



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
MESTRADO**

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA DISPONIBILIDADE DE
ÁGUA NO PERFIL DO SOLO APLICADA POR UM SISTEMA DE
IRRIGAÇÃO LOCALIZADA**

Wagner Walker de Albuquerque Alves

**Campina Grande –PB
Dezembro de 2001**

WAGNER WALKER DE ALBUQUERQUE ALVES
Engenheiro Agrônomo

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA
NO PERFIL DO SOLO APLICADA POR UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO
LOCALIZADA**

Dissertação apresentada ao curso de
Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola da Universidade Federal da
Paraíba, para obtenção do título
de "Magister Scientiae" (M.Sc.) Área de
concentração Eng. de Irrigação e
Drenagem

Orientadores: Dr. José Dantas Neto

Dr. José de Arimatea de Matos

Campina Grande –PB
Dezembro de 2001



A447v

Alves, Wagner Walker de Albuquerque

Variabilidade espacial e temporal da disponibilidade de água no perfil do solo aplicada por um sistema de irrigação localizada / Wagner Walker de Albuquerque Alves. - Campina Grande, 2001.

128 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia.

1. Irrigação 2. Variabilidade Espacial 3. Disponibilidade de Água 4. Dissertação I. Dantas Neto, José II. Matos, José de Arimatea III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB) IV. Título

CDU 631.67(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COPEAG - PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRADO

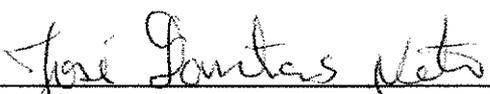
WAGNER WALKER DE ALBUQUERQUE ALVES

Título: "Variabilidade Espacial e Temporal da Disponibilidade de Água no Perfil
do Solo Aplicada por um Sistema de Irrigação Localizada".

Aprovado em 27/12/ 2001

COMISSÃO EXAMINADORA

PARECER



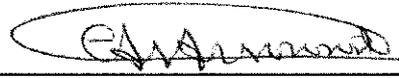
Dr. José Dantas Neto – Orientador

APROVADO



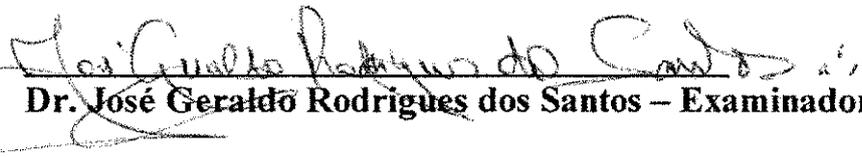
Dr. José de Arimatea de Matos – Orientador

APROVADO



Ph.D. Carlos Alberto Vieira de Azevedo - Examinador

APROVADO



Dr. José Geraldo Rodrigues dos Santos – Examinador

APROVADO

Campina Grande 27 de dezembro de 2001

Mais uma vez ao Senhor Jesus Cristo que me concede mais um sonho realizado, dando-me coragem, saúde, força de vontade para continuar essa etapa de minha formação.

Dedico

Aos meus pais Antônio Alves da Silva e Joelma Teresinha de Albuquerque Alves, pelo amor, tolerância, dedicação a cada dia, a minha gratidão eterna.

Aos meus irmãos José Alessandro de Albuquerque Alves, Sâmia, Émerson Charles, Katharinne pelos conselhos e ajuda.

A minha vó Maria de Lourdes de Albuquerque pela pessoa generosa e amável meu muito obrigado por tudo que a senhora fez por mim.

Aos meus tios Joselma Albuquerque, José Maria de Albuquerque, Josélia Albuquerque, Maria de Lourdes, Antônio Monteiro, Maria José, Rita, Severina Augusta de Albuquerque, pela satisfação de tê-los junto a mim.

Aos meus sobrinhos Pedro e Davi pela alegria da vinda ao nosso convívio.

Aos meus primos Antônio Carlos, Érica, Silvia, Quenininho, Émerson, Emília, Élvia, Leandro e Sara pela amizade e companheirismo.

A José Anchieta Júnior pelos conselhos, orientação e exemplo que me foram dados, Daniela, Isabele, Zuquinha, Edna e Maria de Jesus pela amizade.

Ao professor Dr. José Dantas Neto pelo apoio, amizade, compreensão.

Ofereço

Agradecimentos

Ao professor Dr. José Dantas Neto pela contribuição para a realização do trabalho.

Ao professor Dr José de Arimatea de Matos pela contribuição na parte técnica e revisão final.

Ao Dr. José Geraldo Rodrigues dos Santos pela colaboração essencial na revisão final do trabalho.

Ao professor Ph.D. Carlos Alberto Vieira de Azevedo pela colaboração e revisão final.

Aos técnicos agrícolas Felipe Neres de Sousa e Hiramirton Delfino pela ajuda, companhia.

Ao proprietário da fazenda, Ricardo Alexandre de Oliveira Lima, e os funcionários Sr. Geraldo e Jailton pela atenção e boa vontade prestada.

Aos doutorandos Roberto Pordeus e Paulo César Moura (PC) pela ajuda e amizade.

A Escola Agrotécnica Federal de Sousa (EAFS), através do pessoal do restaurante e ao professor Everaldo Mariano.

Aos professores do departamento: Hugo Orlando de Carvalho Guerra, José Helias da Cunha Metri, Pedro Dantas Fernandes, Hamilton Medeiros de Azevedo, Vera Lúcia Antunes de Lima, Marx Prestes.

A CAPES pela concessão da bolsa.

Aos funcionários do Laboratório de Irrigação e salinidade (Lis/DEAg/UFPB).

Aos funcionários, Sr. Geraldo, Neide, Rivanilda, Aparecida, Aldaniza.

Aos colegas do curso de Pós-graduação, pela convivência e amizade, Célio, Delfran, José Maria, Alexandre, Florício, Cláudia, Jonas Carlos, Juraci, Marcelo, Cardoso, João Peixoto, Ivana, Anamaria Duarte, Audenice, Euler, Marcos, Roberta e kuelson.

Ao diretor do DNOCS Eng. Agrônomo Arlindo Rodrigues dos Santos.

Aos que de uma forma ou de outra contribuíram para esse trabalho, Alexsandra Pereira de Lima com sua atenção, Fátima, Galego, Natália, Júnior, Dona Soledade, Leilane, Viviane, Sayonara, Tássia, Anuska, Graziela.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xvi
1. <u>INTRODUÇÃO</u>	18
2. <u>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u>	20
2.1. Importância da água para as plantas	20
2.2. Estresse Hídrico	21
2.3. Necessidades Hídricas das Culturas	23
2.3.1. Gravioleira	24
2.3.2. Goiabeira	24
2.3.3. Coqueiro	25
2.4. Sistema de Irrigação	26
2.4.1. Eficiência de irrigação	27
2.4.2. Avaliação de sistemas de irrigação localizada	28
2.5. Características de Emissores	30
2.5.1 Coeficiente de Variação de Fabricação (CVF)	30
2.5.2. Equação característica do emissor Ein Dor 861	31
2.5.3. Perfil de distribuição da água e raio efetivo	32
2.5.4. Uniformidade de distribuição do emissor	32
2.6. Redistribuição de Água no Solo	33
2.6.1 Uniformidade de distribuição de água no solo	34
2.6.2 Variabilidade espacial das propriedades físico-hídricas do solo	36
2.7. Geoestatística	37
2.7.1. Dependência espacial	39
2.7.2. Hipótese da estacionariedade	40
2.7.3. Semivariograma	41
3. <u>MATERIAIS E MÉTODOS</u>	44
3.1. Caracterização da Área Experimental	44
3.2. Descrição do Sistema de Aplicação de Água	44
3.3. Características Físico-Hídricas do Solo	46

3.4. Instalação do Experimento e Procedimento Experimental	47
3.5. Estimativa da Umidade do Solo	48
3.6. Sonda de Nêutrons	49
3.7. Avaliação Hidráulica das Subunidades	50
3.8. Determinação em Laboratório das Características Hidráulicas dos Emissores	56
3.8.1. Coeficiente de fabricação e de uso	56
3.8.2. Equação característica	57
3.8.3. Perfil de distribuição	57
3.8.4. Uniformidade de aplicação	58
3.9. Análise Estatística	60
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
4.1. Características Hidráulicas do Microaspersor Ein Dor 861	62
4.1.1. Coeficiente de variação de fabricação do microaspersor novo e usado	62
4.1.2. Curva vazão versus pressão microaspersor Ein Dor 861 novo e usado	64
4.1.3. Perfil de distribuição de água do microaspersores novos e usados	65
4.1.4. Coeficiente de variação de aplicação microaspersores novos e usados	66
4.2. Desempenho do Sistema nas Subunidades Avaliadas	68
4.2.1. Subunidade dois (gravioleira) com microaspersores novos e usados	68
4.2.2. Desempenho da subunidade cinco (goiabeira)	71
4.2.3. Desempenho da subunidade dez (coqueiro)	72
4.3. Parâmetros Estatísticos e Geoestatísticos para a Subunidade Dois	74
4.3.1. Vazão e pressão com microaspersores Ein Dor 861 novos e usados	74
4.3.2. Mapa de isolinhas	79
4.3.3. Disponibilidade de água no solo na subunidade dois	82
4.3.4. Análise da estatística espacial	87
4.3.5. Mapas de isolinha da disponibilidade de água no solo antes e depois das irrigações na subunidade dois	91
4.4. Parâmetros Estatísticos e Geoestatísticos para a Subunidades Cinco	95
4.4.1 Subunidade cinco cultivada com goiabeira	95
4.4.2. Mapa de isolinha da disponibilidade de água no solo (subunidade cinco)	101
4.5. Subunidade Dez	104
4.5.1 Parâmetros estatísticos	104

4.5.2 Mapa de isolinhas subunidade dez (coqueiro)	109
4.6. Relação entre o Desempenho do Sistema e os Parâmetros da Estatística Espacial	112
5. <u>CONCLUSÕES</u>	113
6. <u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	115
7. <u>ANEXOS</u>	124

LISTA DE FIGURAS

Figura-1	Sistema hidráulico de irrigação da fazenda mostrando unidades 2, 5 e 10, cultivada com gravioleira, goiabeira e coqueiro respectivamente, onde foi montado o experimento.....	45
Figura-2	Microaspersor Ein Dor modelo 861, usado na irrigação localizada do experimento e testado em laboratório.....	46
Figura-3	Subunidade cinco ampliada, esquema dos pontos de coletas de dados....	49
Figura-4	Esquema da sonda de nêutrons com o tubo de acesso.....	50
Figura-5	Gráfico da vazão em função da pressão para o microaspersores novos e usados.....	64
Figura-6	Semiperfil de precipitação do microaspersor novo e usado, submetido em laboratório a uma pressão de 150 kPa.....	66
Figura-7	Histograma da vazão dos microaspersores novos e usados em $L h^{-1}$, na subunidade dois cultivada com gravioleira.....	75
Figura-8	Histograma da pressão, com os microaspersores novos e usados na subunidade dois, cultivada com gravioleira.....	76
Figura-9	Semivariograma da vazão dos microaspersores novos e usados em $L h^{-1}$ na subunidade dois, cultivada com gravioleira.....	78
Figura-10	Semivariograma da pressão com os microaspersores novos e usados na subunidade dois, cultivada com gravioleira.....	79
Figura-11	Mapa de isolinhas da vazão em $L h^{-1}$ dos microaspersores novos e usados na subunidade dois cultivada com gravioleira.....	80
Figura-12	Mapa de isolinhas da pressão kPa com microaspersores novos e usado na subunidade dois, cultivada com gravioleira.....	81
Figura-13	Histograma da umidade do solo na profundidade de 0-20 cm antes e depois das irrigações, subunidade dois, cultivada com gravioleira.....	84
Figura-14	Histograma da umidade do solo, na profundidade de 20-40 cm, antes e depois da irrigação na subunidade dois, cultivada com gravioleira.....	85
Figura-15	Histograma da umidade do solo na profundidade de 40-60 cm, antes e depois da irrigação na subunidade dois, cultivada com gravioleira.....	86
Figura-16	Semivariograma da umidade do solo na profundidade de 0-20 cm, antes e depois das irrigações.....	88

Figura-17	Semivariograma da umidade do solo, na profundidade do solo de 20-40 cm, depois da irrigação na subunidade dois, cultivada com gravioleira...	89
Figura-18	Semivariograma da disponibilidade de água do solo, na profundidade do solo de 40-60 cm, antes e depois da irrigação na subunidade dois, cultivada com gravioleira.....	90
Figura-19	Mapa de isolinhas para as lâminas de água no solo na profundidade de 0-20 cm antes e depois da irrigação na subunidade dois.....	92
Figura-20	Mapa de isolinhas para as lâminas de água no solo na profundidade de 20-40 cm, antes e depois da irrigação na subunidade dois cultivada com gravioleira.....	93
Figura-21	Mapa de isolinhas para as lâminas de água no solo na profundidade de 40-60 cm, antes e depois das irrigações na subunidade dois, cultivada com gravioleira.....	94
Figura-22	Histograma da lâmina de água no na profundidade de 0-20 cm depois da irrigação na subunidade cinco, cultivada com goiabeira.....	96
Figura-23	Histograma da vazão e da pressão, na subunidade cinco, cultivada com goiabeira.....	98
Figura-24	Semivariograma das lâminas no solo na profundidade de 0-20 cm, antes e depois da irrigação, subunidade cinco, cultivada com goiabeira.....	100
Figura-25	Semivariograma da vazão e pressão nos 28 microaspersores da subunidade cinco.....	101
Figura-26	Mapa de isolinhas para as lâminas de água no solo na profundidade de 0-20cm da subunidade cinco antes e depois das irrigações.....	102
Figura-27	Mapa de isolinhas da vazão e da pressão nos 28 microaspersores distribuídos na malha descrita na subunidade cinco, cultivada com goiabeira.....	103
Figura-28	Histograma das lâminas de água no solo na profundidade de 0-20 cm antes e depois da irrigação na subunidade dez, cultivada com coqueiro..	105
Figura-29	Histograma da vazão e pressão, na subunidade dez, cultivada com coqueiro.....	106
Figura-30	Semivariograma das lâminas de água no solo na profundidade de 0-20 cm, antes e depois da irrigação, subunidade dez, cultivada com coqueiro.....	108

Figura-31	Semivariograma da vazão e da pressão em 25 pontos da subunidade dez.....	109
Figura-32	Mapa de isolinhas para as lâminas de água no solo na profundidade de 0-20 cm da subunidade dez, antes e depois da irrigação.....	110
Figura-33	Mapa de isolinhas da vazão e da pressão nos 25 pontos distribuídos na malha dentro da subunidade dez, cultivada com coqueiro.....	111

LISTA DE TABELAS

Tabela-1	Resultados das análises físicas/hídricas dos solos das unidades de irrigação.....	47
Tabela-2	Limites de confiança, \pm %, para uma probabilidade de 95%.....	55
Tabela-3	Grau de aceitabilidade e uniformidade estatística e de emissão.....	55
Tabela-4	Fator de relação conforme o número de anéis necessários para o teste (Armoni, 1986).....	59
Tabela-5	Vazão dos microaspersores Ein Dor 861 novos e usados, submetidos a uma pressão de 150 kPa em laboratório, apresentando a média, desvio padrão, coeficiente de variação de fabricação e de uso.....	63
Tabela-6	Valores médios das precipitações por anel, índice de aplicação, soma dos quadrados e coeficiente de variação do microaspersor novos e usados.....	67
Tabela-7	Valores da avaliação da subunidade dois em condições reais de uso com 28 microaspersores novos e usados.....	70
Tabela-8	Valores da avaliação da subunidade cinco em condições reais de uso, com 28 microaspersores avaliados.....	72
Tabela-9	Valores da avaliação da subunidade dez em condições reais de uso, com 25 microaspersores avaliados.....	73
Tabela-10	Valores estimados para as principais características das variáveis estudadas e teste (KS) para os valores de vazão e pressão do sistema hidráulico da subunidade dois.....	75
Tabela-11	Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados aos semiovariogramas para os valores de vazão e pressão na subunidade dois com microaspersores novos e com dois anos de uso.....	77
Tabela-12	Valores estimados para as principais características das variáveis estudadas e teste (KS) na camada 0-20, 20-40 e 40-60 cm do solo da subunidade dois, cultivada com gravioleira.....	83
Tabela-13	Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas para os valores de umidade do solo antes e depois da irrigação nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm na subunidade dois.....	87

Tabela-14	Valores estimados para as principais características das variáveis estudadas e teste (KS) na camada 0-20, 20-40 e 40-60 cm do solo da subunidade cinco cultivada com goiabeira.....	95
Tabela-15	Parâmetros da estatística clássica com os valores de vazão e pressão para as subunidades cinco e dez.....	97
Tabela-16	Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas, para os valores de lâmina de água no solo antes e depois da irrigação nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm e a vazão pressão do sistema.....	99
Tabela-17	Valores estimados para as principais características das variáveis estudadas e teste (KS) na camada 0-20, 20-40 e 40-60 cm do solo da subunidade dez cultivada com coqueiro.....	104
Tabela-18	Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas para os valores de lâminas de água no solo antes e depois da irrigação nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, vazão pressão do sistema.....	107
Tabela-19	Relação entre o CUE e os parâmetros da estatística espacial no sistema de irrigação.....	112

ALVES, W. W. de A.. Variabilidade Espacial e temporal da Água no Perfil do Solo, Aplicada por um Sistema de Irrigação localizada. 2001. 100p (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola). Área de concentração: Irrigação e Drenagem CCT/ UFPB/ Campus II, Campina Grande - PB

RESUMO

O presente trabalho teve o objetivo de estudar a variabilidade espacial da água no perfil do solo aplicada por um sistema de irrigação tipo microaspersão, localizado numa propriedade no sertão paraibano, para isso foi analisada três unidades do projeto composto por doze unidades cultivadas com *Cocos nucifera L.*, *Annona muricata L.*, e *Psidium guajava L.* De início foi feita uma avaliação superficial das subunidades de irrigação para determinação dos coeficientes de uniformidade de irrigação, coeficiente de uniformidade do sistema, eficiência de aplicação e outros, também foi determinada em laboratório às características hidráulicas do emissor EIN DOR 861 novo e com três anos de uso utilizado no projeto. Logo após foi feita uma avaliação subsuperficial, as leituras de umidade no perfil do solo foram feitas com uma sonda de nêutrons, onde foram instalados 81 tubos de acesso de PVC, formando duas malhas de 28 tubos e uma de 25 tubos. Os dados de vazão, pressão e da umidade no perfil do solo de 0-20, 20-40 e 40-60cm antes e depois das irrigações em cada ponto de emissão, monitorados durante quatro meses foram interpretados usando a estatística casual e a espacial (geoestatística), confeccionando mapas de isolinhas dos dados coletados nas unidades de irrigação avaliadas, onde foi possível constatar que a vazão do emissor após três anos de uso diminuiu em 5,3% em relação ao microaspersor novo; o coeficiente de variação de fabricação do microaspersor é considerado como excelente, segundo normas da ASAE, e após três anos de uso passou a ser de média qualidade; o coeficiente de variação de aplicação aumentou nos microaspersores usados; tanto nos microaspersores novos como nos usados, a relação pressão versus vazão, encontrada em laboratório é descrita por modelos potenciais com coeficiente de descarga caracterizado como de regime de fluxo turbulento. Já em campo os valores desses coeficientes de descarga são maiores, classificados como regime de fluxo semiturbulento; o raio efetivo do emissor diminuiu após os três anos de uso; o coeficiente de uniformidade de irrigação aumentou quando se trocou em campo os emissores usados pelos novos, assim como o coeficiente de uniformidade do sistema e a eficiência de aplicação; em campo ocorreram grandes variações de pressão e de vazão conseqüentemente só foi encontrado coeficiente de uniformidade de irrigação e coeficiente de uniformidade estatístico acima de 80% só na subunidade dois; Na subunidade dois tanto a pressão como a

vazão aumentou quando se trocou os emissores usados por novos. Para todas as variáveis analisadas houve uma distribuição normal dos dados; o coeficiente de variação de disponibilidade de água diminuiu após as irrigações; no perfil do solo apenas na profundidade de 40-60 cm o solo se encontrava com a disponibilidade de água acima do nível de capacidade de campo; de um modo geral os mapas de isolinhas mostraram que a maior disponibilidade de água se encontra nas linhas laterais localizadas no início da linha de derivação; os modelos matemáticos ajustados as semivariância da disponibilidade de água no perfil do solo, na subunidade dois, na sua maioria foram linear. Sugerindo que quando a distribuição dos dados é normal existe uma tendência desse modelo vir a ocorrer; na subunidade dois, no perfil do solo, a distância máxima (alcance) que os dados estimados de disponibilidade de água se correlaciona espacialmente foi constante com exceção na camada 20-40 cm depois da irrigação; quando se trocou o emissor usado por novos, a variância mínima (Efeito Pepita) diminuiu entre os pares estimados com uma forte dependência espacial tanto para emissores novos como para usados; nas subunidades cinco e dez, a dependência espacial estimada pelos modelos matemáticos ajustados as semivariâncias foi forte; com o aumento do coeficiente estatístico das vazões houve uma tendência para o efeito pepita e o patamar diminuir, enquanto o alcance e a dependência espacial aumentam.

