 0,3 m. Aumento da variável Micro e diminuição da Macro, maior amplitude total e interquartilica da Macro quando comparado com as outras variáveis na profundidade de 0,3 a 0,6 m.

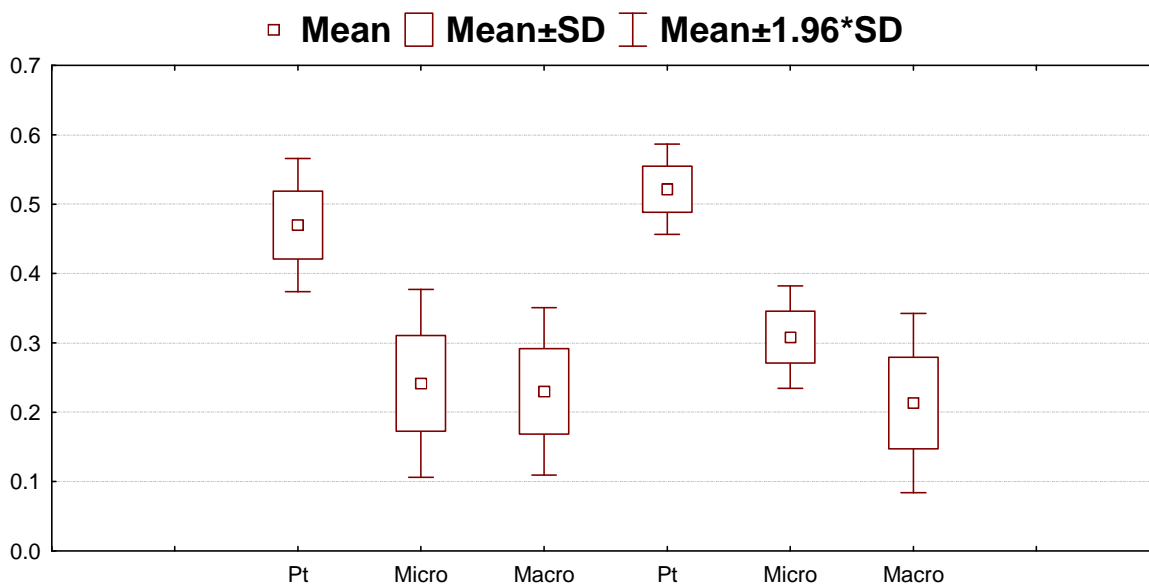


Figura 9. Representação gráfica do Box-plot da Porosidade total (Pt), da Microporosidade (Microp.) e da Macroporosidade (Macrop.) do PIMT nas profundidades de 0 a 0,3 m e de 0,3 a 0,6 m.

Na Figura 10 pode-se observar variação das médias da variável Ds de 1,83 a 1,72 Mg m⁻³ entre as duas profundidades. Solos caracterizados como levemente compactado, coeficiente de variação (CV) baixo (4,57 e 5,23%) não superior a 10%.

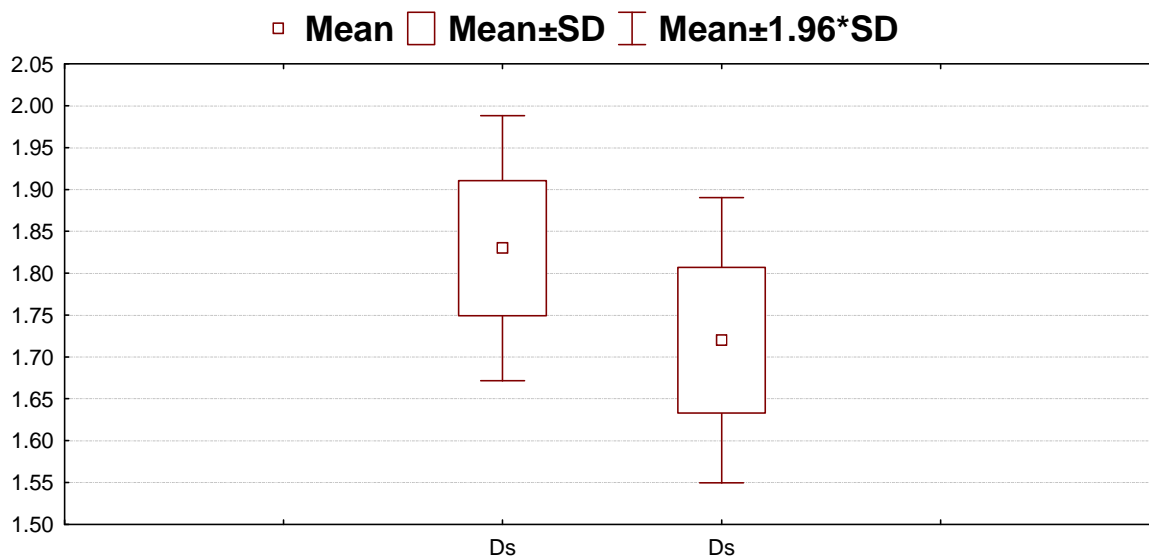


Figura 10. Representação gráfica do Box-plot da densidade do solo (D_s) do PIMT nas profundidades de 0 a 0,3 e de 0,3 a 0,6 m.

Comparando-se as Figuras 6, 8 e 10, observa-se que em média o valor da variável D_s PINC e PIMT nas profundidades de 0,3 a 0,6 m foi menor que em

relação à camada superficial de 0 a 0,3 m. Entretanto, em média o valor da D_s no PIB foi maior nas profundidades de 0,3 a 0,6 m.

Observa-se que 35% dos lotes do PINC e 100% dos lotes do PIB, o valor da densidade no perfil de 0,3 a 0,6 m é superior a camada de 0 a 0,3 m. Esta característica poderá estar relacionada ao cultivo intensivo diversificado associado à irrigação.

Os solos da região do submédio São Francisco, em geral, apresentam valores elevados de densidade do solo, conforme constatado por Choudhury & Oliveira (1982), Silva et al. (1996) e Silva et al. (1998), que atribuíram esse fato ao cultivo intensivo e às características pedogenéticas dos solos dessa região.

Nota-se que o espaço poroso total é uma medida pobre da aeração porque o conteúdo de água é variável. O aumento de macroporos no perfil de 0 a 0,3 m permitem inferir que os solos apresentam baixa capacidade de retenção de água na camada superficial e maior aeração. Entretanto, na camada de 0,3 a 0,6 m há maior adensamento devido à presença significativa de microporos (>50%) da porosidade total e conseqüentemente maior retenção de água nesta camada.

Quanto à distribuição do tamanho dos poros, os solos apresentaram valores de macroporosidade superiores a 10%, que geralmente é considerado o limite abaixo do qual começam a ocorrer problemas de aeração e de crescimento radicular. O equilíbrio entre macroporosidade (poros > 0,05 mm) e microporosidade (poros < 0,05 mm) também pode ser considerado satisfatório em todos os solos, permitindo-se pressupor uma boa redistribuição da água ao longo do perfil, sem que ocorram problemas de aeração para as raízes. A possibilidade de que ocorram tais problemas é maior nos solos, com predominância de microporosidade sobre macroporosidade.

Retenção e água disponível no solo

As Tabelas 23, 24 e 25 mostram os parâmetros numéricos referentes ao ajuste das curvas de retenção da água no solo pela equação de van Genuchten.

Tabela 23. Parâmetros da equação de van Genuchten ajustados com os dados da análise do solo, PINC.