ALVES, W. W. de A., Space and temporary variability of the Water in the Profile of the Soil, Applied for an overhead irrigation located. 2001. 100p (Dissertation of Master's degree in Agricultural Engineering). Concentration area: Irrigation and Drenagem CCT/ UFPB/ Campus II, Campina Grande – PB

ABSTRACT

The present work had the objective of studying the space variability of the water in the profile of the soil applied by an overhead irrigation type microsprinkler, located in a property in the arid, for that it was analyzed three units of the project composed by twelve units cultivated with *Cocos nucifera* L tree *Annona muricata* L. and *Psidium guajava* L. At the beginning it was made a superficial evaluation of the irrigation subunit for determination of the coefficients of irrigation uniformity, coefficient of uniformity of the system, application efficiency and other, it was also certain in laboratory to the characteristics hydraulics of the originator EIN PAIN 861 new and with three years of use used in the project. Therefore after it was made an evaluation subsurface, the humidity readings in the profile of the soil were made with a neutrons probe, where 81 tubes of access of PVC were installed, forming two meshes of 28 tubes and one of 25 tubes. The outflow data, pressure and of the humidity in the profile of the soil of 0-20, 20-40 and 40-60cm before and after the irrigations in each emission point, monitored for four months they were interpreted using the casual statistics and the space (geoestatistics), making maps of the data collected in the units of irrigation appraised, where it was possible to verify that the outflow of the originator after three years of use decreased in 5,3% in relation to the new microsprinkler; the coefficient of variation of production of the microsprinkler is considered as excellent, according to norms of ASAE, and after three years of use it became of average quality; the coefficient of application variation increased in the used microsprinkler; so much in the new microsprinkler as used us, the relationship pressure versus outflow, found at laboratory it is described by potential models with discharge coefficient characterized as of regime of turbulent flow. Already in field the values of those discharge coefficients are larger, classified as regime of semi-turbulent flow; the effective ray of the originator decreases after the three years of use; the coefficient of irrigation uniformity increased when it was changed in field the originators used by the new ones, as well as the coefficient of uniformity of the system and the application efficiency; at field level they happened great pressure variations and of outflow consequently was found

coefficient of irrigation uniformity and statistical uniformity coefficient only above 80% in the subunit two; In the subunit two as much the pressure as the outflow it increased when it was changed the originators used for new. For all the analyzed variables there was a normal distribution of the data; the coefficient of variation of readiness of water decreased after the irrigations; in the profile of the soil just in the depth of 40-60 cm the soil was with the readiness of water above the level of field capacity; in a general way the maps showed that the largest readiness of water is in the located lateral lines in the beginning of the derivation line; the adjusted mathematical models the semivariance of the readiness of water in the profile of the soil, in the subunit two, in your majority were lineal. Suggesting that when the distribution of the data is normal a tendency of that model it exists to come to happen; in the subunit two, in the profile of the soil, the maximum distance (it reaches) that the dear data of readiness of water space is correlated it was constant with exception in the layer 20-40 cm after the irrigation; when the originator was changed used for new, the minimum variance (nugget effect) it decreased among the equal ones dear with a strong space dependence so much for new originators as to have used; in the subunit five and ten, the dear space dependence for the adjusted mathematical models the semivariâncias was strong; with the increase of the statistical coefficient of the outflow there was a tendency for the nugget effect and the landing to decrease, while the reach and the space dependence increase.

1. INTRODUÇÃO

A fruticultura irrigada no Nordeste brasileiro desponta, hoje, como uma excelente atividade de mercado. Basicamente, essa realidade se deve, em primeiro lugar, à adaptação de inúmeras fruteiras às condições de clima e solo da região Nordeste, e depois, principalmente ao incremento das áreas irrigadas, públicas ou privadas.

A prática da irrigação, em muitas situações, é a única maneira de garantir a produção agrícola com segurança, principalmente em regiões tropicais de clima quente e seco, como é o caso do Nordeste brasileiro, onde ocorre déficit hídrico para as plantas devido a alta taxa de evapotranspiração, que termina por exceder a taxa de precipitação durante a maior parte do ano (Cheyi et al., 1997).

A uniformidade da irrigação tem efeito no rendimento das culturas, sendo considerada um dos fatores mais importantes no dimensionamento e na operação de sistemas de irrigação. Baixos valores de uniformidade, em geral, resultando em maior consumo de água e energia, maior perda de nutrientes por deflúvio superficial e percolação profunda e, ao mesmo tempo, podem apresentar plantas com déficits hídricos, em significativa proporção da área irrigada (Scaloppi & Dias, 1996).

As causas da desuniformidade de aplicação nos sistemas localizados são as seguintes: diferenças de pressão que se produzem na rede, devido às perdas de carga e à irregularidade da topografia do terreno; insatisfatória uniformidade de fabricação dos emissores, devido ao inadequado controle de qualidade; número de emissores por planta; variação das características hidráulicas do emissor, ao longo do tempo, devido a possíveis obstruções e/ou envelhecimento; temperatura; efeito do vento, e variação de fabricação dos reguladores de pressão quando existirem Abreu et al. (1987).

Um dos principais parâmetros em avaliação do desempenho de um sistema de irrigação por aspersão e microaspersão é a uniformidade de distribuição de água. No entanto, na maioria das vezes, as avaliações têm-se preocupado em verificar a uniformidade de aplicação de água pelo sistema apenas na superfície do solo, assumindo-se que esta representa a uniformidade de distribuição da água infiltrada, o que implica em levar em conta apenas os fluxos unidimensionais descendente, ignorando, assim, toda a complexidade do movimento de água no perfil do solo.

Reichardt (1996) afirma que os estudos sobre o comportamento da água no sistema solo-planta, precisa-se assumir observações e considerações sobre a variabilidade espacial e temporal das condições de campo. A representatividade dos dados obtidos em experimentos tem apresentado dificuldades nas diversas áreas da ciência, devido á variabilidade espacial. Quando se trata da ciência do solo, as dificuldades tornam-se maiores, porque, sendo o solo resultante de uma série de fatores pedogenéticos o produto final é bastante heterogêneo com relação às características e propriedades físico-hídricas do mesmo.

Em agricultura irrigada, os parâmetros envolvidos, sejam relativos à água, ao solo, à planta ou à atmosfera, exibem um comportamento variável no espaço e no tempo, requerendo uma boa análise estatística para interpretação dos dados. Uma análise exploratória adequada dos dados constitui o ponto de partida para observar o comportamento das variáveis de interesse, o que pode ser feito por meio de técnicas estatísticas descritivas gerais e espaciais. Esta análise servirá de base para orientar na decisão de se assumir algum tipo de estacionaridade dos dados, o que é de fundamental importância nas análises geoestatísticas (Queiroz et al. 1997).

O objetivo principal desta pesquisa foi estudar a variabilidade espacial e temporal da água ao longo do perfil do solo, aplicada por um sistema de irrigação localizada, tipo microaspersão numa área irrigada na região de Sousa-PB. Especificamente estudaram-se as características hidráulicas do emissor, a uniformidade de distribuição de água e a eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação, em três unidades cultivadas com coqueiro anão, graviola e goiaba.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Importância da Água para as Plantas

De todas as substâncias absorvidas pelas plantas, a água é obviamente a que é necessária em maior quantidade. As moléculas de água são elementos fundamentais no metabolismo das plantas, integram os seres vivos e, em nível ecológico, representam uma força importantíssima em configurar padrões climáticos. Portanto, a água é essencial para a vida das plantas, tanto no sentido bioquímico como biofísico e sua influência é interna e ambiental (Benincasa, 1984).

A água pode ser o principal constituinte das células vegetais, podendo atingir até 95% do peso total (Sutcliffe, 1980), sendo um fator vital na produção das plantas, participando de todos os fenômenos físicos, químicos e biológicos essenciais ao seu desenvolvimento.

A água atua também como veículo de transporte de nutrientes minerais e produtos orgânicos da fotossíntese, absorvidos no solo e conduzidos para as plantas, através da contínua demanda evapotranspirativa, com destino à atmosfera (Reichardt, 1993).

A maior parte da água absorvida por uma planta é perdida na forma de vapor pela superfície das folhas, processo este conhecido como transpiração. Plantas de milho, por exemplo, transpiram mais de 98% do total da água que absorvem. Do restante, a maior parte fica retida nos tecidos vegetais e somente uma porção muito pequena ($\cong 0,2\%$) é utilizada na fotossíntese (Miller, citado por Sutcliffe, 1980). Esse fluxo de água é, no entanto, necessário ao desenvolvimento vegetal (Reichardt, 1993).

A água sendo o composto mais ambulante na face da terra e constituinte de toda a matéria viva possui algumas características próprias que favorecem a manifestação de fenômenos físicos, químicos e biológicos, vitais ao desenvolvimento das plantas (Sutcliffe, 1980).

2.2. Estresse Hídrico

Segundo Jones & Jones (1989), estresse é qualquer tipo de influência negativa, de origem biótica ou não, que possa afetar o desenvolvimento normal do potencial genético da planta.

Levitt (1980) diz que estresse hídrico pode ser compreendido tanto como a falta quanto como excesso de água para o vegetal. As fases mais sensíveis a deficiência de água na cultura do milho, em ordem decrescente, são: florescimento, enchimento de grãos e desenvolvimento vegetativo (Museck & Duser, 1986). O estresse hídrico afeta uma infinidade de processos no organismo vegetal, do metabolismo à manutenção da turgescência (Hsiao, 1973; Berlin et al., 1982).

Begg & Turner, (1976) afirmam que déficit hídrico é, sozinho, o mais importante fator limitante na produção agrícola. Turner (1988) o considera não o fator principal, mas um dos que causa maiores decréscimos quanto a produção de grandes culturas e de pastagens.

A deficiência hídrica traz efeitos deletérios tanto ao crescimento quanto ao desenvolvimento vegetal (Santos & Carlesso, 1998). Apesar disso, há relatos que afirmam haver, em certas culturas, efeitos benéficos na produção conseguidos pela aplicação controlada de déficits brandos ou em determinadas fases do desenvolvimento vegetal (Guinn & Mauney, 1984; Turner, 1988).

Quanto à severidade, Hsiao (1973) considera que um estresse brando corresponderia a um decréscimo no potencial hídrico (ψ) da planta de poucos bars ou em até 10% no conteúdo relativo de água (CRA) em relação a plantas bem irrigadas; no estresse moderado, o ψ baixaria mais que uns poucos bars, porém menos que 15 bars e o CRA diminuiria em mais de 10% e menos de 20%; o estresse severo ocorreria com diminuição de 15 bars no ψ ou de 20% no CRA.

Para Hsiao (1973), o estresse hídrico em plantas reduz, entre outros, o crescimento, a expansão foliar, a síntese de parede celular e o crescimento celular. Há algum tempo é conhecida a importância da manutenção do potencial de turgor para que haja continuidade no crescimento vegetal, expansão e divisão celular e fotossíntese e do estado hídrico favorável no crescimento das células vegetais (Acevedo et al., 1971; Petry, 1991).

Dentre os mais diversos processos de uma planta, o crescimento é considerado um dos mais sensíveis ao déficit hídrico (Acevedo et al., 1979), sendo a expansão celular mais sensível que a divisão celular (Hsiao, 1973).

Levitti (1980) afirma ser incerto se o potencial hídrico ideal para o crescimento é zero ou se poderia ser algum valor abaixo disto.

Singh & Srivastava (1974) consideram que o ideal seria que o solo estivesse com alto potencial hídrico, entretanto, Ben Haj Solah & Tardieu (1996), trabalhando com milho, demonstram que uma alta demanda evaporativa pode reduzir a taxa de crescimento foliar daquela cultura, mesmo quando as plantas são bem irrigadas.

Acevedo et al. (1971) mostram conclusivamente que a alongação foliar do milho tem uma resposta imediata às mudanças no estado hídrico da planta, havendo diminuição no crescimento foliar com um leve decréscimo no (ψ) da folha.

Para Santos & Carlesso (1998), a área foliar determina a quantidade de água usada pela planta, podendo o potencial produtivo desta ser compreendido pela diminuição da expansão das folhas causada pelo déficit hídrico. Ainda, segundo esses autores não há consenso quanto à causa da diminuição da área foliar total, havendo os que afirmam ocorrer decréscimos na área individual de cada folha (Beloygue et al., 1996) e aqueles que dizem haver, além disso, diminuição no número de folhas (Lawlor et al., 1981), embora Beloygue et al. (1996) afirmem que o número de folhas é geneticamente determinado.

Alves et al. (1999), estudando em casa de vegetação o efeito sobre a cultura do algodoeiro herbáceo de níveis de água disponível (10, 25 e 40%) em três tipos de solo, com teores de argila de 122,5; 285 e 337 g.kg⁻¹ de solo, afirmam que o peso seco de raiz cresceu com teor de água disponível no solo, numa taxa de 0,04 g de raiz por unidade de água disponível no solo e que o maior peso de raiz (4,65 g) foi atingido com Terra Roxa contendo 122,5g de argila.kg⁻¹ de solo.

2.3. Necessidades Hídricas das Culturas

A demanda ou consumo de água pelas plantas, em condições de desenvolvimento normal, correspondente a evapotranspiração da cultura ou uso consultivo (Grassi, 1968), é um processo dinâmico e peculiar, definido como água de constituição mais as perdas que ocorrem na forma de vapor através da superfície do solo (evaporação) e da superfície foliar (transpiração) e apresenta variações locais e espaciais em função das condições edáficas e do estágio de desenvolvimento das plantas (Breirsdorf & Mota, 1971).

A irrigação localizada é realizada tendo-se como meta a aplicação de água apenas no volume do solo explorado pelas raízes, para que as plantas obtenham as quantidades necessárias de água e nutrientes que necessitam. Isto acarreta uma redução do volume de solo irrigado e, conseqüentemente, uma redução do armazenamento de água, obrigando a aplicações freqüentes de pequenas quantidades de água para satisfazer as necessidades hídricas dos cultivos (Cabello, 1986).

Apesar das relações água-solo-planta variarem bastante de situação para situação, todas as culturas são mais sensíveis ao potencial da água no solo do que quantidades de água presentes (umidade no solo). Isto acontece porque, para um mesmo potencial mátrico, diferentes solos possuem diferentes umidades. Por isso, os critérios de quando irrigar, baseiam-se em potenciais e não em umidades (Reichardt, 1990).

Segundo Reichardt (1990), os potenciais ótimos para maioria das culturas são maiores que 80 kPa, o que faz com que o tensiômetro torne-se um equipamento bastante útil no controle da irrigação. Na área irrigada, deve-se medir o potencial mátrico da água no solo diretamente pelo tensiômetro ou indiretamente pela coleta de amostras com trado para determinação da umidade e estimativa do potencial mátrico pela curva de retenção de água no referido solo. Conforme o autor, verifica-se que as medidas devem ser feitas em pelo menos 3 a quatro pontos representativos da área e no mínimo em duas profundidades, uma na zona de máxima atividade radicular e outra nas proximidades da parte inferior da zona radicular.

2.3.1 Gravioleira

A gravioleira (*Annona muricata* L.), dentre as espécies das anonáceas, é uma frutífera tropical com potencialidade expressiva para a região Nordeste, especificamente para o estado da Paraíba, fundamentalmente na zona semi-árida onde haja possibilidades de cultivo irrigado.

Apesar de algumas informações de que a graviola é tolerante a deficiências hídricas ao solo, seu cultivo com finalidade econômica é dependente da irrigação, qualidade da muda e condução do cultivo em termos de tratos culturais, entomológicos e fitossanitários, da adubação e estado nutricional das plantas.

No período de frutificação, o suprimento de água deve ser por sulco, microbacias ou por aspersão desde que não haja molhamento dos frutos (Manica & Kirst, 1994).

Durante a fase de estabelecimento, a gravioleira exige em média de 15 a 20 litros de água semanalmente, e nos períodos de estiagem o suprimento hídrico deve ser de 4 a 6 dias. No pomar, que já iniciou a frutificação a aplicação de água aumenta em função da maior exigência de plantas neste período (Piza Junior, 1988).

A necessidade de água das anonáceas, especialmente a graviola, é função do desenvolvimento fenológico, e da época do ano e do regime pluviométrico da região. Desta forma, o uso eficiente da água de irrigação exerce efeitos expressivos sobre os incrementos de produtividade, redução dos custos de produção, conservação do solo e perdas de nutrientes por lixiviação (SEBRAE, 1994).

A lâmina de água a ser aplicada à gravioleira, conforme Santos (1999) é de 6,2 mm.dia⁻¹. Isto equivale ao fornecimento semanal de 44 litros de água numa área ou micro bacia de 1m². Este volume, no primeiro ano de estabelecimento da cultura, deve ser sensivelmente reduzido, com a proteção do solo, pela cobertura morta com restos de cultura.

2.3.2. Goiabeira

Dentre as fruteiras que estão sendo comercialmente exploradas no Nordeste e, de modo especial, nos projetos irrigados, a cultura da goiaba (*Psidium guajava* L.) se reveste de

especial importância, tanto real como potencial, uma vez que a goiaba, a banana e o tomate são as três principais matérias-primas utilizadas pela indústria de processamento (Gonzaga Neto, 1994).

A goiabeira é uma planta que responde bem a irrigação. Além de apresentar excelente produtividade, o goiabal irrigado pode produzir até duas safras por ano. Esta é de fato uma grande vantagem, pois com o manejo adequado da popa é possível direcionar a safra para períodos economicamente desejáveis.

A goiabeira adapta-se bem aos métodos de irrigação por superfície e localizada que não interferem na copa da planta. Dentre os métodos de superfície, pode se destacar o sistema de irrigação por sulcos em que se utilizam sulcos convencionais ou sulcos curtos, fechados e nivelados. Nesses sistemas de irrigação, a derivação da água pode ser feita por sifão ou tubos janelados. Na irrigação localizada, os sistemas de irrigação por gotejamento e microaspersão se destacam. Na irrigação localizada, por sua vez, o nível de água disponível no solo não deve ser inferior a 80%.

2.3.3. Coqueiro

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) requer uma precipitação pluvial anual em torno de 1500 mm uniformemente distribuídos. Longos períodos de seca são prejudiciais à planta, que desenvolve melhor em solos de textura média, com boas condições de drenagem. O coqueiro pode sobreviver a longos períodos de estresse hídrico, entretanto, nessas condições sua produtividade é severamente afetada. Os primeiros sintomas de estresse são manifestados pela queda prematura de frutos e pela abscisão das folhas mais velhas. Qualquer adição de água nessas condições será refletida diretamente na melhoria da aparência e da produtividade da planta (Ohler, 1984).

O suprimento adequado de água na cultura do coqueiro promove aumento de produtividade e a constância de produção. Em cultivo irrigado de uma plantação industrial em Benin (África), em solo arenoso, Costa (1985) registrou uma produção de 120 frutos planta⁻¹ ano⁻¹. Para esse autor, a prática da irrigação no coqueiro torna-se economicamente viável em cinco anos de cultivo. O uso de tecnologia de irrigação é indispensável à exploração comercial da cultura do coqueiro no Brasil, considerando principalmente a questão da

irregularidade das chuvas. No Brasil, de modo geral, tem-se utilizado, no cálculo da quantidade de água a ser, aplicada na cultura do coqueiro, o coeficiente de cultivo (K_c) de 0,8 para plantas adultas.

Estudos em andamento em Paraipaba-CE indicaram, em plantas jovens de coqueiro anão irrigados por microaspersão, um consumo de água variando de 8 a 12 litros planta⁻¹ dia⁻¹ nos primeiros seis meses após o plantio, de 12 a 28 litros planta⁻¹ dia⁻¹ dos sete aos 12 meses, e de 30 a 55 litros planta⁻¹ dia⁻¹ dos 13 aos 18 meses de idade (Miranda et al., 1998). Para Thampan (1991) a quantidade de água aplicada para os cinco anos após o plantio seria de 120 litros dia⁻¹ planta⁻¹.

2.4. Sistema de Irrigação

A crescente demanda por matéria-prima e alimento, produzidos pela agricultura, torna o uso da irrigação imperativo em todo o mundo (Szaboles & Darab, 1979). A evolução mundial das áreas irrigadas vem tendo o seguinte comportamento: oito milhões de hectares em 1880, 48 milhões de ha em 1900, 94 milhões de ha em 1950, 198 milhões de ha em 1970 e cerca de 220 milhões de ha em 1990 (Jensen, 1990). Cerca de $\frac{3}{4}$ das áreas irrigadas situa-se em países em desenvolvimento, respondendo os cereais por 60% do total das culturas exploradas. As áreas irrigadas representam 15 a 17% das terras cultivadas e respondem por 36% da produção mundial de alimentos (Rhoades et al., 1992).

A irrigação por microaspersão e por gotejamento constituem os principais sistemas de irrigação localizada e por serem predominantemente fixos, apresentam custos de implantação superiores àqueles que têm partes móveis. O sistema microaspersão é caracterizado como tendo: pressão operacional menor que 207 kPa, taxa de descarga de 20 a 100 l.h⁻¹ e diâmetro de alcance que varia de 1,5 a 10 m. (Boman 1989).

Keller & Bliesner (1990) comentam que é recomendável, após a instalação de um sistema de irrigação, procederem-se testes de campo no intuito de se verificar a adequação da irrigação que foi projetada, para recomendar, caso haja necessidade, um ajuste na operação e, principalmente no manejo. Esses procedimentos visam maximizar a eficiência do sistema e viabilizá-lo economicamente.

2.4.1. Eficiência de Irrigação

Para Bernardo (1995) a eficiência de aplicação é a estimativa da percentagem do total de água aplicada na irrigação que é considerada útil às plantas. Em geral, a baixa eficiência nos projetos de irrigação está relacionada com a desuniformidade de distribuição de água. Segundo Frizzone (1992), a eficiência de aplicação incorpora a eficiência de distribuição e a eficiência em potencial de aplicação, dando idéia das perdas de água por percolação e evaporação. Dentre os sistemas de irrigação, a localizada apresenta maiores valores de eficiência de aplicação, da ordem de 80 a 90%, bem superiores às faixas de 60 a 80%, e 50 a 70%, dos sistemas por aspersão e superfície, respectivamente (Keller & Bliesner, 1990).

O conceito de uniformidade de distribuição foi introduzido por Christiansen (1942), referindo-se à variabilidade da lâmina de água, aplicada ao longo da extensão da superfície do terreno irrigado. A uniformidade de distribuição de água, em qualquer sistema de irrigação, apresenta importantes conseqüências na economia do projeto.

Segundo Boman (1989), a uniformidade, é um indicador da igualdade (ou desigualdade) das taxas de aplicação dentro do diâmetro padrão de um emissor. Uniformidade alta é importante para irrigação em terras arenosas, onde a redistribuição lateral da água é limitada. Excessos de aplicação de água nesses solos resultam freqüentemente em lâmina percolada e lixiviação de nutrientes para fora da zona radicular. A uniformidade elevada pode ser especialmente desejável para fertirrigação ou quimirrigação, visto que as aplicações de nutrientes ou químicas, não serão mais uniformes do que a distribuição de água.

A baixa uniformidade de distribuição de água pode ser atribuída a muitas causas, para efeito de avaliação de sistemas já instalados, Bralts & Kesner (1983) agrupam as causas em duas classes: a) causas hidráulicas - todas aquelas que afetam a pressão de operação dos emissores, podendo ser oriundas de um projeto hidráulicamente mal concebido, da falta de reguladores de pressão ou desajuste desses reguladores, elevada perda de carga, elevado desnível geométrico etc; b) baixa uniformidade dos emissores - decorrente do alto coeficiente de variação de fabricação e/ ou da obstrução dos emissores.

Matos et al. (1996), diz que vários são os fatores que influenciam na uniformidade de distribuição de água do microaspersor, podendo-se citar: posição do suporte, ângulo de

irrigação, tronco e folhagem da árvore, elemento distribuidor, pressão de trabalho, reguladores e amortecedores e vazão nominal.

Dantas Neto et al., (1997) observaram escoamento junto à haste dos microaspersores Naan 7110 em condições de campo de 0,31; 0,30; 0,28 e 0,24 ($l.h^{-1}$), o que corresponde a 0,8; 0,7; 0,7 e 0,6% do volume aplicado, respectivamente.

2.4.2. Avaliação de sistemas de irrigação localizada

De acordo com Keller & Karmeli (1974), apesar das inúmeras vantagens apresentadas, existem problemas na irrigação localizada, dentre os quais destaca-se a obstrução dos emissores. Ela é causada por materiais orgânicos em suspensão, por deposição química e por partículas minerais, quando a filtragem da água não é adequada. Essa obstrução afeta a uniformidade, que depende completamente das vazões dos emissores do sistema. A medida que se prolonga o tempo de uso do equipamento no decorrer do ciclo da cultura, aumenta a possibilidade de obstrução dos orifícios, diminui a uniformidade com que a água é distribuída no campo, afetando o rendimento da cultura, necessitando, assim, da avaliação da uniformidade de distribuição da água.

Ollita (1986) e Pinto et al. (1988) recomendam que após a implantação do sistema de irrigação localizada, deve-se efetuar um teste de campo com o objetivo de verificar a adequação e a uniformidade da irrigação projetada ou para a obtenção de dados úteis no aperfeiçoamento do manejo e operação de sistemas já existentes.

Bernardo (1995) afirma que na irrigação por gotejamento, apesar de ser um método de irrigação em que se tem um melhor controle da lâmina aplicada, é recomendável, após a instalação do sistema e a cada dois anos de funcionamento, determinar a uniformidade de irrigação do sistema.

Segundo Pinto et al. (1988), os sistemas de irrigação localizados, por suas características específicas, devem ser avaliados com frequência, já que alguns dos fatores que afetam a uniformidade de vazão dos sistemas surgem em decorrência do tempo de uso, do manejo e manutenção do equipamento. Para esses autores, essas avaliações são utilizadas para corrigir falhas existentes e adquirir subsídios para aperfeiçoar o funcionamento dos sistemas de irrigação.

Segundo Penaforte et al. (1993), a uniformidade de distribuição e a eficiência de aplicação de água dos sistemas de irrigação por aspersão são importantes parâmetros que expressam a qualidade da irrigação. A determinação destes parâmetros permite verificar se o sistema atende as características de projeto, possibilitando, assim, estabelecer correções que possam melhorar seu desempenho.

Soares et al. (1993), avaliando o desempenho de sistemas de irrigação localizada em campo experimental, constatam que o coeficiente de uniformidade de distribuição de vazão, de entupimento de gotejadores e de microaspersores pode variar bastante ao longo do tempo. Constatam, ainda, que os emissores de fluxo turbulento foram os que apresentaram os maiores coeficientes de uniformidade e as menores percentagens de entupimento.

Quando se avalia um sistema de irrigação em funcionamento, não se deve restringir somente à determinação de sua eficiência atual, e sim caracterizar os principais problemas e sugerir alterações no manejo e, algumas vezes, no próprio dimensionamento, de modo que o sistema possa funcionar com melhor eficiência. Para a quantificação e qualificação da situação atual e o fornecimento de alternativas, quando necessárias para melhorar a eficiência dos sistemas, é preciso determinar as condições de funcionamento e manejo do equipamento e decidir se elas são ou não aceitáveis. Isso requer medições das condições atuais e determinação das condições potenciais para máxima eficiência (Silveira & Stone, 1994).

Segundo Coelho et al. (1999), as pesquisas relativas à engenharia de irrigação, particularmente as referentes a sistemas de irrigação localizada, têm sido dirigidas para o aprimoramento de emissores e válvulas, no sentido de otimizar a uniformidade de emissão, atuando principalmente na redução de entupimento e na compensação da pressão na linha lateral.

A FAO (1984) assegura que, para se realizar um bom manejo do sistema de irrigação localizada, é necessário conhecer, da maneira mais precisa possível, as quantidades de água aplicadas pela irrigação. Para tanto, em condições de campo, a melhor técnica de controle consiste em se determinar a eficiência de irrigação e o grau de perda de eficiência do sistema.

O manual da FAO identifica ainda que estas perdas na eficiência são produzidas por duas causas essenciais: falta de uniformidade na distribuição dos diferentes emissores, atribuídas às variações de pressão nos diferentes pontos do sistema e defeito de fabricação dos materiais; perda de água no sistema causada por evaporação, vazamento nas tubulações e percolação profunda.

Tenório (2000) avaliou um sistema de irrigação por gotejamento, com emissores auto-reguláveis, em um plantio comercial de melão e constatou um coeficiente de uniformidade de 77,5%. Atribuiu à baixa uniformidade de distribuição do sistema ao mau dimensionamento do conjunto moto-bomba, vazamentos e obstrução dos emissores. O autor utilizou um coeficiente de eficiência de armazenamento de água no solo (K_s) de 90%, conforme metodologia da FAO, (1990) obtendo assim uma eficiência global de 69,8%.

2.5. Características de Emissores

2.5.1 Coeficiente de variação de fabricação (CVF)

Segundo Keller & Karmeli (1974), é praticamente impossível à fabricação de um grupo de emissores com o mesmo coeficiente de descarga, no entanto a variação resultante do processo de fabricação normalmente tende a se distribuir em torno de um valor médio.

Keller & Karmeli (1974), introduziram o coeficiente de variação de fabricação como medida estatística para avaliar a variação dos emissores, vinda este mais tarde a ser utilizado para avaliar a uniformidade de emissão. Um coeficiente foi proposto para medir a variação de forma dos emissores causada pelo processo de fabricação, dado pela relação entre o desvio padrão e a vazão média de uma amostra adequada de emissores testados a uma pressão normal de operação.

A variação de fabricação de um emissor é um importante fator que influencia a uniformidade de distribuição de água e, portanto, a eficiência do sistema de irrigação (Solomon, 1979).

Segundo Abreu et al. (1987), as diferenças de vazão na subunidade de irrigação, que resultam do coeficiente de variação de fabricação CVF, podem ser mais importantes que a variação de pressão devido à perda de carga nas tubulações, inclusive com valores de CVF altos, e, por mais sofisticados que sejam os processos de fabricação, é impossível obter um mesmo coeficiente "K" e expoente "x" da função potencial dos emissores.

2.5.2. Equação característica do emissor Ein Dor 861

Segundo Karmeli (1977), a pressão e a vazão são elementos questionáveis de um emissor. No entanto, os emissores são classificados com base na dissipação de pressão, tipo de conexão na linha lateral, sensibilidade a entupimento, compensação de pressão e no regime de fluxo, o qual é caracterizado pelo expoente “x” da equação de vazão versus pressão, podendo o mesmo sofrer a seguinte variação:

Para $x = 0$, o regime de fluxo do emissor é auto compensante

Para $x = 0,5$ o regime de fluxo de emissor é turbulento

Para $x = 1$ o regime de fluxo do emissor é laminar

De acordo com ABNT (1986), o fluxo de um emissor é caracterizado pelo ajuste dos pares de valores de vazão e pressão, através de regressão linear onde é obtido o valor do coeficiente “k” e do expoente “x” da equação.

$$q = k H^x \quad (01)$$

Em que:

q - vazão do emissor (Lh^{-1})

K - constante de proporcionalidade que caracteriza cada emissor, (adimensional);

H - pressão de trabalho de cada emissor (k Pa);

x - expoente que caracteriza o regime de fluxo, como uma função da pressão de operação, (adimensional).

Segundo Sampaio (1995), para fins de dimensionamento de um sistema de irrigação é necessário que os emissores sejam caracterizados através de equações que possam representar significativamente a relação vazão-pressão, de modo a permitir a determinação do comprimento de uma linha lateral, cuja perda de carga esteja dentro do limite permitido pelo regime de fluxo do emissor considerado.

De acordo com Brauts et al. (1981), apud por Nuevo (1992), o termo k envolve fatores ligados a construção do emissor, como coeficiente de descarga e área da seção transversal.

Qualquer variação na vazão do emissor advinda do processo de fabricação será considerada no termo k . Os termos H e x , por outro lado, são variáveis hidráulicamente dependentes. Assim, qualquer variação na vazão dos emissores ocasionada pela variação hidráulica será considerada no termo H^x .

2.5.3. Perfil de distribuição da água e raio efetivo

Antes da elaboração dos projetos, é de grande importância o conhecimento da área molhada, raio de alcance efetivo e uniformidade de precipitação dos emissores, pois esses parâmetros afetam as necessidades totais de água (Matos, 1996).

O que caracteriza e determina o funcionamento do microaspersor sobre uma superfície irrigada é o ensaio de distribuição pluviométrica. As curvas pluviométricas indicam a precipitação horária que recebe o terreno, enquanto que as curvas isoietas delimitam a área molhada por determinadas precipitações (Matos, 1996).

Dantas Neto et al. (1997), trabalhando em campo com o microaspersor Naan 7110, observaram, nos testes de campo, que a velocidade do vento não influenciou no diâmetro molhado nem houve diferenciação entre o diâmetro médio molhado, em laboratório e em campo; entretanto, o diâmetro efetivo molhado foi maior em campo que em laboratório.

Segundo Abreu et al. (1987), o raio efetivo molhado do microaspersor é determinado através da média aritmética, dos coletores localizados a igual distância, em quatro eixos ortogonais, do emissor ao coletor que contenha 10% da pluviometria média de todos os coletores. Por outro lado, Sadan & Shani (1983), citados por Arnoni (1986) propõem um índice de precipitação de 1 mm.h^{-1} como área úmida (irrigada ineficientemente).

2.5.4 Uniformidade de distribuição do emissor

Além da variação no acabamento durante a fabricação dos emissores, a própria geometria do emissor é um fator de grande importância na uniformidade de distribuição de água (Solomon, 1979).

Wu & Gitlin (1983) enfatizam que a eficiência de aplicação, definida por Hansen et al. (1979) como sendo a razão entre a água requerida na zona radicular e a quantidade total aplicada, depende da uniformidade de distribuição do emissor, do requerimento de água e do déficit permitido.

Em irrigação com uso de microaspersores, onde a lâmina de água aplicada tem tendência de distribuição normal, um coeficiente de uniformidade que incorpore o desvio-padrão poderá ter resultado mais satisfatório.

Sadan & Shani, citado por Arnoni (1986), desenvolveram um novo método para avaliar a performance de distribuição de emissores funcionando individualmente, ou seja, sem sobreposição. Esse método consiste em determinar um coeficiente de variação (CV), que, em termos numéricos, expressa a variação de distribuição de uniformidade de precipitação do referido emissor.

2.6. Redistribuição de Água no Solo

Segundo Reichardt (1996), a tendência espontânea e universal de toda matéria na natureza é assumir um estado de energia mínima, onde a água, obedecendo este conceito, move-se constantemente no sentido de diminuição de seu potencial, promovendo uma redistribuição de umidade dentro do perfil do solo.

Alves & Lima (1994), utilizando microdifusores e microaspersores isolados em uma malha de 11 x 11 m, obtiveram, em testes de campo, coeficientes de uniformidade de Christiansen inferiores a 25% para ambos os tipos de emissores. Os valores coletados variaram de 27 a 62%, enquanto os coeficientes de uniformidade de água determinados abaixo da superfície do solo elevaram-se para valores entre 40 e 50% para os microdifusores e entre 52 e 57% para os microaspersores, devido provavelmente a redistribuição de água no solo.

As características de retenção e o movimento de água em duas unidades de Latossolo-Vermelho-Amarelo, em Petrolina-PE, foram estudados por Choudhury & Millar (1983), que definiram as curvas de retenção de água e condutividade capilar para diferentes camadas do perfil do solo e relacionaram a condutividade e a taxa de drenagem às condições de umidade e à água nestes perfis onde foi verificado que a capacidade de retenção entre as tensões de 0,1 e

15 bars aumentou com a profundidade nas duas umidades de solo, ao passo que a drenagem interna deste solo manteve-se contínua e uniforme em todo o perfil.

Um sistema de irrigação por microaspersão foi testado em campo por Firake, (1992), com o objetivo de se observar o movimento da umidade no solo, com microaspersor operando nas pressões (H) de 15, 20 e 25 mca. Foi observado em algumas profundidades ou tempos, o decréscimo da umidade com o aumento da pressão (H), o que mostra que quanto maior a pressão (H) maior o tempo necessário para saturar a zona radicular.

2.6.1 Uniformidade de distribuição de água no solo

Segundo Howell & Hiller (1974), citado por Pinto et al. (1988), no sistema de irrigação localizada, a uniformidade de aplicação de água ao longo da linha lateral está intimamente relacionada com a variação de vazão dos emissores, variação esta devido às perdas de energia da água por atrito ao longo do tubo e nas inserções dos emissores, ganhos ou perdas de energia de posição, qualidade da matéria-prima e dos processos de fabricação, obstrução e efeito da temperatura da água sobre o regime de escoamento e geometria do emissor.

De acordo com Peri et al. (1979) Walker (1979), apud por Rezende et al. (1998), a aplicação de água por qualquer sistema de irrigação é naturalmente desuniforme. Em geral, para um método particular de irrigação, a alta uniformidade de aplicação só pode ser alcançada com aumento nos gastos em capital ou nos custos de operação. Os autores afirmam que, sob o aspecto econômico, alguns níveis particulares de desuniformidade podem ser aceitáveis para cada tipo de irrigação. Ao irrigante, fácula-se escolher entre aplicar água suficiente para que a lâmina mínima seja igual a uma lâmina mínima menor, permitindo que parte da área seja deficientemente irrigada, provocando redução na produção.

Existem vários coeficientes que determinam a uniformidade de distribuição. Bernardo (1987), Pinto et al (1988) têm concordado ao longo de seus estudos que o coeficiente de uniformidade de Christiasen (CUC) é o que melhor representa a uniformidade de distribuição da água no solo. No entanto, todos entendem que o CUC, por necessitar medir as vazões de todos os gotejadores da unidade de rega, demanda muita mão-de-obra.

Paiva (1980) trabalhou com um sistema de irrigação por aspersão convencional para analisar o efeito da uniformidade de aplicação sobre a uniformidade da unidade no perfil do solo, após a redistribuição. Terminada a irrigação, os coeficientes de uniformidade aumentaram, ao longo do tempo, em todas as profundidades estudadas; nas maiores profundidades, a distribuição foi mais uniforme, mesmo nos ensaios onde a uniformidade de água aplicada na superfície foi muito baixa. Em curto intervalo de tempo, os coeficientes de uniformidade de umidade alcançaram altos valores.

Rocha et al. (1999) pesquisando a uniformidade de distribuição de água por aspersão convencional na superfície e no perfil de um solo Podzólico-Vermelho-Amarelo, concluíram que os elevados índices obtidos para os coeficientes de uniformidade no perfil do solo, mesmo nos testes onde os coeficientes de uniformidade de água aplicada na superfície foram aquém dos valores mínimos recomendados, que a uniformidade subsuperficial pouco depende da uniformidade superficial.

Nascimento et al. (1999) estudaram a uniformidade de distribuição de água na superfície e no perfil do solo sob irrigação com microaspersor Rain-Bird QN-14 e encontraram que o coeficiente de uniformidade de Christiansen, em valores médios, na superfície do solo foi de 42,61%, enquanto nas profundidades de 0-0,2 m, 0,20 m-0,4 m e 0,4-0,6 m foram de 64,94%, 79,04% e 84,06%, respectivamente. Os autores concluíram que a baixa uniformidade de precipitação do microaspersor Rain- Bird QN-14 na superfície do solo não exerceu influência na uniformidade de distribuição da uniformidade no perfil do solo.

De acordo com Richard (1983), apud por Soares e Nascimento (1998), a distribuição do sistema radicular da videira sob irrigação por gotejamento depende do tipo de solo, do volume molhado, da quantidade de água aplicada, da frequência de irrigação e do espaçamento entre emissores. Em solos argilosos com densidade em torno de 1.500 kg.m^{-3} , a irrigação por gotejamento proporcionou padrões de umedecimento dos solos similares ao formato de uma cebola, o que resultou na formação de zonas secas livres de raízes na camada superficial do solo, entre os emissores, e restringiu o desenvolvimento do sistema radicular em profundidade.

2.6.2 Variabilidade espacial das propriedades físico-hídricas do solo

A variabilidade das propriedades físico-químicas e hídricas do solo tem implicação no que diz respeito às fertilizações, calagem, recuperação, aplicação de lâminas de irrigação e espaçamentos entre drenos, já que as recomendações técnicas para essa prática estão baseadas em valores médios das análises de solo (Sousa, 1998).

Andrade (1997) cita que Vachaud e et al. (1985), apresentaram um estudo da estabilidade temporal da variabilidade espacial das medidas de umidade. Neste trabalho, demonstraram que determinados pontos de observação de umidade do solo sempre apresentam um desvio mínimo do valor médio do campo experimental, independentemente da época do ano e das condições de cultivo.

Reichardt et al. (1984) e Kird et al. (1986) demonstraram que a variabilidade espacial da umidade do solo pode ser utilizada com vantagem nos estudos da influência da umidade do solo sobre certos parâmetros como, a absorção de nutrientes, produtividade e fixação biológica de nitrogênio.

Carvalho (1978), na caracterização física de três solos observou que variações bastante acentuadas na capacidade de retenção de água no solo dependem da distribuição, originada por modificação na estrutura do solo, provocando, por sua vez, mudanças na curva de retenção. Nielsen et al. (1973), em trabalho sobre a variabilidade das propriedades da água no solo, enfatizaram que o teor de água tem distribuição normal com a profundidade, enquanto os valores de suas condutividades hidráulicas apresentam uma distribuição normal logarítmica.

Medidas de parâmetros do solo e da planta muitas vezes apresentam irregularidades que podem ou não estar distribuídas ao acaso em relação à sua distribuição espacial no campo. É, portanto, importante estabelecer critérios que definam espaçamentos entre medidas, frequência de observações e número necessário de observações para que o valor médio obtido caracterize o local estudado. Classicamente, os pesquisadores têm procurado alcançar estes objetivos por meio das mais diversas técnicas estatísticas sem levar em conta sua distribuição espacial no campo (Reichardt, 1996).

Oliveira et al. (2000), estudando a variabilidade espacial da umidade e da densidade do solo sob cana-de-açúcar, concluíram que a análise geoestatística não confirmou a dependência espacial observada através da análise de variância.

2.7. Geoestatística

A geoestatística é uma técnica usada nos estudos de variabilidade espacial, concebida e idealizada por Matheron (1962) constituindo um critério científico moderno de interpretação e estudo do processo da variabilidade espacial das variáveis regionalizadas, caracterizada pela distribuição no espaço de uma amostra para outra.

A geoestatística atualmente tem sido fundamental no estudo de diversas variáveis ligadas à agricultura, tais como a umidade do solo, o percentual de areia, silte e argila, umidade gravimétrica e assim sucessivamente; sendo também usada no estudo da evolução do lençol freático e dos níveis de poços em regiões semi-áridas.