Lote	Prof. (m)	θ_s ($m^3 m^{-3}$)	θ_R ($m^3 m^{-3}$)	α	n	m	r^2
309	0-0,3	0,44	0,10352	0,85530	1,79412	0,44262	0,99731
	0,3-0,6	0,46	0,15531	0,01952	1,78494	0,43976	0,99024
392	0-0,3	0,42	0,12084	0,05177	1,71132	0,41565	0,99823
	0,3-0,6	0,48	0,16096	1,73812	1,82446	0,45189	0,85685
521	0-0,3	0,51	0,09378	0,07589	3,14287	0,68182	0,95342
	0,3-0,6	0,47	0,10947	0,18004	2,42892	0,58829	0,95072
540	0-0,3	0,45	0,12385	0,41120	1,62179	0,38339	0,98790
	0,3-0,6	0,58	0,08864	0,02733	2,00870	0,50216	0,99950
541	0-0,3	0,55	0,08352	0,90225	1,79410	0,44262	0,99731
	0,3-0,6	0,48	0,08285	1,46557	1,75503	0,43021	0,99706
609	0-0,3	0,43	0,04876	0,05547	3,31720	0,69854	0,99136
	0,3-0,6	0,44	0,09998	0,03907	6,37722	0,15681	0,96426
648	0-0,3	0,44	0,10085	0,73697	1,70665	0,41406	0,99845
	0,3-0,6	0,43	0,11092	0,41448	1,54665	0,35344	0,99668
765	0-0,3	0,41	0,05317	0,04675	3,83620	0,73932	0,98010
	0,3-0,6	0,45	0,10091	0,08588	3,03296	0,67029	0,96416
1000	0-0,3	0,46	0,08791	0,03997	5,29060	0,81098	0,97424
	0,3-0,6	0,48	0,09581	5,27767	1,68650	0,40706	0,89111
1029	0-0,3	0,42	0,07353	0,06522	4,21772	0,76290	0,97291
	0,3-0,6	0,46	0,15080	0,11801	3,61291	0,72321	0,88333
1059	0-0,3	0,41	0,04086	0,50766	1,70701	0,41418	0,99845
	0,3-0,6	0,40	0,09673	0,09631	1,54274	0,35180	0,99831
1079	0-0,3	0,50	0,09453	0,02578	1,50989	0,33770	0,99571
	0,3-0,6	0,46	0,09102	0,01163	1,76423	0,43318	0,99225
1141	0-0,3	0,46	0,07791	0,01076	2,24621	0,55481	0,98649
	0,3-0,6	0,49	0,07488	1,18416	1,69747	0,41089	0,99633
1147	0-0,3	0,54	0,05177	0,78105	1,65817	0,39692	0,99424
	0,3-0,6	0,44	0,06742	1,03834	1,66091	0,39792	0,98110
1164	0 - 0,3	0,48	0,07351	0,97703	1,79406	0,44260	0,99731
	0,3 - 0,6	0,55	0,03912	0,04670	1,52786	0,34549	0,96286
1482	0 - 0,3	0,42	0,04206	0,64190	1,65650	0,39632	0,99507
	0,3 - 0,6	0,46	0,06450	0,51955	1,63560	0,38860	0,99385
1515	0 - 0,3	0,54	0,07093	2,86276	2,04825	0,51178	0,98684
	0,3 - 0,6	0,46	0,04656	0,02424	2,26899	0,55927	0,99545
1653	0 - 0,3	0,39	0,07259	0,31816	2,38868	0,58136	0,98968
	0,3 - 0,6	0,45	0,08226	1,47264	1,86427	0,46359	0,97872

Tabela 24. Parâmetros da equação de van Genuchten ajustados com os dados da análise do solo, PIB.

Lote	Profundidade (m)	θ_s ($m^3 m^{-3}$)	θ_R ($m^3 m^{-3}$)	α	n	m	r^2
17	0 – 0,3	0,48	0,05617	0,39939	2,12023	0,52835	0,99804
	0,3 – 0,6	0,45	0,16362	0,01264	2,18209	0,54172	0,99663
43	0 – 0,3	0,49	0,10533	0,02012	1,82660	0,45253	0,99703
	0,3 – 0,6	0,51	0,20191	0,01144	1,91863	0,47879	0,99908
64	0 – 0,3	0,54	0,05299	0,35196	2,49923	0,59988	0,99425
	0,3 – 0,6	0,43	0,07619	0,01838	2,26878	0,55923	0,99747
99	0 – 0,3	0,50	0,11619	0,01838	2,26878	0,55923	0,99747
	0,3 – 0,6	0,42	0,12394	0,01322	2,06567	0,51589	0,99837

Tabela 25. Parâmetros da equação de van Genuchten ajustados com os dados da análise do solo, PIMT.

Lote	Profundidade (m)	θ_s ($m^3 m^{-3}$)	θ_R ($m^3 m^{-3}$)	α	n	m	r^2
1711	0 – 0,3	0,52	0,14514	0,32765	1,50458	0,33536	0,99551
	0,3 – 0,6	0,49	0,14781	0,04472	1,61943	0,38249	0,99804
1716	0 – 0,3	0,56	0,12991	0,03666	5,36217	0,18649	0,97431
	0,3 – 0,6	0,56	0,19189	0,04537	5,51011	0,81851	0,94045
1908	0 – 0,3	0,48	0,16554	0,01212	1,71956	0,41846	0,99617
	0,3 – 0,6	0,49	0,16554	0,01212	1,71956	0,41846	0,99617
1909	0 – 0,3	0,51	0,13860	0,02615	1,97769	0,49436	0,99874
	0,3 – 0,6	0,50	0,12703	0,01894	1,82894	0,45323	0,99679
2028	0 – 0,3	0,49	0,10055	0,00738	2,52499	0,60396	0,99951
	0,3 – 0,6	0,49	0,12939	0,01379	1,99153	0,49787	0,99881
2108	0 – 0,3	0,40	0,11015	0,03205	1,65512	0,39581	0,99707
	0,3 – 0,6	0,54	0,11869	0,00352	2,36048	0,57636	0,99429
2118	0 – 0,3	0,42	0,00793	0,00708	2,41026	0,58511	0,99655
	0,3 – 0,6	0,54	0,14211	0,01375	1,93383	0,48289	0,99924
2149	0 – 0,3	0,52	0,11845	0,03154	1,80078	0,44468	0,99933
	0,3 – 0,6	0,57	0,12779	0,02819	1,70730	0,41428	0,99729

Pode-se verificar nas Tabelas 23, 24 e 25, a partir dos parâmetros do modelo da equação de van Genuchten, que os coeficientes de ajuste (R^2) da curva de retenção de água aos dados experimentais foram superiores em média a 97,6, 99,7 e 99,2% para PINC, PIB e PIMT, respectivamente. Portanto, este modelo poderá ser recomendado para estimativa de teor de água no solo para fins de manejo da irrigação.

Nas Tabelas 26, 27 e 28 encontram-se os dados de CTA e CRA para as profundidades de 0 a 0,3 m e de 0,3 a 0,6 m com a respectiva classificação textural.

Tabela 26. Resultados calculados para CTA e CRA do solo em diferentes profundidades, nos lotes analisados do PINC.

Lote	Profundidade (m)	CTA (mm)	CRA (mm)	Texturas
309	0 – 0,3	27	30	Franco-arenosa
	0,3 – 0,6	33		Franco-argilo-arenosa
392	0 – 0,3	30	25,5	Franco-argilo-arenosa
	0,3 – 0,6	21		Franco-arenosa
521	0 – 0,3	21	24	Franco-arenosa
	0,3 – 0,6	27		Franco-argilo-arenosa
540	0 – 0,3	27	30	Franco-arenosa
	0,3 – 0,6	33		Franco-argilo-arenosa
541	0 – 0,3	27	31,5	Franco-arenosa
	0,3 – 0,6	36		Franco-argilo-arenosa
609	0 – 0,3	15	12	Areia-franca
	0,3 – 0,6	9		Franco-arenosa
648	0 – 0,3	33	36	Franco-arenosa
	0,3 – 0,6	39		Franco-arenosa
765	0 – 0,3	15	19,5	Franco-arenosa
	0,3 – 0,6	24		Franco-argilo-arenosa
1000	0 – 0,3	6	12	Franco-arenosa
	0,3 – 0,6	18		Franco-argilo-arenosa
1029	0 – 0,3	12	15	Areia-franca
	0,3 – 0,6	18		Franco-argilo-arenosa
1059	0 – 0,3	33	36	Franco-arenosa
	0,3 – 0,6	39		Franco-argilo-arenosa
1079	0 – 0,3	42	45	Franco-arenosa
	0,3 – 0,6	48		Franco-argilo-arenosa
1141	0 – 0,3	39	43,5	Franco-arenosa
	0,3 – 0,6	48		Franco-argilo-arenosa
1147	0 – 0,3	39	34,5	Franco-arenosa
	0,3 – 0,6	30		Franco-arenosa
1164	0 – 0,3	27	39	Franco-arenosa
	0,3 – 0,6	51		Franco-arenosa
1482	0 – 0,3	30	34,5	Franco-arenosa
	0,3 – 0,6	39		Franco-arenosa
1515	0 – 0,3	27	30	Areia-franca
	0,3 – 0,6	33		Areia-franca
1653	0 – 0,3	24	31,5	Franco-arenosa
	0,3 – 0,6	39		Franco-arenosa

Tabela 27. Resultados calculados para CTA e CRA no solo, em diferentes profundidades, nos lotes analisados do PIB.