A técnica clássica ou “casual” e a técnica geoestatística ou “espacial” se completam, de maneira que perguntas respondidas por uma, muitas vezes, não podem ser respondidas pela outra. A diferença básica entre a estatística clássica e a geoestatística consiste em que a primeira considera os valores das amostras sendo independentes espacialmente, enquanto que a segunda supõe que os valores das amostras são correlacionados no espaço. Por esta característica, a geoestatística vem sendo aplicada na engenharia, principalmente para efetuar estimativas e/ ou simulações de variáveis em locais não avaliados (Ricardo, 1995). Quando o delineamento experimental para as estatísticas clássicas “casuais” é de parcelas distribuídas de forma completamente irregular, a distância entre parcelas e sua distribuição, apesar de serem importantes e as mais variadas possíveis, não entra na análise. Por isso, nesses experimentos, o número de parcelas é relativamente pequeno. Já o delineamento experimental para técnicas geoestatísticas “espaciais” possui geralmente as parcelas ou medidas distribuídas em faixas (“transsects”) ou malhas (“grids”), sendo cada uma espaçada da outra por uma medida constante. O resultado disso é que experimentos delineados segundo o modelo casual só podem ser analisados por técnicas geoestatísticas com muita dificuldade. O contrário é possível, pois o número de observações de experimentos “espaciais” é geralmente muito

grande e uma certa porcentagem pode ser escolhida ao acaso para tratamento casual (Reichardt, 1996).

A análise básica dos dados através dos métodos clássicos constitui-se em uma etapa praticamente obrigatória quando se trabalha com amostragem e processamento de uma quantidade significativa de dados e de variáveis. Este método, além de analisar os dados quanto a sua variabilidade espacial, possibilitam também análise interpretativa quanto aos modelos de distribuição de probabilidade, correlação e ajustes de função de regressão. Para o caso do estudo de variabilidade de valores numéricos, a análise é feita pela estimativa da variância, desvio-padrão e, conseqüentemente, pelo coeficiente de variação. (Teixeira Filho, 2001).

Libardi et al. (1986) comentaram que na ampla diversidade da ciência do solo, a estatística sempre se fez necessária na avaliação das propriedades físico-hídricas do solo. Os métodos da estatística clássica baseiam-se em determinadas hipóteses que concorrem para procedimentos generalizados, tais como: selecionar local representativo, retirar amostras ao acaso para controle das tendências, evitar locais espacialmente variáveis para controle dos erros e trabalhar somente com um conjunto de amostras, sem levar em consideração os espaços geográficos entre amostras, aos quais elas possam pertencer. A característica principal desses métodos estatísticos é que eles permitem medir o erro cometido ao se fazer às estimativas das variáveis, já que, além de calcular o valor representativo dessa variável, permite conhecer, de acordo com o grau de precisão, a variação esperada em torno do valor verdadeiro da variável estudada. Outra vantagem adicional deste método é que ele permite constatar se existe ou não correlação entre diferentes variáveis. Por exemplo, se o fato de uma crescer implica no crescimento da outra ou vice-versa.

Segundo Guerra (1988), a geoestatística é baseada nos conceitos das funções aleatórias, na teoria das variáveis regionalizadas e estacionaridade, entendendo como tal uma função que varia de um lugar a outro com certa aparência de continuidade, isto é, são variáveis cujos valores são relacionados, de alguma maneira, com a posição espacial que ocupam.

Sousa (1998) ressalta que a variável regionalizada precisa ser localizada dentro de um corpo homogêneo, tal corpo pode apresentar variabilidade distinta conforme a direção de amostragem.

Os pontos de onde são retiradas as amostras devem, invariavelmente, ter suas localizações conhecidas, seja por coordenadas cartesianas (x e y) ou coordenadas geográficas (latitude e longitude). Mediante essas informações, juntamente com os valores de teores ou cotas das variáveis em estudo, iniciam-se os cálculos dos parâmetros usados em geoestatística.

Segundo Couto & Mello (2000), a geoestatística tem mostrado grande utilidade para caracterizar e mapear as variações dos atributos do solo com diversos propósitos e escala de trabalho. Os procedimentos mais comuns incluem a caracterização e o modelamento de variáveis espaciais por meio de estimativas dos valores dos locais não visitados, simulações espaciais e otimização dos esquemas de amostragem (Cambardella et al., 1994).

2.7.1. Dependência espacial

Os métodos clássicos da estatística assumem que o valor médio de uma propriedade de solo em uma região amostrada é igual ao valor da esperança desta propriedade em qualquer ponto dentro da região, com um erro de estimativa correspondente à variância dos dados amostrais, conforme Truog et al. (1985). Isto corresponde a assumir que a variabilidade em torno da média é aleatória e independente da posição espacial dos valores amostrais. No entanto, muitos trabalhos, como o de Vieira et al. (1981) mostram que a variabilidade de propriedades do solo é espacialmente dependente, ou seja, dentro de um certo domínio, as diferenças entre valores de uma propriedade do solo podem ser expressas como uma função da distância de separação entre estes pontos medidos.

Webster & Olivier (1990) afirmam que muitas propriedades do solo variam continuamente no espaço e, conseqüentemente, os valores em locais mais próximos entre si tendem a ser mais semelhantes até um determinado limite, correspondente ao domínio destas propriedades do que aqueles tomados a maiores distâncias. Caso isto ocorra, os dados não podem ser tratados como independentes e um tratamento estatístico mais adequado é necessário.

2.7.2. Hipótese da estacionaridade

Uma medida de uma propriedade do solo em uma posição qualquer pode ser entendida como uma realização de uma variável aleatória (v.a.), a qual deve variar segundo alguma lei de distribuição de probabilidade que possa ser descrita pelos seus parâmetros. De acordo com Journel & Huijbregts (1978), uma variável regionalizada $Z(x)$ é uma variável aleatória que assume diferentes valores Z em função da posição x dentro de uma certa região. De acordo com Tringmar et al. (1985), uma variável regionalizada $Z(x)$ pode ser considerada com uma realização particular de uma variável aleatória Z para uma dada localização x . O conjunto de variáveis $Z(x)$ medidas em todo os pontos x pode ser considerado uma função aleatória $Z(X)$, uma vez que, segundo Issaks & Srivastava (1989), são variáveis aleatórias, regionalizadas e assume-se que a dependência entre elas é especificada por algum mecanismo probabilístico.

No entanto para o correto uso das ferramentas da geoestatística, tais como semivariograma e interpolação por meio de Krigagem, segundo Tringmar et al. (1985) e Vieira et al. (1997), algumas condições devem ser satisfeitas. A primeira delas é a estacionaridade de primeira ordem que exige que o valor esperado da variável regionalizada $Z(x)$ seja o mesmo em toda área S , ou seja:

$$E [Z(x) - Z(x+h)] = 0 \quad (2)$$

Em que:

“h” - distância dos dois pontos amostrais

$Z(x), Z(x+h)$ - par de valores

A segunda condição refere-se a estacionaridade de segunda ordem, que ocorre quando a covariância espacial, $C(h)$, entre duas realizações de $Z(x)$, separados por uma distância “h” é a mesma em toda a área de estudo independentemente da posição, sendo função apenas de “h”.

$$C(h) = E [Z(x+h) - m][Z(x) - m] = E[Z(x+h).Z(x)] - m^2 \quad (3)$$

Em que:

m - média dos valores amostrais

Quando os valores da variância (S^2) e da covariância espacial $C(h)$ não atingem níveis iguais, como no caso de fenômenos com tendência, como precipitação em regiões semi-áridas ou amostras de solo retiradas em locais com uma alta concentração de algum nutriente, Vieira (1998) afirma que uma condição menos restrita pode ser assumida. Essa condição trata-se da hipótese intrínseca que requer estacionaridade de incremento $Z(x)$ e da variância para o incremento $Z(x) - Z(x+h)$, independente da posição na área, para toda a distância "h". Esta variância pode ser expressa pela equação a seguir.

$$Var\{[Z(x_i) - Z(x_i+h)]\} = E\{[Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2\} \quad (4)$$

2.7.3. Semivariograma

O semivariograma em termos prático é a ferramenta matemática que permite estudar a dispersão natural das variáveis regionalizadas em uma determinada área, mostrando o grau de continuidade da variável (Guerra, 1988). Em outras palavras, ela possibilita analisar o grau de dependência espacial entre as amostras dentro de um campo, bem como determinar a distância a partir da qual as amostras são consideradas independentes. Por definição, é a metade da esperança matemática da diferença quadrática entre os pares de observação separadas por uma distância (h) (Oliveira, 1998).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \quad (5)$$

Em que:

$Z(X_i)$ - valor da variável no ponto X_i

$Z(X_i + h)$ - valor da variável no ponto $Z_i + h$

$N(h)$ - número de pares distanciados a um espaço h

Os semivariogramas possuem três parâmetros fundamentais que permitem a análise mais apurada da distribuição espacial em determinada área, que são o efeito pepita, o alcance e a componente espacial.

Como a função semivariância quantifica a dessemelhança entre os pontos, ao contrário da correlação, os pontos do semivariograma começam com um baixo valor, denominado efeito pepita que é costumeiramente representado por “ C_0 ” (Queiroz et al., 1997). Esse efeito reflete a variabilidade não explicada ou variação não detectada em função da distância da amostragem utilizada. Segundo Guerra (1988) é atribuído, ao efeito pepita às variações locais ou em pequena escala, como erros de análise, amostragem etc.

O valor do alcance “ a ” indica a zona de influência de uma amostra, ou seja, define a distância máxima até onde o valor de uma variável possui relação de dependência espacial com o seu próximo (Guerra, 1988). Dessa forma o valor de alcance de uma determinada variável garante que todos os pontos vizinhos situados dentro de um raio são tão semelhantes que podem ser usados para estimar valores para qualquer ponto entre eles (Vieira & Lombardi Neto, 1995). As observações separadas por distâncias acima do alcance não estão correlacionadas entre si e a partir daí os dados podem ser tomados como independentes.

A variação de dispersão “ C ” ou componente espacial, segundo Guerra (1988), representa as diferenças espaciais entre os valores de uma variável tomada em dois pontos separados por distâncias cada vez maiores.

O somatório do efeito pepita com o componente espacial “ $C_0 + C$ ” representa o valor no qual a variância dos pontos atinge a estabilidade, chamado de Patamar.

A porcentagem do efeito pepita em relação ao patamar, ou seja, $[(C_0 / C_0 + C) \times 100]$, indica o grau de dependência espacial das variáveis estudadas (Tragmar et al., 1985).

A dependência espacial é classificada como forte, moderada ou fraca quando a relação percentual efeito pepita/ patamar for menor que 25 e 75% e for maior que 75% respectivamente, conforme Cambardella et al. (1994).

Através dos componentes dos semivariogramas também é possível se conhecer o grau de casualidade ou aleatoriedade da semivariância, que consiste em dividir o valor do efeito pepita pelo valor da componente espacial (C_0/C). Quando o resultado dessa relação estiver compreendido entre 0 e 0,15 considera-se a semivariância pouco significativa com relação a aleatoriedade, entre 0,15 e 0,30 significativa e acima de 0,30 muito significativa, de acordo com Guerra (1988).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da Área Experimental

O presente trabalho foi conduzido no período de novembro de 2000 a setembro de 2001, na fazenda Massapê do Canto, Sítio Pau do Leite no, município de Marizópolis na região de Sousa-PB, a 400 Km de João Pessoa. A cidade de Sousa cujas coordenadas geográficas são 6°45'S de latitude, 38°13'W de longitude e altitude de 233 m. Segundo a classificação de Koppen (1936), o clima é do tipo BSh, isto é, semi-árido quente. A temperatura média anual é de 27,8 °C, com precipitação média anual de 894 mm, concentrada nos meses de janeiro a maio. A umidade relativa média do ar é de 58%, e a velocidade média do vento é de 2,5 m.s⁻¹.

3.2. Descrição do Sistema de Aplicação de Água

A água fornecida às unidades de irrigação foi aduzida de um poço situado nas proximidades. Inicialmente a água passava por uma estação de bombeamento cabeçal com duas motobombas de 7,5 CV, dois filtros, sendo um de tela e um de disco, controlado por um sistema automatizado, com temporizadores digitais, onde se determinava o tempo para cada unidade de irrigação. A partir desse ponto a água passava por uma linha principal de PVC com 100 mm e 75 mm de diâmetro que se distribui ao longo do campo. O sistema era composto por 13 unidades de irrigação, cada unidade controlada por uma válvula e manômetros analógicos no início de cada secundária como mostra na Figura 1.

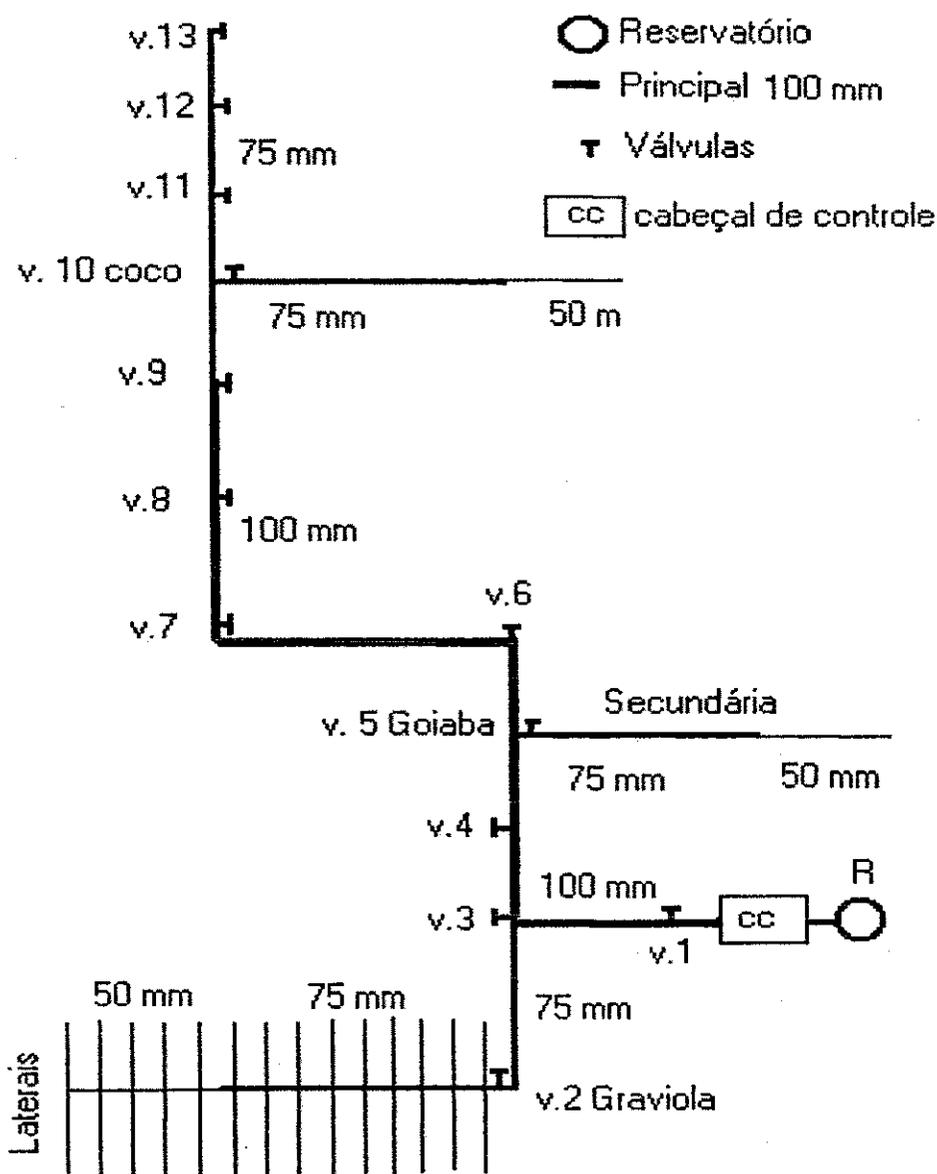


Figura 1. Sistema hidráulico de irrigação da fazenda mostrando unidades 2, 5 e 10, cultivada com gravioleira, goiabeira e coqueiro respectivamente, onde foi montado o experimento.

As secundárias de PVC com diâmetro de 75 mm no seu início com redução para 50 mm davam origem às linhas laterais de polietileno com diâmetros de 16 mm para as unidades cultivadas com graviola e goiaba e diâmetros de 20 mm para unidades cultivadas com coqueiro, sendo uma linha lateral para cada fileira de planta em todas as unidades com um emissor por planta.

O sistema de irrigação localizada, avaliado era do tipo microaspersão com microaspersores tipo Ein Dor 861, Figura-2 com vazão de 50 para as culturas da goiabeira e

gravioleira e 70 L.h^{-1} para o coqueiro e pressão de serviço entre 150 e 200 kPa, espaçados de acordo com os espaçamentos das plantas. A frequência de irrigação era diária e o tempo de aplicação era de duas horas para as culturas de graviola e goiaba e de três horas para a cultura do coqueiro, podendo variar de acordo com o estágio da planta.

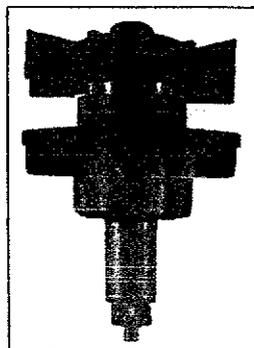


Figura 2. Microaspersor Ein Dor modelo 861, usado na irrigação localizada do experimento e testado em laboratório.

3.3. Características Físico-Hídricas do Solo

Na ocasião em que o experimento foi instalado, coletaram-se amostras com estrutura deformada ao longo do perfil do solo, objetivando a determinação de características relevantes para desenvolvimento da pesquisa. As amostras foram coletadas as profundidades de (0 - 20, 20 - 40 e 40 - 60 cm) cujos dados de análise estão apresentados na Tabela 1.

As curvas de retenção de água no solo foram determinadas utilizando-se uma câmara de pressão submetendo o solo nas tensões de 0,1; 0,33; 0,5; 1; 5; 8 e 15 atm, para fins de determinação da tensão em relação à lâmina de água no solo.

Tabela 1: Resultado das análises físicas/ hídricas dos solos das unidades de irrigação.

Subunidades	Cinco e dez			Dois		
	Físicos / Hídricos					
Parâmetros	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60
Profundidade (cm)						
Areia g.kg ⁻¹	372,8	393,3	396,7	381,0	507,8	635,7
Silte g.kg ⁻¹	278,4	279,0	277,4	348,5	253,9	159,4
Argila g.kg ⁻¹	348,8	327,7	325,9	270,5	238,3	204,9
Densidade real (g.cm ⁻³)	2,85	2,64	2,58	2,57	2,69	2,76
Densidade aparente (g.cm ⁻³)	1,32	1,33	1,34	1,27	1,30	1,31
Porosidade total %	53,68	49,62	48,06	50,58	51,67	52,53
CC 1500 kPa (g.kg ⁻¹)	96,85	95,62	82,53	54,87	46,04	27,52
Pm 33 kPa (g.kg ⁻¹)	64,86	64,61	64,07	29,77	20,81	10,26
Água Disponível (g.kg ⁻¹)	21,99	31,01	18,46	25,10	25,23	17,26
Classificação Textural	Franco argilosa	Franco argilosa	Franco argilosa	Franco argilosa	Franco argilo arenosa	Franco argilo arenosa

3.4. Instalação do Experimento e Procedimento Experimental

Foram instalados em três subunidades de irrigação (2, 5 e 10), cultivadas com graviola, goiaba e coqueiro, respectivamente, 81 tubos de PVC com 80 mm de diâmetro e 80 cm de comprimento numa profundidade de 70 cm da superfície do solo, deixando-se 10 cm onde eram cobertos com uma tampa plástica. A subunidade dois com graviola, onde o espaçamento era de 6,0 x 5,0 m com linha de derivação de 144 m que davam origem a laterais de 30m numa área de 4320m², foram instalados 28 tubos formando uma malha de 4 x 7. Na subunidade 5 com goiaba, com um espaçamento de 6,0 x 5,0 m, com linha de derivação de 144m e laterais de 45m numa área de 6480 m², instalando-se 28 tubos, formando uma malha de 4 x 7 distribuídos de acordo com a Figura 3. Para a subunidade 10 com coqueiro, com um

espaçamento de 7,5 x 7,5 m, com laterais de 60 m e linha de derivação de 90 m numa área de 5400m², foram instalados 25 tubos formando uma malha de 5 x 5. O tubo de acesso foi instalado a 60 cm da planta e 30 cm do microaspersor. A perfuração se deu com um trado mecânico.

3.5. Estimativa da Umidade do Solo

A estimativa da umidade do solo nas três profundidades, foi obtida com uma sonda de nêutrons da marca Hidroprobe, (Figura 4). As leituras da sonda eram lidas em percentagem de volume cm³cm⁻³, obtidas nas malhas de tubos de acesso instalados em cada uma das unidades de irrigação na área do experimento, as profundidades de 0,20; 0,40; e 0,60m.

Para se ter um ajuste da sonda foram feitas coletas simultâneas de amostras do solo úmido, em dez leituras da sonda. As amostras de solo foram levadas para laboratório onde foi determinada a umidade gravimétrica a base solo seco (u), cujos valores foram transformados em umidade volumétrica (θ), com os valores da sonda em percentagem de volume (v %), e a leitura padrão, realizada no estojo na própria blindagem do instrumento, num tempo de 64 segundos, ajustaram-se regressões lineares para cada tipo de solo, estimando-se a porosidade cheia com água (θ_c); expressa como fração de um volume unitário, com valores entre 0 e 1 de acordo com Carvalho, (2000).

As leituras com a sonda foram realizadas em dois momentos, antes da irrigação e uma hora depois da aplicação de água. Com os dados aplicou-se a estatística básica e a geoestatística, confeccionando-se histogramas de frequência, semivariogramas e mapas de isolinhas do teor de água no solo para os diferentes momentos supracitados.

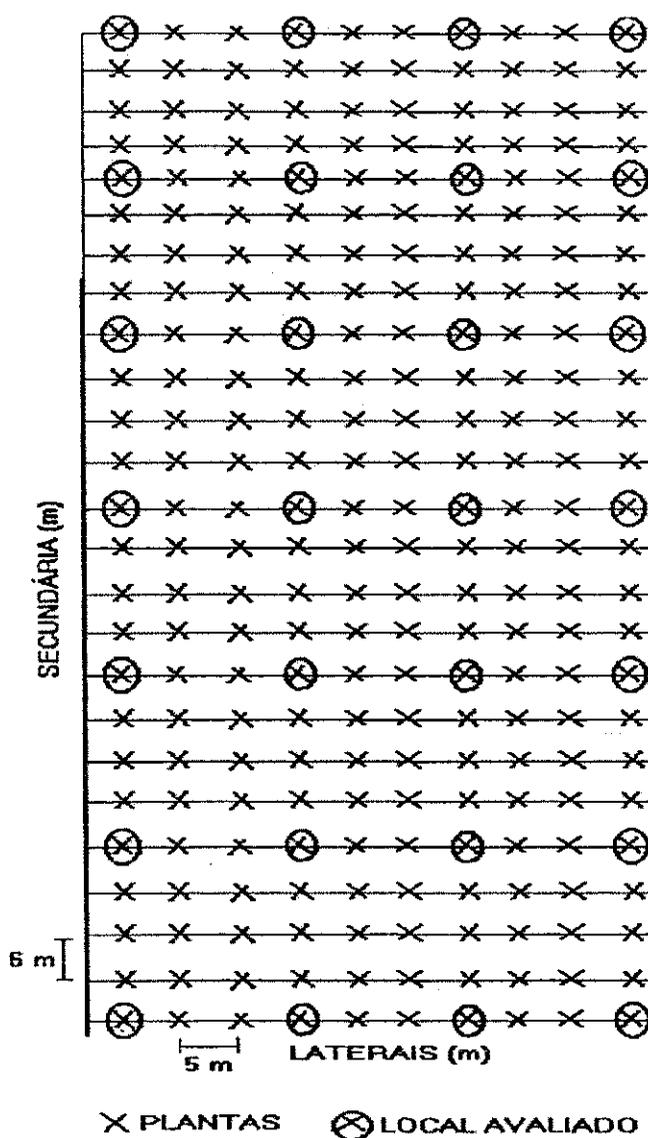


Figura-3. Subunidade cinco, ampliada, esquema dos pontos de coletas de dados.

3.6. Sonda de Nêutrons

Entende-se por moderação de nêutrons ao seu processo de redução de energia, passando de nêutrons rápidos em torno de (2 MeV) para lentos ou moderados (0,025 eV). O instrumento conhecido como sonda de nêutrons (Figura-4) consiste em duas partes:

a) da sonda, que contém uma fonte de nêutrons rápidos e um detector de nêutrons moderados;

b) de um medidor portátil, geralmente operado por uma bateria, para medir o fluxo de nêutrons moderados, o qual é proporcional ao conteúdo de água do solo.

A fonte radioativa pode ser uma mistura de Americium e Berillium ou uma de Americium e Rádium; geralmente, usa-se a primeira mistura, devido a essa produzir uma radiação menos perigosa, Carvalho, (2000).

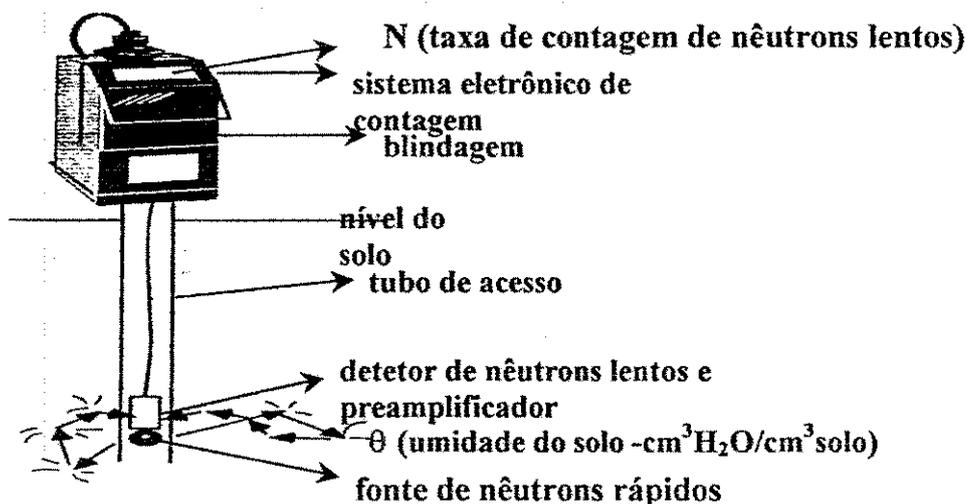


Figura-4. Esquema da sonda de nêutrons com o tubo de acesso.

3.7. Avaliação Hidráulica das Subunidades

Nos pontos onde foram colocados os tubos, foram coletados os valores de vazões e pressão dos microaspersores. Com uma proveta, num tempo de coleta de 30 segundos, os volumes coletados foram, posteriormente, convertidos em vazões (L.h^{-1}), cujos resultados é a média de 3 repetições. Paralelo às medidas de vazões, procedeu-se também as medidas de pressões que foram realizadas através de um manômetro digital, com escala de 66 kPa (inferior aos 2 kPa exigidos pela ABNT, 1987) conectado ao tubo de conexão ou espaguete, distante 30 cm da linha lateral.

Na subunidade cultivada com graviola, além de fazer essa coleta com os microaspersores que lá se encontravam, foi feita uma troca por microaspersores novos previamente caracterizados em laboratório para uma nova avaliação da subunidade. As

avaliações do sistema hidráulico e medidas de umidade no solo foram feitas nos meses de julho, agosto, setembro e outubro de 2001. Através dos dados coletados em campo e posteriormente em função dos seguintes parâmetros de desempenho: (coeficiente de uniformidade de irrigação, uniformidade de pressão, uniformidade do sistema, coeficiente de uniformidade estatístico, variação total de vazão e pressão em condições usuais de operação), conforme metodologia de Merriam e Keller (1978), foi feita uma análise descritiva.

Determinou-se a variação de pressão e vazão ao longo das linhas laterais, das secundárias e das subunidades, utilizando-se as seguintes equações:

$$\Delta Q = \frac{Q_{\text{máx}} - Q_{\text{mín}}}{Q_{\text{máx}}} * 100 \quad (06)$$

$$\Delta P = \frac{P_{\text{máx}} - P_{\text{mín}}}{P_{\text{máx}}} * 100 \quad (07)$$

Em que:

ΔP - variação de pressão, %

$P_{\text{máx}}$ - valor máximo de pressão, kPa

$P_{\text{mín}}$ - valor mínimo de pressão, kPa

ΔQ - variação de vazão na lateral, %

$Q_{\text{máx}}$ - valor máximo de vazão, L h⁻¹

$Q_{\text{mín}}$ - valor mínimo de vazão, L h⁻¹

A partir dos resultados de vazões encontrados em cada subunidade, determinou-se a uniformidade de irrigação segundo as metodologias:

a) Metodologia de Merriam & Keller (1978)

$$CU = 100 \left(\frac{q_{25\%}}{q_{med}} \right) \quad (08)$$

Em que:

CU - coeficiente de uniformidade de irrigação da subunidade avaliada em campo, %

$q_{25\%}$ - média de 25% do total de microaspersores com as menores vazões (Lh^{-1}) e

q_{med} - média das vazões coletadas de todos os microaspersores na subunidade (Lh^{-1})

Com os dados de pressões obtidos nas subunidades determinou-se o coeficiente de uniformidade de pressão:

$$CUp = 100 * \left(\frac{P_{25\%}}{PM} \right)^x \quad (09)$$

Em que:

Cup - coeficiente de uniformidade de pressão, %

PM - pressão média da subunidade, kPa);

$P_{25\%}$ - pressão média de 25% das pressões mais baixas dentro da subunidade avaliada, kPa

x - expoente de descarga do emissor

A partir dos dados de pressões mínimas, obtidas na unidade operacional de irrigação, que continha a subunidade, calculou-se a média e, em seguida, determinou-se o fator de correção das vazões, mediante a seguinte equação:

$$FCV = \left(\frac{P_{25\%}}{PM_{min}} \right)^x \quad (10)$$

Onde:

FCV - fator de correção das vazões;

PM_{min} - média de todas as pressões mínimas das subunidades da unidade operacional de irrigação; kPa;

$P_{25\%}$ - pressão média de 25% das pressões mais baixas dentro das mínimas da subunidade avaliada, kPa;

A uniformidade de irrigação do sistema (CUS) foi dado pela expressão:

$$CUS = CU * FCV \quad (11)$$

A eficiência de aplicação (EA) sob irrigação completa, segundo Merriam e Keller (1978), foi estimada por:

$$EA = 0,9 * CU \quad (12)$$

b) Metodologia segundo a ASAE EP 458 (1996)

A avaliação da uniformidade de irrigação, segundo a ASAE EP458 (1996), é baseada no método de estimação de uniformidade em campo proposto por Bralts & Kesner (1983), fundamentado no coeficiente de uniformidade estatístico. Selecionou-se uma subunidade de irrigação que estava funcionando em concordância com as condições normais de trabalho e avaliou-se a uniformidade de aplicação de água dentro das subunidades a partir da equação (13):

$$CUE = (1 - CVT) * 100 \quad (13)$$

Em que:

CUE - Coeficiente de Uniformidade estatística de irrigação

CVT - Coeficiente de Variação Total de vazão na subunidade

Para a determinação do coeficiente de variação de vazão total (CVT) para a subunidade ou sistema, foi usada a seguinte equação:

$$CVT = \frac{S_q}{q_{med}} \quad (14)$$

Em que:

S_q - desvio padrão da vazão dos emissores $L h^{-1}$

q_{med} - vazão média dos emissores na subunidade $L h^{-1}$

Com as pressões medidas na subunidade, se obteve um coeficiente de variação da vazão por causas hidráulicas (CVH), pela expressão:

$$CVH = \frac{S_h}{h_{med}} \quad (15)$$

Em que:

S_h - desvio padrão das pressões medidas Kpa

h_{med} - pressão média dos emissores na subunidade Kpa

O Coeficiente da variação da performance dos emissores (CVE) será:

$$CVE = \sqrt{CVT^2 - x^2 * CVH^2} \quad (16)$$

De acordo com uma uniformidade de irrigação estatística específica para uma probabilidade de 95%, e um determinado tamanho de amostra n , determinou-se o limite de confiança pela Tabela 2 (ASAE 1996). Para a determinação dos limites de confiança, o tamanho das amostras de microaspersores considerados no presente trabalho foi de 28 e 25. A Tabela 3 mostra os valores de CU, CUE, além de proporcionar o grau de aceitabilidade de irrigação, segundo ASAE (1996).

Tabela 2: Limites de confiança, \pm %, para uma probabilidade de 95%.

CUE	Número de observações				CVT
	18	36	72	144	
90	3,5	2,4	1,7	1,2	0,1
80	7,3	5,0	3,4	2,4	0,2
70	11,5	7,8	5,4	3,8	0,3
60	16,2	10,9	7,6	5,4	0,4

Fonte: ASAE EP458 (1996)

Tabela 3: Grau de aceitabilidade e uniformidade estatística e de emissão, %.

Grau de aceitabilidade	CUE	CU
Excelente	100 – 95	100 – 94
Bom	90 – 85	87 – 81
Normal	80 – 75	75 – 68
Ruim	70 – 65	62 – 56
Inaceitável	< 60	< 50

Fonte: ASAE EP458 (1996)

3.8. Determinação em Laboratório das Características Hidráulicas dos Emissores

Os emissores ensaiados no Laboratório de Engenharia de Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba. Os testes foram realizados numa bancada com capacidade para dez emissores por vez, espaçados a cada 0,40 cm, inseridos numa tubulação de polietileno de 16 mm de diâmetro, derivada do painel de controle. Na entrada do tubo de polietileno a pressão foi controlada por um regulador de pressão, logo após se tinha conectado um manômetro digital para verificação das pressões em análise.

Para a determinação da relação vazão, pressão foram avaliados 20 microaspersores novos e 20 com três anos de uso da marca Ein Dor modelo 861 com pressão podendo variar de 50 a 250 kPa, com vazão de 20 a 160 L.h⁻¹ de acordo com o fabricante.

Os microaspersores foram submetidos a cinco pressões (50, 100, 150, 200 e 250 kPa), com a vazão sendo medidas através de leitura direta, sendo colocado sobre o microaspersor, uma cuba que interceptava o jato de água, o qual era coletado por um recipiente, com capacidade de 20 litros, onde eram pesados, a fim de encontrar o volume coletado nos intervalos de seis minutos com três repetições para cada pressão.

3.8.1. Coeficiente de fabricação e de uso

Com o objetivo de avaliar as variações que ocorreram na vazão entre os microaspersores em virtude de diferenças inerentes ao processo de fabricação, os emissores novos e usados foram selecionados de acordo com a ABNT (1986).

A partir dos valores médios dos volumes coletados em três repetições a uma pressão de 150 kPa, com o tempo de seis minutos calculou-se o desvio padrão e a vazão média. Dividindo o desvio padrão pela média da vazão, obteve-se o Coeficiente de Fabricação para os novos e Coeficiente de Uso para os usados.

3.8.2. Equação característica

A equação que relaciona a vazão com a pressão na entrada do emissor foi obtida a partir de ensaios com 20 microaspersores selecionados. A partir dos valores médios de vazão com três repetições e em cinco pressões (50, 100, 150, 200, 250 kPa), foi construída a curva característica vazão pressão por regressão, obteve-se a equação potencial tradicionalmente utilizada para caracterizar um emissor.

3.8.3. Perfil de distribuição

Para avaliação dos parâmetros: raio efetivo, distribuição pluviométrica e a uniformidade de distribuição, foram instalados duas linhas de pluviômetros dispostos ortogonalmente, distribuídos em quatro semi-eixos identificados por Norte, Sul, Leste e Oeste, com o emissor instalado na interseção destas linhas.

Os pluviômetros foram espaçados eqüidistantes a cada 0,30 m, cujo espaçamento estava de acordo com as normas da ABNT (1986). Os quatro emissores com vazão mais próximas da média foram submetidos à pressão de 150 kPa, durante quatro horas de funcionamento, para coleta dos pluviômetros. O cálculo da precipitação foi efetuado através da seguinte expressão:

$$P = \frac{10 \times V}{A \times t} \quad (17)$$

Em que:

P – precipitação horária mm h⁻¹

V – volume coletado no pluviômetro cm³

A – área do pluviômetro cm² e

t – tempo de coleta, horas.

Com os valores da precipitação média foi determinado o semiperfil pluviométrico do microaspersor estudado, com seu respectivo raio efetivo representado por um gráfico.

3.8.4. Uniformidade de aplicação

Com os resultados da precipitação horária, foi determinado o Coeficiente de Uniformidade de Hart (1961), através da equação:

$$CUH = 1 - (\sqrt{2 / \pi}) * (S/Ym) \quad (18)$$

Em que:

CUH - Coeficiente de Uniformidade de Hart

S - desvio padrão, mm h⁻¹

Ym - lâmina média de água aplicada mm h⁻¹

Outro coeficiente determinado foi o de variação proposto por Sadan & Shani, apud por Armoni (1986). A coleta dos dados foi feita simultaneamente com o ensaio para os demais parâmetros de distribuição de água do emissor. A área foi dividida em anéis, onde a relação entre cada anel e a área total molhada aumentava a uma razão constante. A área do anel 1 foi igual a $\pi/4$, a área do segundo anel a $3 * \pi/4$, a do anel 3 a $5 * \pi/4$, a do anel 4 a $7 * \pi/4$.

A relação para um dado número de anéis foi obtida pelo quociente entre cada parte considerada e o quadrado do número de anéis. A Tabela 4 apresenta o fator de relação para cada anel de acordo com a distribuição da área irrigada do emissor, cujo diâmetro molhado determina o número exato de anéis.

Tabela 4: Fator de relação conforme o número de anéis necessários para o teste (Armoni, 1986).

Anel		4 Anéis		5 Anéis		6 Anéis
Nº		Fator		Fator		Fator
1	1/16	0,0625	1/25	0,04	1/36	0,0278
2	3/16	0,1785	3/25	0,12	3/36	0,0833
3	5/16	0,3125	5/25	0,20	5/36	0,1389
4	7/16	0,4375	7/25	0,28	7/36	0,1944
5			9/25	0,36	9/36	0,2500
6					11/36	0,3056
	16/16	1,0	25/25	1,0	36/36	1,0

Para a determinação do coeficiente de variação, a seqüência de cálculo foi a seguinte:

- calculou-se a média ponderada do índice de aplicação (Ia) de água do anel, através da multiplicação da precipitação horária pela parte proporcional do anel (fator de relação):

$$IA = \text{Precipitação} * \text{fator de relação.} \quad (19)$$

- determinou-se a soma do quadrado (Sq) do índice de irrigação, através do produto do índice de precipitação pela média ponderada:

$$Sq = \text{precipitação} * IA \quad (20)$$

Finalmente calculou-se o coeficiente de variação (CV).

3.9. Análise Estatística

De acordo com a estatística convencional, foram calculadas medidas de tendência central como média, mediana dos dados das três subunidades. Determinaram-se os valores máximos e mínimos de cada variável do solo, obtendo, assim, a partir desses valores, a amplitude total dos dados. Calculou-se o desvio-padrão, o coeficiente de variação e os valores máximos e mínimos para cada variável. Com a finalidade de verificar a aderência dos dados a distribuição normal aplicou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 1% de probabilidade, para todas as variáveis estudadas.

A análise de dependência espacial foi feita por meio da geoestatística utilizando-se os histogramas e semivariogramas.

Os semivariogramas foram calculados a partir das pressuposições de estacionaridade da hipótese intrínseca, sendo calculada através da equação:

$$Var\{[Z(x_i) - Z(x_i + h)]\} = E\{[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2\} \quad (21)$$

Em que:

$N(h)$ - número de pares de valores medidos $[Z(x_i), Z(x_i + h)]$ separados por uma distância h .

Para o estudo em questão, os valores de Z podem ser qualquer uma das propriedades estudadas, como teor de água, por exemplo, enquanto os valores de x_i e $x_i + h$ são definidos de acordo com as posições das amostras no campo, segundo esquema da Figura 1.

Após o ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $Y^*(h)$, foram identificados os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma, ou seja, o efeito pepita, “Co”, o patamar “Co + C” e o alcance de dependência espacial “a” (Couto et al., 2000).

Os semivariogramas, utilizando um ângulo de tolerância de 10° e histogramas, foram obtidos a partir do software “GS+ 3.1 for Windows[®]” (Robertson, 1998).

Os modelos para ajuste dos semivariogramas foram escolhidos através da maior quantidade de pares, da menor soma dos quadrados dos resíduos, do menor valor para o efeito pepita e de acordo das condições atendidas para cada modelo.

A interpolação dos dados foi feita através do krigagem, denominada desta forma por Matheron (1963). Segundo Vieira (1995), a estimativa de valores medidos, considerando que a mesma deva ser uma combinação linear dos valores observados, foi feita pela seguinte equação:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \quad (22)$$

Em que:

$Z(x_i)$ - valor medido na posição x_i ,

λ_i - peso associado ao valor medido na posição x_i ,

N - número de valores medidos usados na estimativa do valor $Z^*(x_0)$.

Os mapas de isolinhas foram elaborados pelo software "SURFER 7.0[®]", utilizando-se as informações provenientes dos semivariogramas durante o processo de Krigagem na interpolação dos dados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características Hidráulicas do Microaspersor Ein Dor 861

4.1.1. Coeficiente de variação de fabricação do microaspersor novo e usado

Os valores de vazões dos 20 microaspersores ensaiados em laboratório e os retirados do campo para o cálculo do coeficiente de fabricação são apresentados na Tabela 5. Observa-se que para o micro novo a média de $39,39 \text{ L h}^{-1}$ para uma pressão de 150 kPa, com valores de desvio padrão de $0,32 \text{ L h}^{-1}$ e coeficiente de variação de fabricação de 0,008, segundo a classificação da ASAE (1996), o emissor é classificado como excelente, valor menor quando comparado ao 0,04 encontrado por Matos (1996), para um microaspersor Dan SPinkler 2001. Outro significado estatístico importante é que a média dos 25% menores valores obtidos no ensaio deve ser aproximadamente igual a $(1-1,27*CVF)*q_m$, de acordo com ASAE (1996). Neste estudo, verifica-se que os valores de $39,08$ e $39,0 \text{ L.h}^{-1}$, não existindo diferença significativa nos resultados.

Sob as condições de laboratório, nas quais foram ensaiados os microaspersores, as diferenças observadas entre as vazões, podem ser atribuídas a dois fatores principais, que são as variações no processo de fabricação e as variações de temperatura da água.