Lote	Profundidade (m)	CTA (mm)	CRA (mm)	Texturas
17	0 – 0,3	39	37,5	Franco-arenosa
	0,3 – 0,6	36		Franco-arenosa
43	0 – 0,3	48	43,5	Franco-arenosa
	0,3 – 0,6	39		Franco-argilo-arenosa
64	0 – 0,3	42	43,5	Areia-franca
	0,3 – 0,6	45		Franco-arenosa
99	0 – 0,3	45		Franco-arenosa

	0,3 – 0,6	39		Franco-arenosa
Tabela 28. Resultados calculados para CTA e CRA no solo, em diferentes profundidades, nos lotes analisados do PIMT.				
Lote	Profundidade (m)	CTA (mm)	CRA (mm)	Texturas
1908	0 – 0,3	39		Franco-argilo-arenosa
	0,3 – 0,6	48	43,5	Franco-argilo-arenosa
1909	0 – 0,3	36		Franco-arenosa
	0,3 – 0,6	45	40,5	Franco-argilo-arenosa
2028	0 – 0,3	36		Franco-arenosa
	0,3 – 0,6	39	37,5	Franco-argilo-arenosa
2108	0 – 0,3	27		Franco-arenosa
	0,3 – 0,6	45	36	Franco-argilo-arenosa
2118	0 – 0,3	33		Franco-argilo-arenosa
	0,3 – 0,6	42	37,5	Franco-argilo-arenosa
2149	0 – 0,3	21		Franco-argilo-arenosa
	0,3 – 0,6	27	24	Franco-argilo-arenosa

De acordo com Bernado et al. (2005) Tabela 4, verifica-se bom armazenamento para a maior parte das profundidades dos lotes analisados para o PINC, PIB e PIMT, exceto os lotes do PINC 609, 1000 e 1029 que se encontra com os valores de CTA abaixo e no limite inferior de armazenamento de água. Entretanto, os lotes 1079 (textura franco-arenosa e franco-argilo-arenosa), 1141(textura franco-arenosa e franco-argilo-arenosa), 1147 (textura franco-arenosa), 1164 (textura franco-arenosa), 1515 (textura areia-franca) do PINC apresentaram uma capacidade total de armazenamento de água acima e próximo ao limite superior da faixa preconizada por Bernado et. al (2005), conforme a Tabela 4. Já no perímetro do PIB, solos de textura arenosa apresentaram uma faixa de CTA no solo maior que a esperada.

Como as produções agrícolas nos três perímetros concentram-se em fruticultura, os lotes com capacidade total de armazenamento de água superior à faixa preconiza por Bernardo et al. (2005) pode se deduzir que houve aporte de matéria orgânica.

CONCLUSÕES

(1) Os solos dos lotes do PINC apresentaram em sua maioria textura franco-arenosa na camada de 0 a 0,3 m e de franco-argilo-arenosa na sub-superfície, compactação leves na maioria dos horizontes estudados. Propenso a uma baixa retenção de água na profundidade de 0 a 0,3 m e uma retenção média de armazenamento de água no solo na profundidade de 0,3 a 0,6 m;

(2) No PIB, os solos apresentam textura franco-arenosa, problema de compactação em 100% dos lotes na camada subsuperficial. Propenso a uma reduzida retenção de armazenamento de água no solo.

(3) No PIMT predominaram solos com textura franco-argilo-arenosa, compactação leve na maioria dos horizontes estudados. Propenso a uma retenção média de armazenamento de água no solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, B.G. **Avaliação do impacto do manejo com irrigação em solos brunos não cálcicos do Estado de Sergipe.** Recife. 1995. 117f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1995.

ANJOS, J.T et al. KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 18, p.139-145, 1994.

ARA, Amilton Braio; MUSETTI, Ana Villares; SCHNEIDERMAN, Boris. **Introdução à Estatística**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2003. 151 p

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 7. ed. Viçosa: UFV, 2005. 611 p.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL**. Rio de Janeiro, 1973. (Levantamento de recursos naturais, v1)

CAMPOS, B.C. et al. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, n. 19, p. 121-126, 1995.

CASTRIGNANÒ, A.; STELLUTI, M. FRACTAL. geometry and geostatistics for describing the field variability of soil aggregation. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v.73, p.13-18, 1999.

CHOUDHURY, E.N.; OLIVEIRA, C.A.V. **Influência do preparo do solo na produção de melancia e na compactação em Latossolo Vermelho-Amarelo irrigado**. Petrolina: Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido, 1982. 24p.(Boletim de pesquisa, 13).

CINTRA, F.L.D. **Caracterização do impedimento mecânico em Latossolos do Rio Grande do Sul**. 1980. 89f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1980.

COELHO FILHO, M.A. et al. Variabilidade espacial de variáveis físico-hídricas do solo em pomar de lima ácida Tahiti, irrigado por microaspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.2, p. 239-246, 2001. Campina Grande, PB, DEAg/UFB.

COELHO, R.D. Análises físicas de solo para projetos e manejo de sistemas de irrigação. In: MAQUINARIA agrícola. São Paulo: Instituto de Pesquisa Tecnológicas, 1992. p.4-5.

DADALTO, G.G. **Alterações em características físicas e químicas e solos cultivados com pastagem em áreas de caatinga hipoxerófila no município de Sebastião Laranjeiras, Bahia.** 1983. 89f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, 1983.

DANTAS, J.A. **Averiguação dos efeitos da irrigação em solos podzólicos no sub-médio São Francisco.** 1996. 104f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1996.

E.E.F.SANTOS; M.R.RIBEIRO. Influência da irrigação e do cultivo nas propriedades de um Latossolo e um Argissolo na região do submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 875-884, 2000.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006. 306 p.

EMBRAPA. Informação Tecnológica. **Fruticultura tropical: espécies regionais e exóticas.** Brasília, DF: Embrapa. 2009. 509p.

JACOMINE, P.K.T.; CAVALCANTI, A.C.; RIBEIRO, M.R. **Levantamento exploratório reconhecimento de solos da margem esquerda do Rio São Francisco**, estado da Bahia. Recife: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1976. (Boletim técnico, 38).

JACOMINE, P.K.T; CAVALCANTI, A.C. ; SILVA, F.B.R. **Levantamento exploratório - reconhecimento de solos da margem direita do Rio São Francisco**, Estado da Bahia. Recife: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1977.v.1. (Boletim técnico, 52)

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia: relações solo-planta.** São Paulo: Ceres, 1979. 272p.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo.** São Paulo: Edusp, 2005.335p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas.** São Paulo, Manole, 1990.

SILVA, A.J.N. ; RIBEIRO, M.R. Caracterização de Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no estado de Alagoas: atributos morfológicos e físicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 21, p. 677-684, 1997.

SILVA, A.J.N. **Caracterização de Latossolos Amarelos sob o cultivo contínuo de cana-de-açúcar no estado de Alagoas.** 1996. 133f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1996.

SILVA, M.S.L. et al. Propriedades físicas e químicas de Podzólico Vermelho-Amarelo adensado no sertão Pernambucano. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12., 1998. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p.309-310.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.1135-1139, 2005.

TRANGMAR, B.B.; Yost, R.S.; Uehara, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, New York, v.38, p.45-94, 1985.