Os resultados dos ensaios realizados com os vinte microaspersores usados para o cálculo do coeficiente de uso. O valor da vazão média foi de $37,3 \text{ L h}^{-1}$ para uma pressão de 150 kPa, com um desvio padrão de $2,2 \text{ L h}^{-1}$ e um coeficiente de uso de 0,06. O valor médio de vazão foi 5,3 % menor que a vazão média dos microaspersores novos. Outro significado estatístico citado pelos autores é que a média dos 25% dos menores valores obtidos no ensaio,

deve ser aproximadamente igual a $(1-1,27*CVF)*q_m$, nesse estudo verificou-se respectivamente os valores de 34,11 e 34,44 L h⁻¹, não havendo diferença no resultado.

Tabela 5: Vazão dos microaspersores Ein Dor 861 novos e usados, submetidos a uma pressão de 150 kPa em laboratório, apresentando a média, desvio padrão, coeficiente de variação de fabricação e de uso.

Emissor	Vazão (L h ⁻¹)		Emissor	Vazão (L h ⁻¹)	
	Novos	Usados		Novos	Usados
1	38,87	39,78	11	39,97	38,52
2	39,52	31,72	12	39,73	38,33
3	38,90	38,37	13	39,45	39,25
4	39,37	37,87	14	39,62	35,37
5	39,33	37,15	15	39,35	38,88
6	39,92	37,02	16	39,33	37,47
7	39,45	37,98	17	39,43	37,48
8	38,70	38,62	18	39,52	38,35
9	39,48	34,83	19	39,48	38,95
10	39,00	37,47	20	39,32	31,62
		Novos		Usados	
	Média, (L h⁻¹)	39,39		37,30	
	Desvio Padrão (L h⁻¹)	0,32		2,20	
	CVF/ Uso	0,008		0,06	

De acordo com ASAE, citado por Keller & Bliesner (1990) o microaspersor é classificado sob o ponto de vista do processo de fabricação como médio, salientando que o microaspersor foi testado depois de 3 anos de uso no campo, onde estava sendo afetado por intempéries, variações de temperatura e desgaste de uso. Verificou-se, sobretudo que o microaspersor permanece com um bom desempenho apesar de ter diminuído a vazão. As variações detectadas, além de incorporarem o efeito do processo de fabricação, podem incluir alterações na seção de escoamento provocadas por entupimentos parciais na entrada do mesmo.

4.1.2. Curva vazão versus pressão microaspersor Ein Dor 861 novo e usado

Pode-se observar, que na Figura 5, que as equações potenciais usualmente utilizadas para caracterizar um emissor, para o microaspersor novo apresenta um coeficiente de correlação (r^2) satisfatório de 0,99. O coeficiente de descarga de (3,1055) envolve fatores ligados à construção do emissor, como área da seção transversal. Qualquer variação na vazão do emissor, advinda do processo de fabricação será considerada no referido coeficiente. O expoente de descarga x (0,5085) assim como o "h" são variáveis hidráulicamente dependentes.

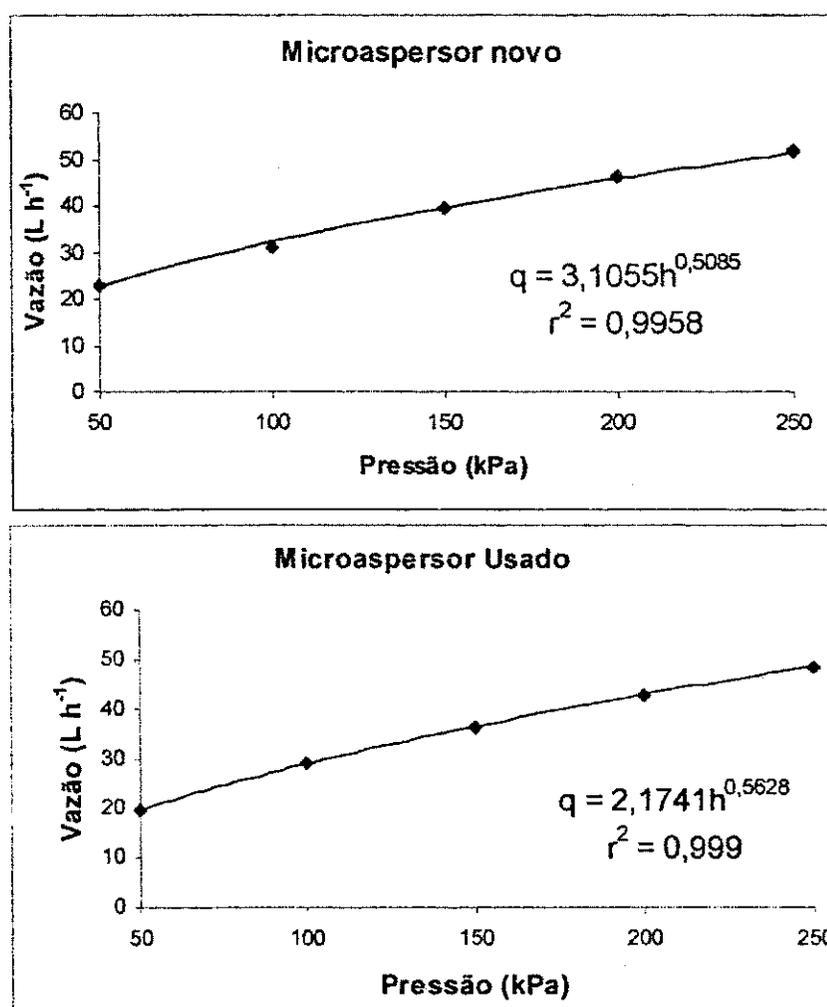


Figura 5. Gráfico da vazão em função da pressão para o microaspersores novos e usados

Assim, qualquer variação na vazão dos emissores, ocasionada pela variação hidráulica, será considerada no termo ($h^{0,5085}$), onde o expoente próximo a 0,5 classifica o regime de escoamento do microaspersor como turbulento de acordo com (Keller & Karmelli, 1974).

Para os microaspersores usados à variação máxima no teste para pressão foi de 1,3% inferior aos 3% recomendados pela ABNT (1986). Observa-se, na Figura 5, que os microaspersores usados têm um comportamento hidráulico semelhante aos novos, observando o coeficiente de correlação (r^2) de 0,999. A equação potencial ($Q = 2,1741 * h^{0,5628}$) apresenta um expoente de vazão próximo a 0,5, definido como fluxo turbulento.

4.1.3. Perfil de distribuição de água do microaspersores novos e usados

A Figura 6 apresenta o semiperfil de distribuição de água pelo microaspersor Ein Dor modelo 861 novo e usado, submetidos a uma pressão de 150 kPa. No microaspersor novo observa-se que, já nos primeiros 15 cm do emissor tem-se uma boa precipitação em torno de 1,5 mm no perfil de distribuição, verificando-se que através da curva ocorreu um efeito quadrático da lâmina em função da distância do microaspersor. De acordo com a equação obtida a máxima lâmina de água (2,09 mm) seria aplicada na distância de 107,5 cm do microaspersor, para em seguida decrescer chegando aos 315 cm com uma lâmina de 0,8 mm, onde a partir de 225 cm se tem uma lâmina que é considerada insuficiente. O microaspersor apresentou uma boa uniformidade de acordo com a equação de Hart de 81,86%.

Para o semiperfil de distribuição do microaspersores com três anos de uso, de acordo com a curva de tendência observa-se que houve um efeito quadrático da lâmina aplicada em função da distância do microaspersor. Através da equação obtida, a máxima lâmina de água de 1,84 mm seria atingida a uma distância de 103,5 cm do microaspersor, valor menor em relação ao microaspersor novo. Verifica-se que o raio efetivo do micro novo foi maior que o micro usado com uma distância de 225 cm. No microaspersor novo se tinha uma precipitação satisfatória, no entanto no micro usado a partir dessa distância baixou muito o valor da lâmina aplicada em relação ao novo. O microaspersor com três anos de uso teve um coeficiente de uniformidade de Hart de 79,53%. Pode-se dizer que essa pequena variação foi em decorrência da diminuição da seção de escoamento, tendo o micro uma baixa sensibilidade à obstrução.

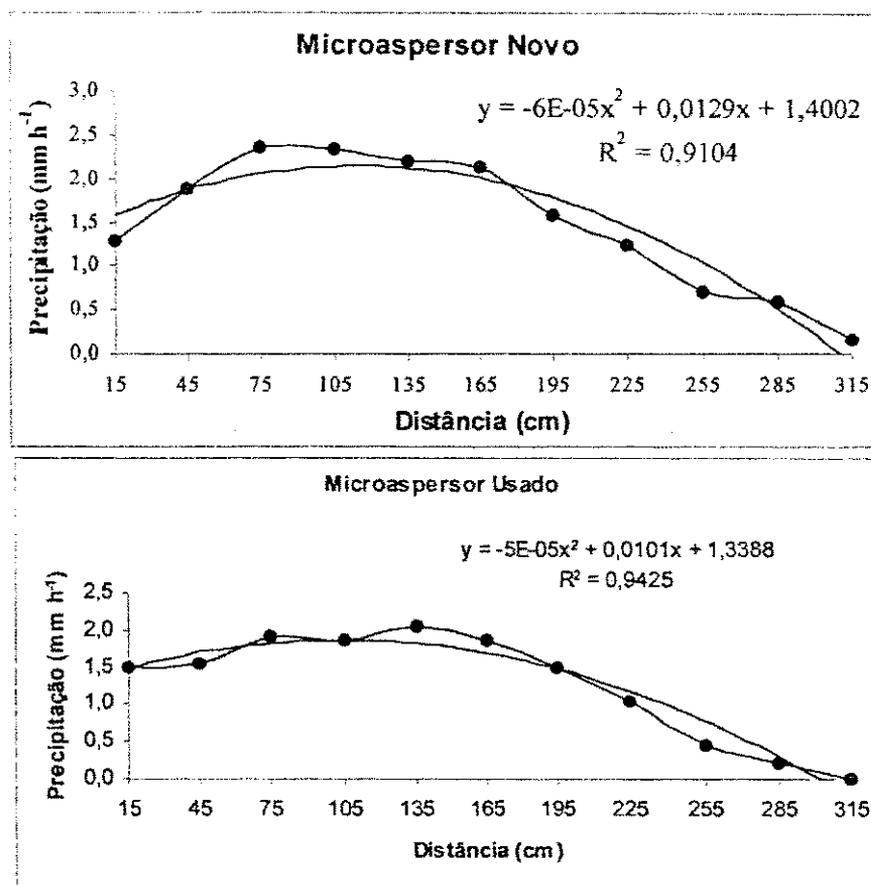


Figura 6. Semiperfil de precipitação do microaspersor novo e usado, submetido em laboratório a uma pressão de 150 kPa

4.1.4. Coeficiente de variação de aplicação microaspersores novos e usados

A Tabela 6 apresenta os valores médios de precipitação de cada anel, índice de aplicação e soma dos quadrados das lâminas. Para o estudo selecionou-se 8 anéis que possuíram uma precipitação maior que 1 mm h^{-1} que é o limite, devendo ser considerada como área molhada irrigada sem eficiência de acordo com Sadan & Shani (1996) citados por Armoni (1986).

Para o microaspersor novo observa-se um desvio padrão de $0,47 \text{ mm h}^{-1}$, um coeficiente de variação de 29,82%, sendo um bom valor para microaspersão, onde Sadan & Shani sugere um limite de 30% para variação na precipitação, comparando-se com o

coeficiente achado por Matos (1996) de 42,5% para o microaspersor Dan Sprinkler 2001 autocompensante com peças móveis.

Tabela 6: Valores médios das precipitações por anel, índice de aplicação, soma dos quadrados e coeficiente de variação do microaspersor novos e usados.

Microaspersores Novos				
Anel	P (mm.h⁻¹)	Fator de proporção	Índice de Aplicação	S. Quadrado
1	1,3	0,02	0,02	0,03
2	1,4	0,05	0,07	0,09
3	2	0,08	0,16	0,31
4	1,9	0,11	0,21	0,39
5	1,7	0,14	0,24	0,41
6	1,9	0,17	0,33	0,62
7	1,7	0,20	0,35	0,59
8	1,3	0,23	0,30	0,40
Total	13,2	1	1,580	2,717
S mm.h⁻¹	0,47	CV %	29,82	
Microaspersor Usado				
1	1,48	0,02	0,02	0,03
2	1,54	0,05	0,07	0,11
3	1,90	0,08	0,15	0,28
4	1,85	0,11	0,20	0,38
5	2,04	0,14	0,29	0,59
6	1,85	0,17	0,32	0,59
7	1,49	0,20	0,30	0,45
8	1,03	0,23	0,24	0,25
Total	13,19	1	1,50	2,54
S mm.h⁻¹	0,53	CV %	35,36	

Para microaspersor com três anos de uso verifica-se que, em relação ao novo, o desvio padrão e o coeficiente de variação aumentaram para 0,53 e 35,36%, respectivamente. Esse aumento de variação pode se dizer que se deve, principalmente, a mudanças na área de passagem de fluxo, em decorrência de entupimentos nos orifícios onde se encontra a peneira do microaspersor. Observa-se que as precipitações nos oito primeiros pluviômetros selecionados não foram diferentes dos microaspersores novos.

4.2. Desempenho do Sistema nas Subunidades Avaliadas

4.2.1. Subunidade dois (gravioleira) com microaspersores novos e usados

Os resultados obtidos da avaliação da subunidade dois com microaspersores novos e usados encontram-se no Tabela 7. Com os microaspersores novos é possível observar a baixa pressão em toda subunidade, e vazão média de $36,9 \text{ L.h}^{-1}$, sendo o microaspersor Ein Dor 861, avaliado na subunidade dois, de acordo com o fabricante uma vazão nominal de 50 L.h^{-1} e uma pressão variando de 150 a 200 kPa

Observa-se ainda no Tabela 7, a dispersão absoluta da pressão e da vazão determinada através da variação de pressão e de vazão ao longo da subunidade avaliada, a variação de pressão foi de 35,14%. Keller & Karmeli (1974) recomendam uma variação de pressão de até 20% na subunidade. A variação de vazão foi de 43,59% superior à recomendada de 10% pelos autores citados.

O coeficiente de variação da vazão CVH foi de 0,1 e o CVT de 0,12, valor próximo do encontrado por Zanini et al. (1998) que avaliando um sistema de irrigação por microaspersão, encontraram coeficiente de variação de vazão total de 0,85 a 0,11.

Para o CVE de 0,01, que indica a variação da vazão devido a causas diferentes da hidráulica principalmente a variabilidade de fabricação, obstrução do emissor, tempo de uso e sustentabilidade de variação da vazão com o tempo, esse valor é considerado baixo, caracterizando como bom o coeficiente de variação de fabricação dos emissores analisados. Pode-se dizer que, na subunidade avaliada com microaspersores novos, a variação de vazão foi devido, principalmente à variação de pressão.

O valor dos coeficientes de uniformidade de irrigação (CU) de 96,5% e o de uniformidade estatístico CUE de 88% foram elevados, sendo o CU considerado excelente, segundo normas da ASAE (1996), e o CVE. Tendo um grau de aceitabilidade bom, podendo-se dizer então que o projeto foi hidráulicamente bem dimensionado e que os emissores foram de boa qualidade. A ABNT (1987) recomenda valores de uniformidade de emissão (CV) de 75 a 80% para microaspersão em topografia uniforme e gradiente de declividade inferior a 2%.

O valor do CUP de 87,8% foi elevado onde o limite de valor mínimo recomendado para este coeficiente é de 80%. Para eficiência de aplicação (EA) de 86,86%, Keller & Bliesner (1990) recomendam valores em torno de 80% como valor mínimo satisfatório.

O expoente de descarga do emissor (x) encontrado na subunidade com microaspersores novo foi de 0,64, classificado como semi-turbulento. O fator de correção das vazões (FCV) de 1,07 e um coeficiente de uniformidade do sistema elevado de 103,5% sugerem que o sistema como um todo foi bem projetado.

De acordo com os resultados da avaliação da subunidade dois com emissores usados, é possível observar que, como os valores da avaliação com micros novos a pressão é baixa, com máxima de 131 kPa. Para o valor de vazão média de 32,9 L.h⁻¹, inferior as vazões médias em relação aos microaspersores novos em 10,84%.

A variação de pressão e da vazão ao longo da subunidade foi de 28,24 e 36,36% respectivamente, inferiores as variações com micros novos, mais muito elevadas em relação aos valores de 20% e 10% recomendados.

O coeficiente de variação da vazão CVH e o CVT de 0,11 foram mais baixos, no entanto, sem diferença em relação aos valores com os micros novos. O CVE de 0,01, não variou entre as duas avaliações realizadas, e foi considerado baixo, caracterizando bom coeficiente de variação de fabricação dos emissores ensaiados.

O coeficiente de uniformidade de irrigação (CU) de 84,69% passou de excelente para bom e, o CUE de 88,82%, o grau de aceitabilidade foi bom de acordo com a ASAE (1996).

O coeficiente de variação de pressão CUP de 89,59% aumentou em relação a avaliação com os micros novos. A eficiência de aplicação (EA) de 76,22% ficou muito abaixo do valor de 86,86% da avaliação com os micros novos, verificando que houve uma perda de

eficiência de aplicação de água com os emissores com três anos de uso, devido a mudanças na área de passagem de fluxo como obstrução.

O expoente de descarga (x) do emissor de 0,87 aumentou, verifica-se que houve perda de qualidade com o tempo de uso, evidenciando que houve mais variação de vazão do que de pressão e o coeficiente de uniformidade do sistema foi de 89,25%.

Tabela 7: Valores da avaliação da subunidade dois em condições reais de uso com 28 microaspersores novos e usados.

Variáveis	Novos	Usados
Vazão Média (L h ⁻¹)	36,9	32,9
Vazão Máxima (L h ⁻¹)	47	40
Vazão Mínima (L h ⁻¹)	26	25
Vazão 25 % Mínima (L h ⁻¹)	35,6	27,9
Desvio Padrão de vazão (L h ⁻¹)	4,44	3,7
Variação de Vazão (%)	43,59	36,36
Pressão Média (kPa)	122	112
Pressão Máxima (kPa)	148	131
Pressão Mínima (kPa)	96	94
Pressão 25 % Mínima (kPa)	107	100
Desvio Padrão de pressão (kPa)	12,4	9,8
Variação de Pressão (%)	35,14	28,24
Expoente de Descarga do Emissor - X	0,64	0,87
Coeficiente de Uniformidade de Irrigação % - CU	96,5	84,69
Coeficiente de Uniformidade de Pressão % - CUP	87,8	89,59
Fator de Correção das Vazões - FCV	1,07	1,05
Coeficiente de Uniformidade do Sistema %- CUS	100	89,25
Eficiência de Aplicação % - EA	86,86	76,22
Coeficiente de Variação Total de Vazão - CVT	0,12	0,11
Coeficiente de Uniformidade Estatístico % - CUE	88,0	88,82
Coeficiente de Variação da Vazão - CVH	0,10	0,09
Coeficiente de Variação Estatístico da Vazão - CVE	0,01	0,01

4.2.2. Desempenho da subunidade cinco (goiabeira)

Os resultados obtidos na avaliação da unidade cinco, cultivada com a goiaba estão na Tabela 8, onde se pode verificar que a pressão média de 84 kPa é muito inferior do valor recomendado pelo fabricante que é de 150 kPa. A subunidade apresenta uma variação de pressão de 34,65% e uma variação de vazão de 50,62% valores muito elevados se comparados com a recomendação de Keller & Karmeli (1974). A vazão média ficou em 35,1 L h⁻¹ e um coeficiente de variação de vazão CVH de 0,14. O coeficiente estatístico da vazão CVE de 0,02 indica que esse valor é considerado baixo, tendo o emissor um bom coeficiente de fabricação, podendo se dizer que a variação de vazão foi devida principalmente à variação de pressão.

O coeficiente de uniformidade de irrigação (CU) de 76,92% e o CUE de 79,35% que de acordo com a classificação da ASAE (1996), com um grau de aceitabilidade normal. Para o CUP de 82,86% ficando perto do limite onde o valor mínimo é de 80%. O coeficiente de aplicação (EA) foi 69,23%, sendo um valor muito baixo em relação aos 80% sugerido por Keller e Bliesner (1996) como satisfatórios.

O expoente de descarga (x) de 0,95 mostra que esse valor foi acentuado por causa das baixas pressões e, conseqüentemente baixos valores de vazão. Os dados encontrados para essa subunidade de irrigação, seriam justificados por motivo da secundária ser de comprimento elevado se encontrar mal dimensionada. O coeficiente de uniformidade do sistema de 80,36 % ao contrário do valor da subunidade foi considerado como bom.

Tabela 8. Valores da avaliação da subunidade cinco em condições reais de uso, com 28 microaspersores avaliados.