URCHEI, M.A. et al. Efeito do plantio direto e do preparo convencional sobre alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso, sob pivô central. **Irriga**, n. 1, p. 8-15, 1995.

van GENUCHTEN, M.T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p.892-898, 1980.

van GENUCHTEN M.T.; LEIJ, F. J.; YATES, S. R. RETEC, **Code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils**: version 6.02. Riverside: University of California, 2009.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. **Environmental soil physics**. New York: Academic, 1998. P. 655-675.

CAPÍTULO 2

UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NOS PERÍMETROS IRRIGADOS DE NILO COELHO, BEBEDOURO E MARIA TEREZA, NOS ESTADOS DE BAHIA E PERNAMBUCO¹

¹Artigo a ser ajustado para submissão ao Comitê Editorial do periódico científico Revista Magistra

RESUMO: A necessidade de conservação dos recursos hídricos e redução nos custos de produção, principalmente de energia e de insumos, devem, por meio dos sistemas de irrigação e manejo, proporcionarem aplicação de água uniforme e eficiente. Uma baixa uniformidade de distribuição de água faz com que determinadas plantas irrigadas pelo sistema recebam mais água do que outras. Este trabalho teve o objetivo de avaliar a qualidade de irrigação com base em indicadores de performances nas condições atuais de manejo e operação dos sistemas de irrigação. A maioria dos lotes dos sistemas de irrigação por microaspersão e gotejamento foi classificada como excelente, tendo como média da UD: 82,87%, variação de 58,52% a 95,48% no Perímetro Irrigado Nilo Coelho (PINC); valor médio de 90,62 %, variação de 88,03% a 93,21% no Perímetro Irrigado Bebedouro (PIB) e; valor médio de 83,69 %, variação de 66,57% a 91,13% no Perímetro Irrigado Maria Tereza (PIMT), demonstrando que a dispersão das lâminas de água de irrigação ao longo dos setores encontrava-se bastante reduzida. Verificou-se que o menor valor de CUC (69,38 %) foi obtido no sistema de irrigação do lote 1908 do PIMT. Entretanto, a uniformidade de distribuição permitiu classificar o mesmo como razoável. Já o lote 64 do PIB, por sulco, do PIB as eficiências de aplicação e de distribuição de água foram elevadas na ordem de 77,93% e 86,32% respectivamente, baixas perdas por percolação 12,43% e pequeno escoamento superficial no final do sulco de 9,63%. Porém, no lote 17 foram observadas altas perdas por percolação (35,63%) e por escoamento superficial no final do sulco de 36,94%. Nos sistemas por aspersão convencional, 100% dos lotes avaliados do PINC e 50% do PIMT tiveram os piores resultados, exceto o lote 2149 que apresentou um desempenho razoável.

Palavra-chave: Uniformidade, sistemas de irrigação e perímetros irrigados.

WATER DISTRIBUTION UNIFORMITY BY IRRIGATION SYSTEMS IN THE NICLO COLEHO, BEBEDOURO, AND MARIA TEREZA IRRIGATION SCHEMES, IN THE STATES OF BAHIA AND PERNAMBUCO

ABSTRACT: The need for water conservation and reduction in production costs, mainly energy and raw materials, should, by means of irrigation systems and management, provide uniform application of water and efficiently. A low uniformity of water distribution causes certain plants irrigated by the system receiving more water than others. This study aimed to evaluate the quality of irrigation based on performance indicators in the current conditions of handling and operation of irrigation systems. Most lots of systems and drip irrigation spray was classified as excellent, with an average of UD: 82.87%, range 58.52% to 95.48% in the PINC; mean value of 90.62 %, ranging from 88.03 % to 93.21 % in the PIB and; mean value of 83, 69%, ranging from 66.57% to 91.13% PIMT, showing that the dispersion of depths of irrigation water over the areas it was quite low. It was found that the lowest value of CUC (69.38%) was obtained from the irrigation system of PIMT of the lot in 1908. However, the uniform distribution allows us to classify it as reasonable. Have Lot 64, furrow PIB efficiencies of application and distribution of water were elevated in 77.93% and 86.32% respectively, with low percolation losses 12.43 % and small runoff at the end of groove of 9.63%. However, in batch 17 were observed high percolation losses (35.63%) and surface runoff at the end of the groove of 36.94 %. By sprinkler systems, 100% of the surveyed PINC district and 50 % of PIMT had the worst results, except the lot in 2149 which showed a reasonable performance.

Key word: Uniformity, irrigation systems and irrigation schemes.

INTRODUÇÃO

Dentre os usos múltiplos da água no cenário mundial, o setor de irrigação é o de maior consumo, alcançando uma média de 70%. No Brasil, estimativas indicam que esse percentual é da ordem de 61%. Por consumir grandes volumes de água, a irrigação pode ser equivocadamente responsabilizada por problemas de escassez hídrica. Por outro lado, a importância da agricultura irrigada é inegável, tendo em vista que 36% da produção mundial de alimentos e fibras originam-se de áreas irrigadas que correspondem a apenas 15% da área total cultivada (PAZ, 2003).

A necessidade de conservação dos recursos hídricos e redução dos custos de produção exigem atualmente dos sistemas de irrigação melhores índices de uniformidade e eficiência de aplicação da água na agricultura irrigada (REZENDE et al., 2002). Santos et al. (2003) sustentam que a uniformidade influencia o custo da irrigação, assim como o desenvolvimento da cultura. Nas frações do campo irrigado que recebem menos água espera-se encontrar planta menos desenvolvida e, por conseguinte, menor rendimento.

A avaliação da operação dos sistemas de irrigação se faz por meio de diversos parâmetros baseados em dados de campo, como vazão, tempo de irrigação e uniformidade de aplicação de água, os quais são considerados fundamentais para o diagnóstico do sistema. Porém, para os produtores essa avaliação é considerada uma tarefa de pouca importância, mesmo quando disponibilizam de tecnologia, devido à falta de orientação e conhecimento (SILVA; SILVA, 2005).

A avaliação do desempenho de sistemas de irrigação sinaliza para a qualidade da irrigação praticada, a partir de coeficientes de uniformidade de aplicação de água. O primeiro coeficiente proposto (CUC – Coeficiente de Uniformidade de Christiansen) (CHRISTIANSEN, 1942) adota o desvio médio absoluto das lâminas aplicadas como medida de dispersão. Tem-se também o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) proposto por Criddle et al. (1956), o qual introduziu outra medida da uniformidade, considerando a razão entre a média do menor quartil e a lâmina média coletada.

O CUC é o coeficiente mais conhecido e, pela sua simplicidade, o mais utilizado. Por convenção, CUC=80% representa um valor mínimo aceitável. Segundo Gomes (1999), admitem-se valores de CUC inferior a 80% se a área a irrigar recebe chuvas durante o período de irrigação, se a planta possui sistema radicular profundo ou, ainda se a economia obtida no custo da instalação, com maiores espaçamentos entre aspersores e entre linhas laterais, compensar a redução do rendimento da cultura irrigada.

Nenhum sistema de irrigação é capaz de aplicar água com perfeita uniformidade. Em geral, o aumento da uniformidade de distribuição da água requer investimentos na melhoria do sistema, em manutenção e em mão-de-obra para o manejo racional da irrigação (DUKE et al., 1992; HEERMANN et al., 1992).

Bernardo et al. (2006) citam parâmetros que qualificam a uniformidade de aplicação de água dos sistemas de irrigação, os quais consideram excelente a uniformidade quando apresenta coeficientes acima de 90%, bom de 80-90%, regular de 70-80%, ruim 70-60% e inaceitável abaixo de 60%.

Segundo Frizzone (1992), o CUD é uma medida freqüentemente utilizada como indicador dos problemas de distribuição da irrigação. Um baixo valor do CUD indica perda excessiva de água por percolação profunda, se a lâmina mínima aplicada corresponde à lâmina necessária. Os valores de CUD são, geralmente, menores que os valores de CUC (REZENDE et al., 2002).