Vazão Média (L h⁻¹)	35,1
Vazão Máxima (L h ⁻¹)	49
Vazão Mínima (L h ⁻¹)	24
Vazão 25 % Mínima (L h ⁻¹)	27,0
Desvio Padrão de Vazão (L h ⁻¹)	7,25
Variação de Vazão %	50,62
Pressão Média (kPa)	84
Pressão Máxima (kPa)	101
Pressão Mínima (kPa)	66
Pressão 25 % Mínima (kPa)	69
Desvio Padrão da Pressão (kPa)	11,9
Variação de Pressão %	34,65
Expoente de Descarga do Emissor - X	0,95
Coefficiente de Uniformidade de Irrigação % - CU	76,92
Coefficiente de Uniformidade de Pressão % - CUP	82,86
Fator de Correção das Vazões - FCV	1,04
Coefficiente de Uniformidade do Sistema% - CUS	80,36
Eficiência de Aplicação % - EA	69,23
Coefficiente de Variação Total de Vazão - CVT	0,21
Coefficiente de Uniformidade Estatístico% - CUE	79,35
Coefficiente de Variação da Vazão - CVH	0,14
Coefficiente de Variação Estatístico da Vazão - CVE	0,02

4.2.3. Desempenho da subunidade dez (coqueiro)

Na Tabela 9, estão os valores da avaliação da subunidade dez cultivada com coqueiro. Observa-se que a pressão média foi baixa de 77 kPa e o valor de vazão de 37,4 Lh⁻¹ muito baixa para um microaspersor com uma vazão nominal de 70 Lh⁻¹, de acordo com o fabricante. Verifica-se que a variação de pressão de 65,81% foi muito superior aos 10 % recomendados e

a variação de vazão foi de 57,45% apresentando uma variação muito alta em relação aos 20% sugeridos pelos autores.

Tabela 9. Valores da avaliação da subunidade dez em condições reais de uso, com 25 microaspersores avaliados

Vazão Média (L h⁻¹)	37,4
Vazão Máxima (L h ⁻¹)	56
Vazão Mínima (L h ⁻¹)	24
Vazão 25% Mínima (L h ⁻¹)	28,8
Desvio Padrão de vazão (L h ⁻¹)	10,03
Variação de Vazão %	57,45
Pressão Média (kPa)	77
Pressão Máxima (kPa)	117
Pressão Mínima (kPa)	40
Pressão 25 % Mínima (kPa)	44
Desvio Padrão de pressão (kPa)	23,8
Variação de Pressão %	65,81
Expoente de Descarga do Emissor - X	0,65
Coefficiente de Uniformidade de Irrigação % - CU	76,9
Coefficiente de Uniformidade de Pressão % - CUP	58,0
Fator de Correção das Vazões - FCV	1,06
Coefficiente de Uniformidade do Sistema% - CUS	81,8
Eficiência de Aplicação % - EA	69,24
Coefficiente de Variação Total de Vazão – CVT	0,27
Coefficiente de Uniformidade Estatístico de Vazão % - CUE	73,2
Coefficiente de Variação da Vazão – CVH	0,31
Coefficiente de Variação Estatístico da Vazão – CVE	0,03

O coeficiente de variação estatístico da vazão CVE de 0,03 caracteriza um bom coeficiente de variação de fabricação dos emissores analisados, indicando também que o microaspersor não tem uma alta sensibilidade à obstrução. Através dos coeficientes de

uniformidade (CU) e CUE, foi possível classificar como normal à uniformidade de acordo com a ASAE, (1996). O CUP de 58,0% foi inferior do limite de 80%, como a (EA) de 69,24% que também ficou muito baixo dos valores recomendados por Keller & Bliesmer, (1990). O expoente de descarga (x) de 0,65 classifica o regime de fluxo como semiturbulento, o fator de correção das vazões (FCV) de 1,06 e um coeficiente de uniformidade do sistema de 81,8% mostram que são valores muito próximos em relação às outras subunidades avaliadas dentro do mesmo projeto.

4.3. Parâmetros Estatísticos e Geoestatísticos para a Subunidade Dois

4.3.1. Vazão e pressão na subunidade com microaspersores Ein Dor 861 novos e usados

Os dados dos principais parâmetros estatísticos da vazão e da pressão da subunidade dois são apresentados na Tabela 10. Os resultados mostram os valores máximos e mínimos de vazão de 40 e 25 L h⁻¹ dos 28 microaspersores com três anos de uso, avaliados em condições reais de uso, com coeficiente de variação de 11,39%, dentro da malha onde foram coletados os valores de umidade. A vazão média foi de 32,93 L h⁻¹ sendo menor que a média do valor obtido em laboratório de 37,3 L h⁻¹ submetido o microaspersor a uma pressão de 150 kPa.

Quando se trocou os microaspersores usados por novos os valores de vazão máxima foi de 46,80 L h⁻¹, com os microaspersores novos houve um aumento de 3,93 L h⁻¹ na vazão média e um coeficiente de variação de 12,05%.

Para os valores de pressão na subunidade dois, foi constatado que, para os microaspersores usados, a máxima pressão medida foi de 131 kPa e uma pressão média de 112 kPa. Na troca pelos microaspersores novos, a pressão teve um aumento médio de 10 kPa.

A figura 7 mostra o histograma que a grande parte das maiores frequências se concentram perto da média, mostrando assim a distribuição normal dos dados com valores máximos e mínimos em torno de 3,21%. No histograma da vazão do microaspersor novo observa-se que o número de pontos com valores perto da média da vazão dos microaspersores novos é onde se concentram as frequências mais elevadas, influenciando a distribuição normal dos dados ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Komogorov-Sminov.

Tabela 10. Valores estimados para as principais características das variáveis estudadas e teste (KS) para os valores de vazão e pressão do sistema hidráulico da subunidade dois

Parâmetros	Vazão Usados	Vazão Novos	Pressão Usados	Pressão Novos
	L.h ⁻¹	L.h ⁻¹	kPa	kPa
Média	32,93	36,86	112	122
Mediana	34,00	36,00	115	122
Desvio-Padrão	3,7	4,44	10	12
CV%	11,39	12,05	8,76	10,14
Variância	14,07	19,72	95,84	154,02
Mínimo	25,00	26,40	94	96
Máximo	40,00	46,80	131	148
Teste KS	0,257**	0,218**	0,133**	0,159**

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

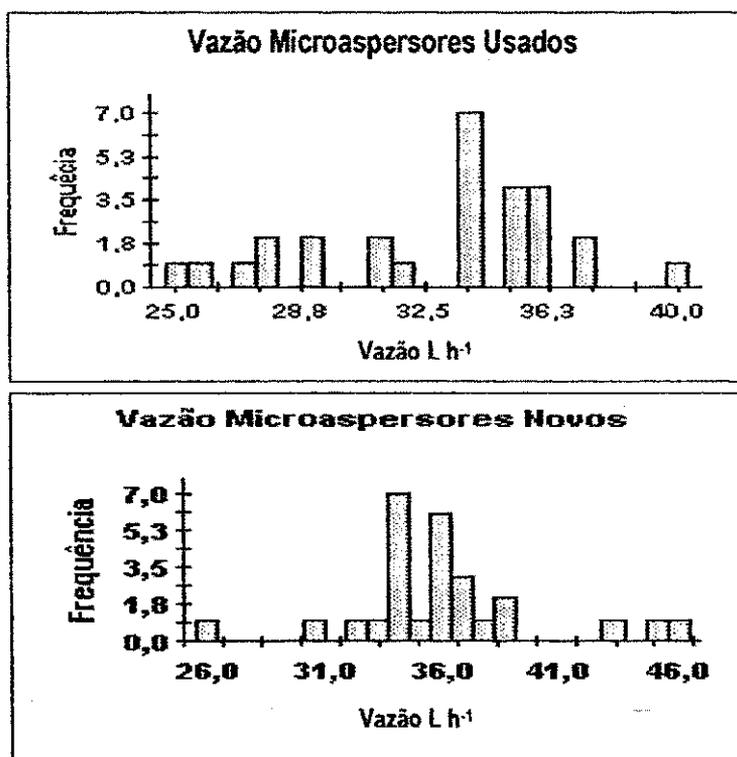


Figura 7. Histograma da vazão dos microaspersores novos e usados em L h⁻¹, na subunidade dois cultivada com graviola

Para os valores de pressão com os micros que já estavam na subunidade há três anos, a variação foi de 131 e 94 kPa para máxima e mínima, respectivamente, tendo uma média de 112 kPa, com um coeficiente de variação de 8,76%. Através da Figura 8, o histograma de frequência mostra que houve uma distribuição normal dos dados, onde a média muito perto da mediana valida essa distribuição. Observa-se que as frequências menores de 3,21% ocorrem com os máximos e mínimos valores.

Já os valores de pressão com os micros trocados por novos, houve um aumento de pressão de 10 kPa em relação a média que foi de 122 kPa. Os menores valores de pressão ficaram em torno de 94 kPa, com máximos de 148 kPa. O coeficiente de variação de 10,14% foi maior que os usados de 8,76%. Através da Figura 8, o histograma como nos usados o número de pontos perto da média foi elevado e a mediana de mesmo valor mostra uma distribuição normal dos dados, com valores máximos e mínimos em torno de 25%.

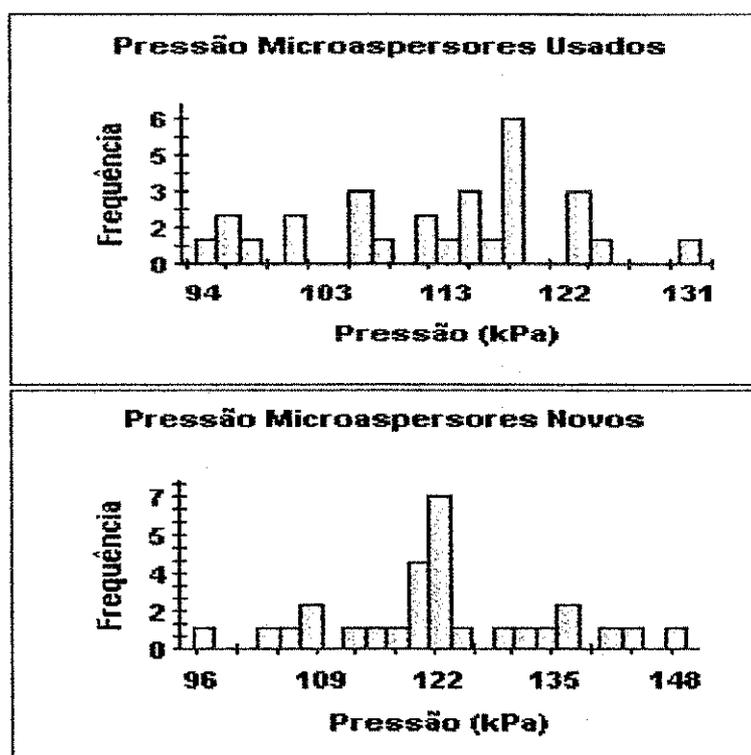


Figura 8. Histograma da pressão, com os microaspersores novos e usados na subunidade dois, cultivada com graviola

São apresentados, na Tabela 11, os valores dos semivariogramas analisados de vazão e pressão da subunidade dois com microaspersores novos e usados, onde se pode verificar que o modelo que se ajustou melhor para a vazão do microaspersores novos foi o exponencial, com efeito, pepita de 5 l.

Tabela 11. Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas para os valores de vazão e pressão na subunidade dois com microaspersores novos e com dois anos de uso.

Parâmetros		E. pepita	Patamar	Alcance	Dependência espacial %	Aleatoriedade
Variáveis	Modelo	Co	Co+C	a	(Co/(Co+C)).100	E= (Co/C)
Vazão Novo	Exponencial	5,0	35,0	212,0 m	14,2 ft	0,16 s
Vazão Usado	Esférico	1,0	33,0	218,0 m	3,0 ft	0,031 s
Pressão Novo	Esférico	12	334	225 m	3,6 ft	0,54 ms
Pressão Usado	Exponencial	43	137	58 m	31,38 ft	0,45 ms

m- metro ft - forte s - significativo ms - muito significativo

A Figura-9 apresenta o semivariograma da vazão dos microaspersores novos e usados, onde se verifica que o efeito pepita de 5 Lh⁻¹, patamar da vazão dos micros novos é de 35 Lh⁻¹ e o alcance de 212 m onde existe uma influência de uma amostra sobre a outra. A dependência espacial entre os emissores foi forte, com 14,28% de acordo com a classificação de Cambardella et al. (1994), fato verificado, pois o sistema está interligado, mas com uma aleatoriedade muito significativa de 0,16 mostrando que valores de vazão dependem do estado do emissor. Para o semivariograma Figura 9 da variância de vazão em função da distância dos microaspersores que estavam em campo há três anos apresenta um modelo esférico, com efeito, pepita de 1 L h⁻¹, valor mais baixo em comparação com os novos, apresentando um patamar menor de 33 L h⁻¹ e um alcance de 218 m, com uma dependência espacial de 3%, classificado como forte e uma aleatoriedade de 0,031.

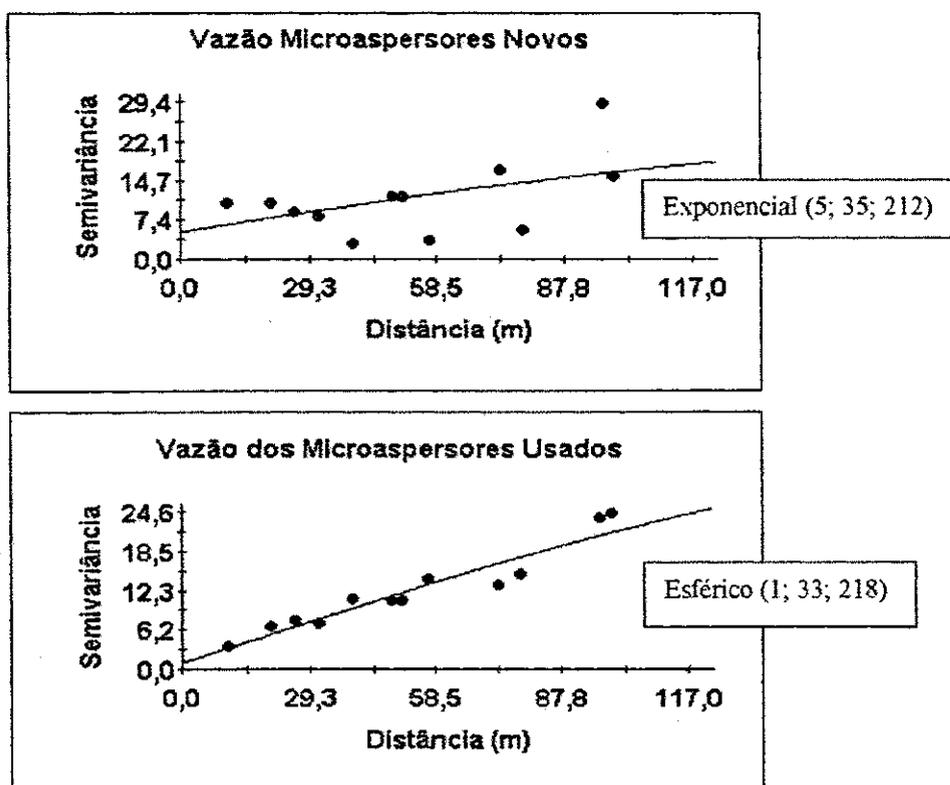


Figura 9. Semivariograma da vazão dos microaspersores novos e usados em $L h^{-1}$ na subunidade dois, cultivada com gravioleira

A Figura 10 apresenta o semivariograma da pressão com os microaspersores novos e usados, o semivariograma com os microaspersores novos Figura 15, apresenta um modelo esférico, com um efeito pepita muito baixo de 12 kPa. O patamar ficou em 334 e o alcance de 225m, observando-se que a dependência espacial de 3,6 classificada como forte e uma aleatoriedade de 0,037 classificada como pouco significativo.

No semivariograma para pressão com microaspersores usados, o modelo foi exponencial, com um efeito pepita também baixo de 43 um patamar de 137 expressando que a estabilidade seria atingida com essa pressão. O alcance de 58, mostrando uma dependência espacial forte de 31,38 % e um grau de aleatoriedade muito significativo.

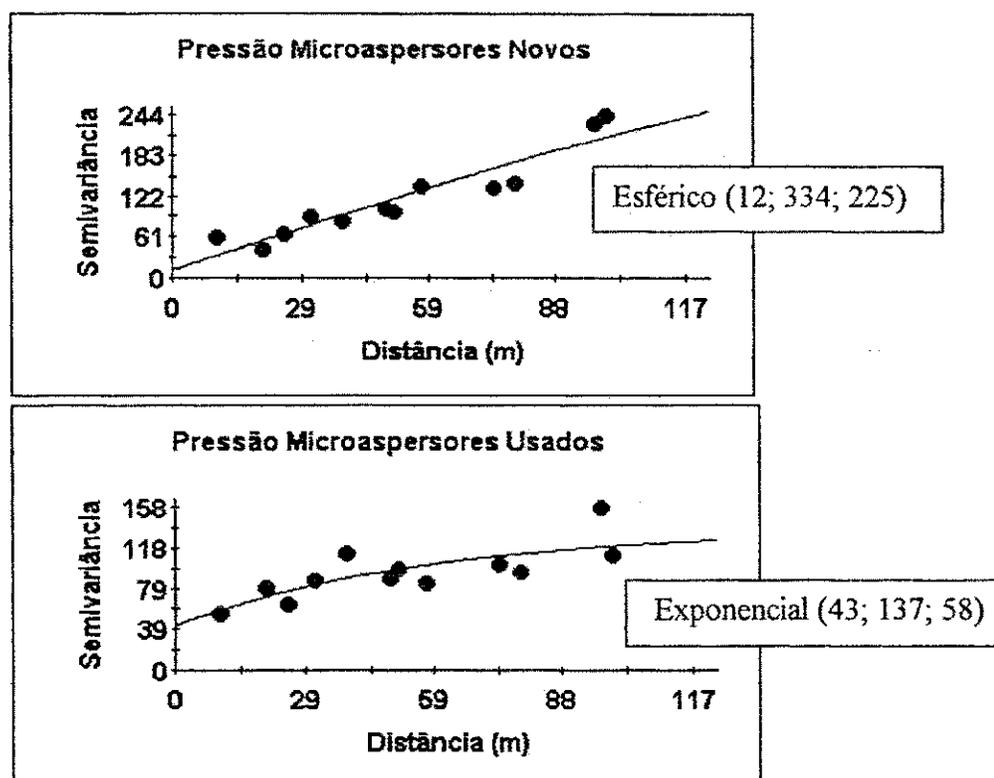


Figura 10. Semivariograma da pressão com os microaspersores novos e usados na subunidade dois, cultivada com gravioleira.

4.3.2. Mapa de isolinhas

Os mapas de isolinhas foram elaborados fazendo-se a interpolação pelo método da krigagem, que são representações gráficas de amostras que apresentam valores iguais de determinada variável. Pode-se observar, através da Figura 11, o mapa de isolinhas gerado a partir do modelo esférico, onde não apresenta muita variação com uma média de $32,93 \text{ L h}^{-1}$, ocorrendo no início da área, vazões maiores nos pontos de emissão e valores mínimos de 25 L h^{-1} no final. Já Com os microaspersores trocados a média aumentou para $36,86 \text{ L h}^{-1}$, onde é possível observar o mapa gerado a partir do modelo exponencial que os pontos onde as vazões maiores foram no início, chegando a 46 L h^{-1} , diminuindo em direção do final da secundária, com valores mínimos de $26,40 \text{ L h}^{-1}$. Observa-se que a causa dessa diminuição de vazão foi a pressão do sistema quando comparado com os testados em laboratório em que o coeficiente

de variação de fabricação foi de apenas 0,01%, e uma vazão média de $39,39 \text{ L h}^{-1}$ submetido a uma pressão de 150 kPa em laboratório.