Na irrigação localizada, a uniformidade de distribuição da água ao longo da linha lateral está intimamente relacionada à variação de vazão dos emissores, variação essa devido às perdas de carga ao longo da tubulação e das inserções dos emissores, dos ganhos e perdas de energia de posição, da qualidade do tubo, das obstruções e efeitos da temperatura da água sobre o regime de escoamento e geometria do emissor (HOWELL & HILLER, 1974; GOMES 1999); distância dos microaspersores ao caule das plantas e a interferência na interceptação do jato (COSTA, 1994); e elementos climáticos, como a velocidade e direção do vento (CONCEIÇÃO, 2002). A desuniformidade de aplicação de água na irrigação por microaspersão é atribuída principalmente à falta de manutenção, sistemas mal dimensionados, ou que estão em uso há determinado tempo.

Bernardo et al. (2006) ressaltam que é preciso verificar a uniformidade de irrigação mesmo na microaspersão, particularmente nos sistemas sem aplicadores compensados. Barreto Filho et al. (2000) recomendaram os métodos de Merriam & Keller (1978) e da ASAE (1996) para a avaliação do coeficiente de uniformidade na irrigação localizada.

O objetivo desse estudo foi avaliar o desempenho de sistemas de irrigação por aspersão convencional, microaspersão, gotejamento e irrigação por sulco, no Perímetro Irrigado de Nilo Coelho (PINC), Bebedouro (PIB) e Maria Tereza (PIMT), de forma a contribuir para a otimização da irrigação e sustentabilidade hídrica.

MATERIAL E MÉTODOS

Peculiaridade da área

O estudo foi realizado no Pólo de Irrigação de Petrolina-PE/Juazeiro-BA nos Perímetros Irrigados de Nilo Coelho (PINC), Bebedouro (PIB) e Maria Tereza (PIMT), localizados na região do Sub-médio São Francisco. Os três perímetros compreendem uma área irrigada total de 25.660 ha, assim distribuídos: 12.814 ha de lotes de pequenos produtores e 6.043 ha de lotes empresariais no PINC; 1.223 ha de lotes de pequenos produtores e 858 ha de lotes empresariais no PIB; e 4.712 ha de lotes de diferentes tamanhos no PIMT.

Caracterização climatológica

O clima da região é do tipo BSw^h, segundo a classificação de Köppen, ou seja, clima semi-árido. Um dos maiores problemas das regiões semi-áridas é a irregularidade das chuvas, aliada à ocorrência de temperaturas elevadas, ocasionando longos períodos de deficiência hídrica. A temperatura do ar média mensal oscila entre 24,2°C (julho) e 28,2°C (novembro). A reduzida amplitude térmica anual explica-se pela proximidade da região em relação ao equador terrestre. Nos meses mais úmidos (maior precipitação) a umidade relativa do ar média é em torno de 66%. Os menores valores de UR (<55%) ocorrem nos meses de setembro e outubro.

A precipitação pluvial é o elemento meteorológico de maior variabilidade espacial e temporal. Nos últimos 30 anos, em Petrolina, o total anual médio de chuva tem sido da ordem de 567 mm. O período chuvoso concentra-se entre os meses de novembro e abril, com 90% do total anual.

Disponibilidade hídrica

A água é derivada do lago da Barragem de Sobradinho, de propriedade da Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF). Os trabalhos de operação e manutenção dos projetos irrigados são de responsabilidade de Distritos de Irrigação localizados nos perímetros. Os distritos são associações civis sem fins lucrativos que congregam os usuários na área de abrangência dos projetos.

O PINC possui 158 km de canais; 818 km de adutoras, 711 km de estradas; 262 km de drenos; 39 estações de bombeamento. O PIB possui 31 km

de canais; 45 km de estradas; 64 km de drenos; 5 estações de bombeamento e o PIMT possuem 76 km de adutoras; 34 km de drenos, 55 km de estradas.

Caracterização do solo

A geologia da área estudada pertence ao grupo Caraíba (BRASIL, 1973), constituído por rochas do Pré-Cambriano Indiviso, destacando-se gnaisses, anfibolitos e migmatitos. Este embasamento cristalino está recoberto por um impedimento de espessura variável, constituído de material detrítico de textura variada, muitas vezes com camadas de calhaus de quartzo e concreções (JACOMINE et al., 1976, 1977). O relevo predominante é típico da depressão periférica do rio São Francisco, apresentando-se caracteristicamente plano e suave ondulado, onde se destacam algumas serras de quartzito com orientação norte-sul, onde se desenvolvem os solos classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006) atualmente são classificados, respectivamente, como NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (RQ), LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (LVAd), ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (PVA_d) e ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico (PVA_e).

Caracterização dos lotes avaliados

Os testes de campo para avaliação da irrigação envolveram quatro sistemas de irrigação: aspersão convencional, microaspersão, gotejamento e sulco. O número total de lotes avaliados foi 28. Vinte lotes do PINC com sete por aspersão convencional, dez por microaspersão e três por gotejamento; quatro lotes do PIB com dois por sulcos, um por microaspersão e um por gotejamento; e oito lotes do PIMT, sendo quatro por aspersão convencional e quatro por microaspersão. As Tabelas 1, 2 e 3 detalham as características dos referidos lotes nos perímetros.

Tabela 1. Caracterização geral dos lotes selecionados no PINC.

Lotes	Área Irrigada (ha)	Total de Área (ha)	Cultura	Espaçamento (m)	Sistema
1029	7,5	7,5	Manga Banana Goiaba	12x12	Aspersão convencional
1059	6,25	6,25	Manga Goiaba Banana	12x12	Aspersão convencional
1164	6,0	6,0	Goiaba Manga Abacate Pinha	12x12	Aspersão convencional
1482	9,0	9,0	Uva Goiaba	12x12	Aspersão convencional
1515	1,0	72,0	Goiaba Banana	15x12	Aspersão convencional
309	7,0	7,0	Goiaba Manga Banana	6x6	Microaspersão
392	7,36	7,36	Manga Côco	6x7	Microaspersão
521	6,37	6,37	Manga Goiaba Uva	10x10	Microaspersão
540	65,0	210,0	Uva	10x5	Microaspersão
609	4,0	6,0	Manga	8x9	Microaspersão
765	6,13	6,13	Manga Goiaba	7x8	Microaspersão
1000	6,59	6,59	Côco	8x8	Microaspersão
1079	3,0	5,75	Uva	3x3	Microaspersão
1141	6,0	6,0	Banana Acerola	6x5	Microaspersão
1653	11,2	70,0	Uva	2x3	Microaspersão
541	29,37	29,37	Uva	0,5x3,5	Gotejamento
648	130,0	140,0	Manga Uva	1x8	Gotejamento
1147	21,0	21,0	Uva Goiaba Mamão	0,5x3,5	Gotejamento

Tabela 2. Caracterização geral dos lotes selecionados no PIB.

Lotes	Área Irrigada (ha)	Total de Área (ha)	Cultura	Espaçamento (m)	Sistema
43	3,0	14,0	Manga	6x5	Microaspersão
99	3,0	10,8	Uva	0,5x3	Gotejamento
17	5,5	9,8	Manga Uva	-	Sulcos
64	-	12,6	Uva Manga	-	Sulcos

Tabela 3. Caracterização geral dos lotes selecionados no PIMT.

Lotes	Área Irrigada (ha)	Total de Área (ha)	Cultura	Espaçamento (m)	Sistema
2108	6,0	6,	Manga Goiaba Acerola	24x24	Aspersão convencional
2149	2,5	10,	Côco consórcio Banana	24x24	Aspersão convencional
1908	6,0	6,0	Goiaba Manga	4x5	Microaspersão
1909	8,6	15,5	Manga	5x8	Microaspersão
2028	1,4	5,8	Goiaba	6x7	Microaspersão
2118	2,6	12,	Uva	3x3,5	Microaspersão

Procedimento para teste dos sistemas de irrigação

Para avaliação de sistemas de aspersão convencional fez-se uso de seguinte metodologia: foram distribuídos 24 pluviômetros, sendo 12 de cada lado em relação à linha de distribuição distanciados 0,5 m em relação a esta e 1 m entre pluviômetros, com objetivo de se trabalhar com a média do volume coletado em dois pluviômetros. Estes foram distribuídos em três posições ao longo da linha de distribuição, ficando assim distribuídos entre os aspersores 1 e 2; 5 e 6; 8 e 9. Para os aspersores selecionados foram coletados a pressão por meio de manômetro de glicerina diretamente no bocal do aspersor. A vazão foi medida utilizando-se um tubo coletor o qual conduziu toda a água para um balde de 13 litros, onde simultaneamente cronometrou-se o tempo para completar este volume; para cada medição foram realizadas três repetições.

Foi observado grande número de vazamentos na linha lateral, presença de mais de um modelo de bocal na linha lateral, aspersores com defeitos. O produtor

desconhece a vazão do aspersor e não faz qualquer tipo de manejo de irrigação na área.

Não foi possível medir a vazão e a pressão na entrada do lote, devido ao hidrômetro apresentar-se sem as conexões que permitissem a tomada de pressão.

A intensidade de aplicação (I_a) foi calculada através da equação 1.

$$I_a = \frac{Q}{E_{LL} \cdot E_A} \cdot 1000 \quad (1)$$

em que: I_a = intensidade de aplicação, mmh^{-1} ; Q = vazão, m^3h^{-1} ; E_{LL} = espaçamento entre linhas laterais, m e; E_A = espaçamento entre aspersores, m.

Para os sistemas de irrigação por microaspersão e gotejamento foi utilizada a seguinte metodologia: A coleta de dados foi feita em seis laterais, três à direita e três à esquerda da tubulação de distribuição, ou seja, as primeiras laterais, as laterais medianas e as últimas laterais. Em cada uma das laterais foram selecionados três emissores, o primeiro, o mediano e o penúltimo emissor. Com o auxílio de um manômetro, cronômetro e coletores foram obtidas as pressões e as vazões de cada emissor selecionado. Para cada medição foram realizadas três repetições.

O sistema de irrigação por sulco foi empregado nos lotes 17 e 64 do PIB, com dois sulcos por fileira e bacia circundando parcialmente a cultura. O espaçamento entre sulco para o lote 17 foi de 8 m, comprimento do sulco 155 m, turno de rega de 8 dias, leitura de vazão da calha tipo Parshall no início e no final do sulco, declividade média 1%; o espaçamento entre sulco para o lote 64 foi de 3 m, comprimento do sulco 70 m, turno de rega de 3 a 4 dias, declividade média do sulco de irrigação 2,25%, leitura de vazão da calha tipo Parshall no início e no final do sulco. Segundo informação do produtor, utiliza-se apenas um sifão por sulco e ao tempo de avanço é acrescentado mais 10 minutos, com a observação de escoamento no final do sulco. O produtor desconhece a vazão de cada sulco e não utiliza quaisquer métodos para fins de manejo.

Os procedimentos descritos acima foram utilizados com objetivo de encontrar o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e a uniformidade de aplicação e distribuição de água com base no menor quartil (CUD).

Indicadores de desempenho

Para avaliação do desempenho dos sistemas de irrigação por aspersão e sistemas localizados utilizou-se o coeficiente de uniformidade de Christiansen (1942) e o coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD) (KELLER & BLIESNER, 1990; MANTOVANI et al., 2009).

Matematicamente o CUC é calculado conforme a equação 1:

$$CUC = 100. \left[1 - \left(\frac{\sum_{j=1}^n |L_j - L_m|}{n. L_m} \right) \right]$$

(2)

em que: CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen (%); L_j = lâmina d'água no coletor de ordem j (mm) com todos os coletores regularmente espaçados no campo; L_m = média das lâminas coletadas (mm) e n = número de coletores.

$$CUD = 100. \left(\frac{L_{25}}{L_m} \right)$$

(3)

em que: CUD = uniformidade de distribuição de água com base no menor quartil (%); L_{25} = média dos 25% menores valores de lâmina coletada (mm); L_m = lâmina média coletada (mm).

Quando as equações (2) e (3) são utilizadas para avaliação de sistemas de irrigação localizada (aspersão e gotejamento) valores de vazões dos emissores selecionados são utilizados no lugar de lâminas coletadas

Uma vez determinados os valores de CUC e CUD em cada lote, a irrigação praticada nos mesmos foi classificada segundo os critérios da Tabela 4.

Tabela 4. Critérios de classificação da qualidade da irrigação segundo a uniformidade de distribuição de água pelos métodos aspersão e localizada (USDA, 1997).

Classe	CUC (%)	CUD (%)
Excelente	Acima de 90	Acima de 84
Bom	80 – 90	68 – 84
Razoável	70 – 80	52 – 68

Fonte: (1) Smajstrla et al. (1990) citado por Almeida (1997); (2) Bernardo (2005), (3) ASAE (1996).

No caso dos lotes com irrigação por sulcos, as seguintes etapas de cálculo foram seguidas para avaliação do desempenho da irrigação:

$$I = a \cdot T^\alpha \quad (4)$$

em que: I = infiltração acumulada (mm); T = tempo acumulado (min) e α e n = constantes de ajuste do modelo, dependentes do tipo de solo.

$$VI = a \cdot n \cdot T^{n-1} \quad (5)$$

em que: VI = velocidade de infiltração básica (mm h⁻¹); T = tempo acumulado (min) e

α e n = constantes de ajuste do modelo.

$$L_i = \frac{VI_{T_i}}{L} \quad (6)$$

em que: L_i = lâmina de irrigação infiltrada no início do sulco (mm); VI_{T_i} = velocidade de infiltração no tempo total de aplicação de água (L h⁻¹ m⁻¹) e L = espaçamento entre sulcos (m).

$$L_f = \frac{VI_{T_o}}{L} \quad (7)$$

em que: L_f = lâmina de irrigação infiltrada no final do sulco (mm); VI_{T_o} = velocidade de infiltração no tempo de aplicação da água no final do sulco, em L h⁻¹ m⁻¹ e L = espaçamento entre sulcos (m).

$$L_m = \frac{T_i \cdot q_i \cdot 3600}{C \cdot L} \quad (8)$$

(8)

em que: L_m = lâmina média aplicada por sulco (mm); T_i = tempo total de aplicação d'água, por sulco (h); q_i = vazão constante aplicada, por sulco (L s⁻¹); C = comprimento do sulco (m) e L = espaçamento entre sulcos (m).

$$L_p = \frac{L_i - L_f}{2} - L_f \quad (9)$$

em que: L_p = lâmina percolada (mm); L_i = lâmina de irrigação infiltrada no início do sulco (mm) e L_f = lâmina de irrigação infiltrada no final do sulco (mm).

$$P_p = \frac{L_p}{L_m} \quad (10)$$

em que: P_p = perdas por percolação (%); L_p = lâmina percolada (mm) e L_m = lâmina média aplicada por sulco (mm).

$$L_r = L_m - L_f - L_p \quad (11)$$

em que: L_r = lâmina escoada no final do sulco (mm); L_m = lâmina média aplicada por sulco (mm); L_f = lâmina de irrigação infiltrada no final do sulco (mm) e L_p = lâmina percolada (mm).

$$P_R = \frac{L_r}{L_m} \quad (12)$$

em que: P_r = perdas por escoamento, em %; L_r = lâmina escoada no final do sulco (mm) e L_m = lâmina média aplicada por sulco (mm).

$$E_A = \frac{L_f}{L_m} \cdot 100 \quad (13)$$

em que: E_a = eficiência de aplicação de água (%); L_f = lâmina de irrigação infiltrada no final do sulco (mm) e L_m = lâmina média aplicada por sulco (mm).

$$E_d = \frac{L_f}{\frac{L_i + L_f}{2}} \cdot 100$$

(14)

em que: E_d = eficiência de distribuição de água (%); L_f = lâmina de irrigação infiltrada no final do sulco (mm) e L_i = lâmina de irrigação infiltrada no início do sulco (mm).

$$q_{\max} = 0,631 \frac{S}{s}$$

(15)

em que: q_{\max} = vazão máxima não erosiva ($L s^{-1}$); e S = declividade do sulco (%).

Para realização do teste do infiltrômetro de sulco foram construídos três sulcos de 1 metro de comprimento; as medidas foram feitas no sulco do meio, e os outros dois utilizados como bordaduras. A água foi represada no sulco, marcado o nível normal por meio de um piquete, em seguida colocada água nos sulcos adjacentes e, ao longo do teste foi repondo a água no sulco do meio, mantendo o nível inicial e anotando-se o tempo e o volume gasto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Irrigação localizada (Microaspersão e Gotejamento)

Os resultados dos testes realizados nos perímetros irrigados em relação ao coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), uniformidade de distribuição (CUD) e valores médios de pressão e vazão encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5. Pressão média de operação, vazão média dos emissores e indicadores de performances (CUC, CUD) nos lotes do PINC, PIB e PIMT.

PINC					
Lotes	Sistemas	Pressão (kPa)	Vazão (L h ⁻¹)	CUC (%)	CUD (%)
309	Microaspersão	136,31	109,38	84,74	66,24
392	Microaspersão	103,95	35,11	92,89	91,34
521	Microaspersão	104,93	44,78	92,75	88,21
540	Microaspersão	78,45	46,01	86,07	76,55
541	Gotejamento	158,87	2,40	93,52	87,50
609	Microaspersão	114,74	36,91	78,43	58,52
648	Gotejamento	119,64	1,13	84,32	73,45
765	Microaspersão	103,95	43,62	89,77	84,81
1000	Microaspersão	78,45	23,85	96,44	94,10
1079	Microaspersão	202,99	78,03	96,41	95,48*
1141	Microaspersão	162,79	55,94	93,89	87,38
1147	Gotejamento	204,96	2,89	88,47	80,62
1653	Microaspersão	101,00	22,34	96,22	93,11
PIB					
43	Microaspersão	142,19	42,13	95,11	93,21
99	Gotejamento	223,59	2,84	93,90	88,03

		PIMT			
1908	Microaspersão	98,07	42,79	69,38	66,57
1909	Microaspersão	144,16	42,44	90,19	89,30
2028	Microaspersão	139,25	55,73	95,12	87,77
2118	Microaspersão	152,98	42,98	93,35	91,13

A velocidade média do vento foi desconsiderada, uma vez que os emissores estavam dispostos entre as linhas de plantio de uma cultura de porte alto.

Os coeficientes de uniformidade (Tabela 5) para o PINC variaram de 78,43% a 96,44%, com média de 90,30%, desvio médio de 4,62%; no PIB o CUC variou de 93,90% a 95,11%, com média de 94,51%, desvio médio de 0.60% e no PIMT o CUC variou de 69,38% a 95,12%, com média de 87,01%, desvio médio de 8,82%. Classificação do CUC dos perímetros em relação à distribuição dos lotes: PINC - 8% razoável, 38% bom e 54% excelente; PIB - 100% excelente e PIMT - 25% ruim e 75% excelente.

Verificou-se que o menor valor de CUC (69,38%) foi obtido no sistema de irrigação do lote 1908 do PIMT. Entretanto, a uniformidade de distribuição permitiu classificar o mesmo como razoável, conforme o parâmetro apresentado na Tabela 4.

Os valores e classificação do CUD obtidos no método de irrigação localizada são apresentados na Tabela 6, com valor médio de 82,87% e variação de 58,52% a 95,48% no PINC; valor médio de 90,62% e variação de 88,03% a 93,21% no PIB e valor médio de 83,69% e variação de 66,57% a 91,13% no PIMT.

Em 31,58% dos sistemas avaliados o coeficiente de uniformidade de distribuição de água, segundo a ASAE (1996), pode ser classificado como “razoável a bom” e em 68,42% o valor foi considerado “excelente”.

Tabela 6: Valores de CUD e correspondente enquadramento da irrigação localizada no PINC, PIB e PIMT.

Perímetro	Lote	CUD (%)	Classificação	Fração dos lotes (%)
Nilo Coelho	609	58,52	Razoável	15,38
	309	66,24		
	648	73,45	Bom	23,08
	540	76,55		
	1147	80,62		
	765	84,81		
	1141	87,38	Excelente	61,54
	541	87,50		
	521	88,21		
	392	91,34		
1653	93,11			
1000	94,10			
Bebedouro	1079	95,48	Excelente	100
	99	88,03		
Maria Tereza	43	93,21	Razoável	25
	1908	66,57		
	1909	89,30	Excelente	75
	2028	87,77		
	2118	91,13		

Pela Tabela observa-se que 68,42% do total dos lotes avaliados dos três perímetros foram superiores aos valores convencionalmente recomendados para o funcionamento adequado de um sistema de irrigação localizada. Segundo Smajstrla et al. (1990), citados por Almeida (1997), Bernado (2005) e ASAE (1996) o valor indicado é de 84%. Este fato demonstra que a dispersão das lâminas de irrigação ao longo dos setores encontrava-se bastante reduzida, significando que a aplicação de água em média estava bem uniforme.

Além disso, nota-se que o CUD é inferior ao CUC no projeto avaliado. Segundo López et al. (1992), isso ocorre porque o primeiro coeficiente fornece um

tratamento mais rigoroso a problemas de distribuição de água, que ocorrem ao longo da linha lateral.

Autores como Almeida (1997) e Barreto Filho et al. (2000) têm utilizado vários coeficientes para avaliar a qualidade da irrigação em sistemas localizados, entre eles o CUC, o CUD tomando sempre o primeiro como padrão. Os resultados desses autores demonstram que na maior parte das vezes a uniformidade está acima do mínimo preconizado (maior que 80% - Tabela 4) e que a análise mais completa ocorre quando todos os emissores são mensurados, permitindo inferir sobre a qualidade do dimensionamento, operação e manejo da irrigação localizada.

Irrigação por sulcos

Dados derivados das coletas de campo em áreas irrigadas por sulcos são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Resultados das avaliações do desempenho da irrigação por sulcos realizados nos lotes 17 e 64 do PIB.

Lote	Li (mm)	Lf (mm)	Lm (mm)	Lp (mm)	Pp (%)	Lr (mm)	Pr (%)	Ea (%)	Ed (%)	Qmax (L s ⁻¹)
17	34,54	9,60	35	12,47	35,63	12,93	36,94	27,43	43,50	0,41
64	5,86	4,45	5,71	0,71	12,43	0,55	9,63	77,93	86,32	0,40

As eficiências de aplicação e de distribuição de água no lote 17 foram baixas com valores de 27,43% e 43,50%, respectivamente, caracterizando perdas por percolação de 35,63% e escoamento superficial no final do sulco de 36,94%. O elevado comprimento do sulco (155 m) e a declividade de 1% favoreceram baixa velocidade de escoamento da água e conseqüentemente aumento do tempo de avanço para um tempo de oportunidade de irrigação, diminuindo a eficiência de aplicação de água e aumentando as perdas por percolação e escoamento superficial em solos de texturas areia-franca e franco-arenosa nas profundidades de 0 a 0,3 m e de 0,3 a 0,6 m, respectivamente.

Segundo Mantovani et al. (2007), o comprimento do sulco para simples determinação deve ser tal que o tempo de avanço (tempo que a água leva para ir do início ao final do sulco) seja aproximadamente 25% do tempo de oportunidade,

critério sugerido por Criddle (1956), para aplicar a lâmina real de irrigação no final do sulco.

As avaliações da eficiência de aplicação e de distribuição de água no lote 64 foram consideradas altas, com valores de 77,93% e 86,32%, respectivamente. Estas características poderão ter sido causadas pelo comprimento (70 m) ser menor e a declividade (2,25%) ser maior em relação ao lote 17, uma vez que, a textura do lote 64 foi igual do lote 17, nas mesmas profundidades. Observou-se igualmente reduzidas perdas por percolação (12,43%) e pequeno escoamento superficial no final do sulco (9,63%). Segundo Mantovani et al. (2007), o valor mínimo aceitável da eficiência de aplicação em um projeto é de 60%. O ideal é que o valor deste parâmetro esteja acima de 70%. Deve-se, entretanto, atentar para a existência de processos erosivos nos sulcos de irrigação, face à elevada velocidade de escoamento da água nos mesmos.

Irrigação por aspersão convencional

Dos lotes avaliados, 100% do PINC e 25% do PIMT, tiveram os piores resultados. Do PIMT o lote 2149 apresentou um desempenho razoável, conforme se observa na Tabela 8.

Tabela 8. Coeficientes de uniformidade e distribuição de água dos cinco lotes do PINC e dois do PIMT irrigados por aspersão convencional.

Lote	Pressão (kPa)	Vazão (Lh ⁻¹)	la (mmh ⁻¹)	CUC (%)	CUD (%)
PINC 1029	129,45	1112,33	7,72	46,5 ⁵	14,9 ⁵
PINC 1059	215,75	2357,60	16,37	55,4 ⁵	29,1 ⁵
PINC 1164	162,79	1434,00	9,56	53,0 ⁵	47,7 ⁴
PINC 1482	245,17	1253,17	8,70	56,2 ⁵	30,4 ⁵
PINC 1515	164,75	1604,05	8,91	68,8 ⁴	50,4 ⁴
PIMT 2108	225,55	7131,00	12,38	46,0 ⁵	14,0 ⁵
PIMT 2149	225,55	7131,00	12,38	72,5 ³	56,2 ³

¹Excelente; ²Bom; ³Razoável; ⁴Ruim; ⁵Inaceitável (Tabela 4)

Esses baixos valores para os indicadores da Tabela 8, que ocorreram em função dos vazamentos constatados nas linhas laterais, principalmente nos anéis de vedação das redutoras (4 pol), presença de mais de um modelo de fabricante de aspersor, grande número de bocais desgastados, variação de pressão, desconhecimento por parte do produtor da vazão do aspersor e, conseqüentemente, da lâmina aplicada.

Embora a ação do vento possa contribuir com a desuniformidade da distribuição de água aplicada por sistemas por aspersão (FRIZZONE, 1992), a velocidade do vento foi desconsiderada, uma vez que o valor médio medido ficou abaixo de 2 m s^{-1} .

Os valores baixos dos indicadores de uniformidade vistos na Tabela 8 representam perdas de água por percolação profunda nos lotes avaliados, além de gerar problemas de falta de água em alguns setores da área causada pela desuniformidade (KELLER & BLIESNER, 1990; WILSON & ZOLDOSKE, 1997).

CONCLUSÕES

A maioria dos lotes dos sistemas de irrigação por microaspersão e gotejamento foi classificada como excelente, tendo como média da UD: 82,87%, variação de 58,52% a 95,48% no PINC; valor médio de 83,69%, valor médio de 90,62%, variação de 88,03% a 93,21% no PIB e; variação de 66,57% a 91,13% no PIMT, demonstrando que a dispersão das lâminas de água de irrigação ao longo dos setores encontrava-se bastante reduzida.

A avaliação por sulco do PIB, as eficiências de aplicação e de distribuição de água foram consideradas altas em 77,93% e 86,36% respectivamente, exceto o lote 17, onde foram observadas altas perdas de água por percolação e por escoamento.

Nos sistemas de irrigação por aspersão convencional, 100% dos lotes avaliados do perímetro irrigado de Nilo Coelho e 50% do perímetro Maria Tereza foi inferiores ao menor valor aceitável ($\text{CUC} < 80\%$; $\text{UD} < 70\%$).

Nas atuais condições de dimensionamento, operação e manejo os sistemas de irrigação por microaspersão e de gotejamento mostrou-se mais eficientes que o da irrigação por aspersão convencional e por sulco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. T. **Avaliação dos sistemas de irrigação pressurizados e do manejo da água na cultura da banana no Projeto Gorutuba**. 1997. 96p. Dissertação Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Field Evaluation of microirrigation systems**. St. Joseph, p.792-797. 1996.

BARRETO FILHO, A.A. et al. Desempenho de um sistema de irrigação por microaspersão, instalado a nível de campo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p. 309-14, 2000.

BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto **RADAMBRASIL**. Rio de Janeiro, 1973. p.17-18. (Levantamento de recursos naturais, v1)

CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: California Agricultural Station. 1942. 124p. (Bulletin, 670).

CONCEIÇÃO, M. A. F. **Simulação da distribuição de água em microaspersores sob condição de vento**. 2002. 110 f.. Tese (Doutorado em Agronomia) - ESALQ/USP, Piracicaba, 2002.

COSTA, M. C. **Caracterização hidráulica de dois modelos de microaspersores associados a três reguladores de fluxo e um mecanismo de pulso**. 1994. 109 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - ESALQ/USP, Piracicaba, 1994.

CRIDDLE, W.D.; DAVIS, S.; PAIR, C.H.; SHUCKELY, D.G. Methods for evaluation irrigation systems. Washington, USDA, 1956.24p. (Agricultural Handbook, 82).

DUKE, H.R.; HEERMANN, D.F.; DAWSON, L.J. Appropriate depths of application for scheduling center pivot irrigations. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.35, n.5, p.1457-1467, 1992.

EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006. 306 p.

FRIZZONE, J.A. **Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Engenharia Rural, 1992. (Série didática, 3).

GOMES, H.P. **Engenharia de irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento**. 3.ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 412p.

HEERMANN, D.F. et al. Distribution functions to represent center-pivot water distribution. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.35, n.5, p.1465-1472, 1992.

HOWELL, T.A.; HILLER, E.A. Designing trickle irrigation laterals for uniformity. In: INTERNATIONAL DRIP IRRIGATION CONGRESS, 2., 1974, San Diego. **Proceedings...** Riverside: Department of Soil Science and Agricultural Engineering, 1974. p.299-304.

JACOMINE, P.K.T.; CAVALCANTI, A.C.; RIBEIRO, M.R. **Levantamento exploratório reconhecimento de solos da margem esquerda do Rio São Francisco**, estado da Bahia. Recife, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1976. (Boletim técnico, 38)

JACOMINE, P.K.T; CAVALCANTI, A.C. & SILVA, F.B.R. **Levantamento exploratório reconhecimento de solos da margem direita do Rio São Francisco**, Estado da Bahia. Recife, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1977.v.1. (Boletim técnico, 52)

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle Irrigation**. New York: van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

LÓPEZ, J. R. et al. **Riego localizado**. 2 ed. Madrid: Centro Nacional de Tecnología de Regadíos, 1992. p. 217-229.

MANTOVANI, E.C., et al. Irrigação: **princípios e métodos**. 2. ed., atual. e ampl. – Viçosa: Ed. UFV, 2007. 358.: il.; 22cm.

MERRIAM, J. L., KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation**: a guide for management. Logan: Utah State University, 1978. 271p.

MERRIAN, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation systems evaluation**: A guide for management. Logan: Agricultural and Irrigation Engineering Department, Utah State University, 1978. 271p.

USDA. Natural Resources Conservation Service. **Irrigation water management**. Washington, CD: NRCS, 1997. 223p. (National Engineering Handbook, Irrigation Guide, Chapter 9).

PAZ, V.P.S.; OLIVEIRA, A.S.; PEREIRA, F.A.C. Irrigação: tecnologia e produtividade. **Bahia Agrícola**, Salvador, v.5, n.3, p. 30 – 37, 2003.

REZENDE, GONÇALVES, R. et al. Influência da aplicação de água na uniformidade da umidade no perfil do solo. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 24, n.5, p. 1553-1559, 2002.

SANTOS, R. A. et al. Uniformidade de distribuição de água em irrigação por gotejamento em sub-superfície instalado na cultura de pupunheiras (Bactris Gasipaes H.B.K.). In: **Anais...** XXXII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola Goiânia - GO, 2003. Cd-room.

SILVA, C. A.; SILVA, C. J. Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, n.8, dez. 2005.

WILSON, T.P.; ZOLDOSKE, D.F. **Evaluating sprinkler irrigation uniformity**. Fresno: Center for Irrigation Technology, 1997. 6p. (CATI Publication 970703). (<http://www.cati.csufresno.edu/cit/rese/97/970703> acesso em 06.07.2010).