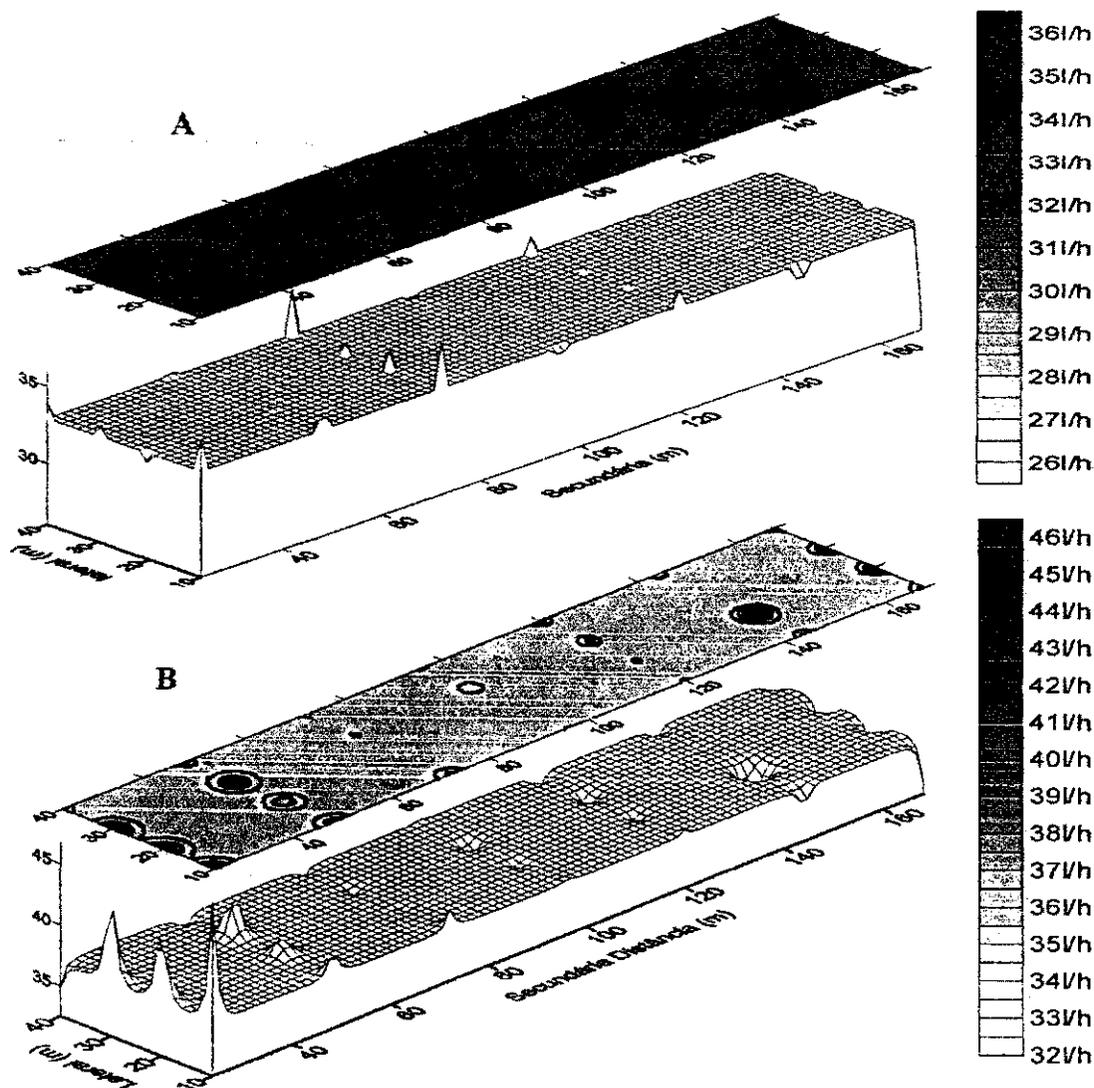


Figura 11. Mapa de isolinhas da vazão em L h^{-1} dos microaspersores novos e usados na subunidade dois cultivada com graviola

O mapa de isolinhas Figura 12-A, gerado a partir de um modelo exponencial para a pressão dos pontos com os microaspersores usados, apresenta uma variação de 94 a 131 kPa mínimos e máximos, respectivamente, onde é possível observar que os valores máximos estão no início da malha instalada na subunidade. Com as medida de pressão nos pontos de emissão com os microaspersores trocados por novos, pode-se observar pelo mapa de isolinhas Figura

12-B, a média de 122 kPa foi maior que na avaliação anterior mas apresentando uma variação de pressão maior de 52 kPa entre valores máximos e mínimos.

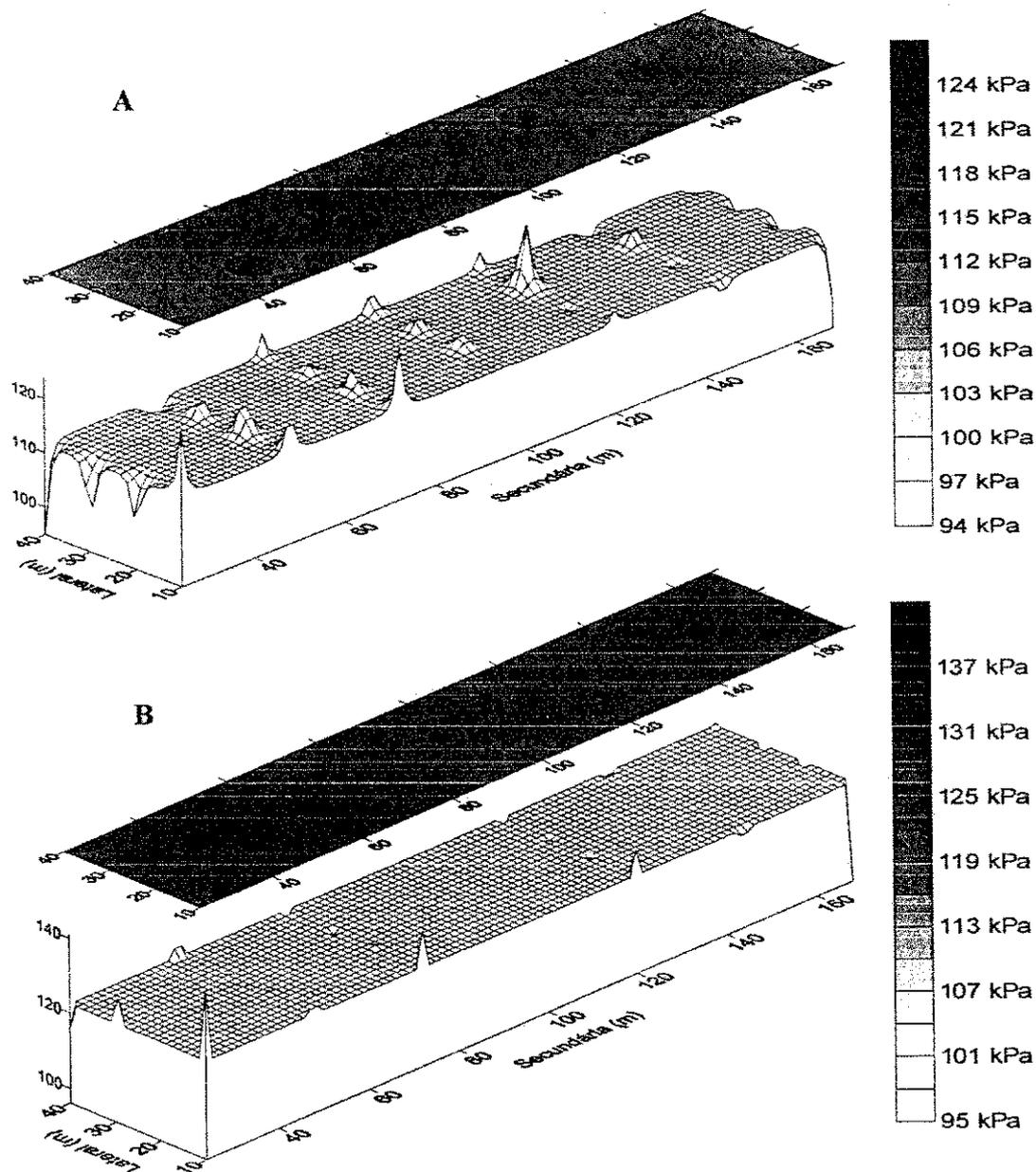


Figura 12. Mapa de isolinhas da pressão kPa com microaspersores novos e usados na subunidade dois, cultivada com gravioleira

4.3.3. Disponibilidade de água no solo na subunidade dois

Os resultados das medidas estatísticas das disponibilidades de água nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, na subunidade dois, são apresentados na Tabela 12. Eles mostram que os valores de disponibilidade de água em lâmina na camada de 0-20 cm, antes da irrigação variaram com valores máximos de 51,80 mm a 17,50 mm valores mínimos, com a capacidade de campo do solo de 54,87 mm submetido a uma tensão de 33,4 kPa e o ponto de murcha de 29,77 mm de acordo com a curva característica do solo, apêndices. No entanto a média geral da umidade na subunidade ficou em 34,94 mm que corresponde a uma tensão de 657,5 kPa que está na faixa de água disponível para as plantas.

Os valores de umidade uma hora depois da irrigação na camada de 0-20 cm apresentaram uma variação com valores máximos de 56,33 mm correspondendo a uma tensão de 287 kPa de acordo com a curva do solo e mínimo de 23,29 mm, observando assim que mesmo depois da irrigação houve pontos que não atingiram uma lâmina aceitável. A média das lâminas na camada de 0-20 cm ficou em 40,06 mm correspondendo uma tensão de 312 kPa.

O coeficiente de variação (CV) foi de 26,09% e 21,08% antes e depois da irrigação, respectivamente. A proximidade dos valores entre média e mediana sugerem aderência dos dados à distribuição normal (Spigel, 1985). Concordando com o teste de Kolmogorov-Smirnov (KS), ao nível de 1% de significância, confirmam este comportamento para valores das lâminas de água no solo na camada de 0-20 cm antes e depois da irrigação.

É possível observar na Tabela 12 que em todas as profundidades estudadas a disponibilidade de água aumenta após as irrigações, o coeficiente de variação diminui depois da aplicação de água e aumenta com a profundidade. Apenas na profundidade de 40-60 cm a disponibilidade de água no solo, tanto antes como depois da irrigação é maior que o valor correspondente a capacidade de campo (27,52mm). Tanto na superfície como no interior do solo, os valores analisados apresentam distribuição normal, média aproximadamente igual a mediana e significativo ao nível de 1% de probabilidade segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov (KS).

Tabela 12. Valores estimados para as principais características das variáveis estudadas e teste (KS) na camada 0-20, 20-40 e 40-60 cm do solo da subunidade dois, cultivada com gravioleira

Profundidade	0-20 cm		20-40 cm		40-60 cm	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
Parâmetros	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Média	34,94	40,06	38,63	42,20	42,87	46,11
Mediana	34,99	38,80	37,70	39,86	41,98	44,42
Variância	83,08	71,36	107,23	100,36	172,53	158,97
Desvio-Padrão	9,11	8,45	10,36	10,02	13,14	12,61
CV%	26,09	21,08	26,81	23,74	30,64	27,34
Mínimo	17,50	23,29	20,91	26,72	22,80	25,91
Máximo	51,80	56,33	60,31	63,28	69,91	72,35
Teste KS	0,091**	0,131**	0,206**	0,230**	0,147**	0,255**

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

A Figura 13 os histogramas para quantidade de água no solo antes e depois das irrigações na profundidade de 0-20 cm do solo. Antes das irrigações mostra o histograma que, o número de amostras com valores de umidade na média estão em torno de 14,28% da frequência, e a média de 34,94 mm e mediana de 34,99mm influenciando na distribuição normal dos dados pelo teste (KS) altamente significativo ($P \leq 0,01$).

O histograma para quantidade de água depois das irrigações indica que o número de amostras com valores perto da média foi, elevado na camada de 0-20cm, em torno de 14,28%, influenciando a distribuição normal dos dados mostrando um aumento médio na quantidade de água de 5,12mm e que o número de amostras com valores mínimos e máximos tiveram uma frequência baixa de 3,57%.

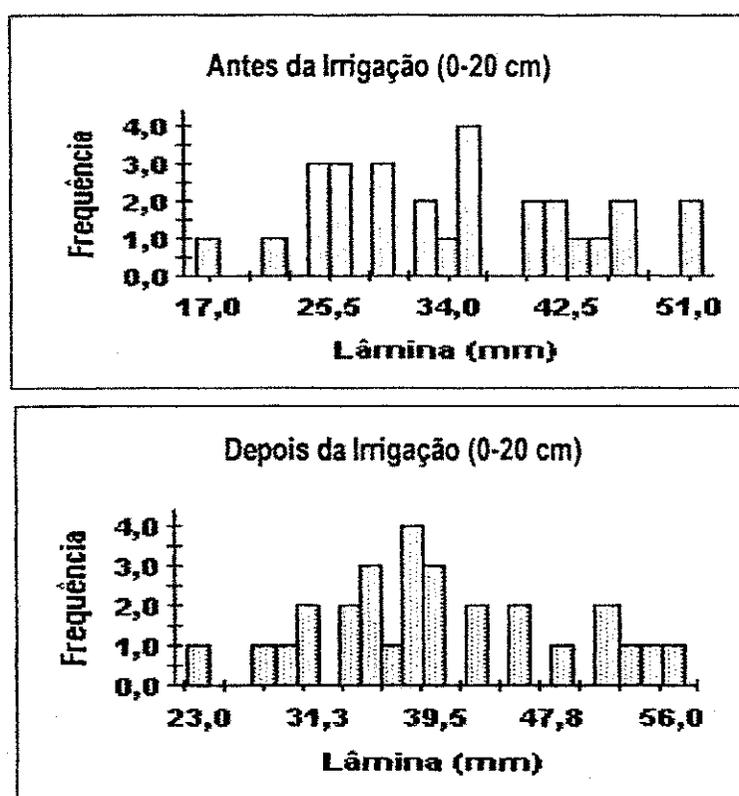


Figura 13. Histograma da umidade do solo na profundidade de 0-20 cm antes e depois das irrigações, subunidade dois, cultivada com gravioleira

A Figura 14 apresenta o histograma para a quantidade de água no solo na camada de 20-40 cm do solo, antes e depois das irrigações, observa-se que os valores variaram de 20,91 a 60,31mm, mínimos e máximos respectivamente, onde a capacidade de campo seria atingida com uma lâmina de 46,06mm e o ponto de murcha de 20,81mm. A média da lâmina no solo antes da irrigação era de 38,63 mm, que corresponde a uma tensão de 90,1 kPa.

O histograma de freqüência para antes das irrigações mostra que a grande parte dos valores de umidade antes da irrigação se encontra em torno da média e foi maior que na camada de 0-20cm, seguindo uma distribuição normal, através da aplicação do teste KS ao nível de 1% de probabilidade.

Após uma hora da irrigação, na camada de 20-40 cm os valores de umidade variaram de 63,28mm e 26,92mm para os valores máximos e mínimos, respectivamente, estando o valor mínimo que corresponde a uma tensão de água no solo de 483 kPa dentro da faixa disponível para as plantas. A média foi de 42,20 mm que corresponde a uma tensão no solo de

50,6 kPa de acordo com a curva característica do solo, constatando-se que nessa profundidade a umidade do solo já se encontra em condições satisfatórias.

O histograma da Figura 14 mostra que a frequência com valores perto da média foram elevados, seguindo uma distribuição normal dos dados, e que valores perto da lâmina máxima observada teve para a cama da de 20-40 cm uma frequência em torno de 2,8%, correspondendo a uma tensão de água no solo de 2,5 kPa, constatando excesso de água nesse ponto amostrado.

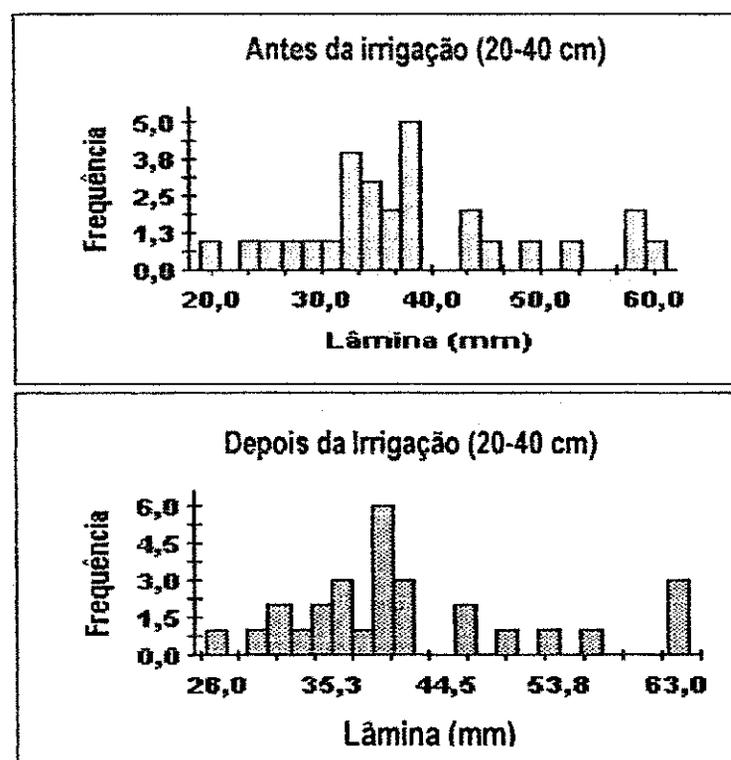


Figura 14. Histograma da umidade do solo, na profundidade de 20-40 cm, antes e depois da irrigação na subunidade dois, cultivada com gravioleira

A Figura 15 apresenta o histograma de frequência para a quantidade de água na profundidade de 40-60 cm, onde a umidade do solo antes da irrigação variou de 22,80 mm a 69,91 mm, mínimos e máximos, respectivamente, onde a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente seriam atingidos com 27,52 mm e 10,3 mm, respectivamente, observando que o valor mínimo que, corresponde a uma tensão de água no solo de 80 kPa, de acordo com a curva característica do solo, e está numa faixa satisfatória de água disponível para as

plantas. A média de 42,87 mm, que corresponde a uma tensão de 0,8 kPa apresenta, de acordo com a Figura 15, uma frequência de 14,28% representando um excesso de água nos pontos amostrados. A ocorrência de uma distribuição normal dos dados caracteriza que a média foi representativa entre os valores de umidade. Para os valores de lâminas no solo na camada de 40-60 cm, uma hora depois da irrigação obteve um acréscimo médio de 6,87 mm elevando a lâmina que variou de 72,35 a 25,91 mm máximos e mínimos respectivamente. O valor da média ficou em 46,11mm que corresponde a uma tensão de água no solo de 0,4 kPa. Através da Figura 15, observa-se que valores em torno da média tiveram uma frequência de 17,85%, com valores máximos e mínimos em torno de 3,92% ocorrendo uma distribuição normal entre os dados.

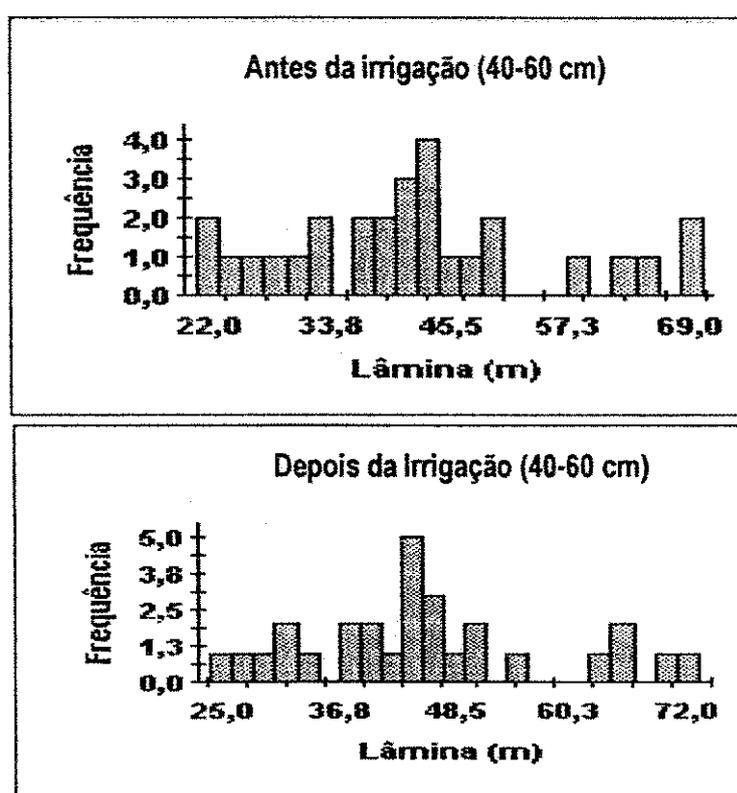


Figura 15. Histograma da umidade do solo na profundidade de 40-60 cm, antes e depois da irrigação na subunidade dois, cultivada com gravioleira

4.3.4. Análise da estatística espacial

A Tabela 13 mostra os parâmetros da geoestatística para as disponibilidades de água nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, antes e depois das irrigações. Foi possível notar que para todas as profundidades antes e depois da irrigação os modelos foram lineares exceto para a disponibilidade de água na profundidade de 20-40 cm depois das irrigações onde o modelo foi exponencial, o efeito pepita variando de 37,13 a 122 mm para todas as profundidades, patamar com uma variação de 89,27 a 170 mm. Observa-se que o alcance na profundidade de 20 a 40 cm depois das irrigações foi de 199,0 m diferente dos demais que ficaram em 98,9m, vindo esse valor a ocorrer em decorrência do modelo matemático adotado que foi o exponencial.

Tabela 13. Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas para os valores de umidade do solo antes e depois da irrigação nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm na subunidade dois.

Parâmetros		E. pepita (mm)	Patamar (mm)	alcance (m)	Dependência espacial %	Aleatoriedade
Variáveis	Modelo	Co	Co+C	a	(Co/(Co+C)).100	E=(Co/C)
20 cm antes	Linear	42,29	103,83	98,90	40,7 m	0,68 ms
20cm depois	Linear	37,13	89,27	98,90	41,6 m	0,71 ms
40cm antes	Linear	71,61	115,14	98,90	62,2 m	1,64 ms
40cm depois	exponencial	66,0	170,0	199,0	38,8 m	0,63 ms
60cm antes	Linear	122,49	146,86	98,90	83,4 f	5,02 ms
60cm depois	Linear	114,04	135,50	98,90	84,1 f	5,31 ms

m- moderada, f- fraca, ms- muito significativo, ps- pouco significativo

A razão do efeito pepita patamar mostra um grau de dependência espacial de 40,7% classificado como moderado de acordo com Cambardella et al. (1994) sendo justificada por ser o sistema localizado e ao mesmo tempo dependendo de um sistema hidráulico que é interligado. A aleatoriedade mostra que para todos as profundidades antes e depois das irrigações foi classificado como muito significativo.

Observa-se na Figura 16, os semivariogramas da disponibilidade de água na camada de 0-20 cm antes e depois das irrigações, verifica-se antes das irrigações o efeito pepita que é a variabilidade não explicada ocorreu com 42,29 mm, já o patamar sugere que a variância dos pontos onde atinge a estabilidade foi de 103,8 mm desta maneira o valor do alcance da umidade do solo na camada de 0-20 cm, possui dependência de 98,90 m, e garante que todos os valores vizinhos situados na malha são semelhantes, que podem ser usados para estimar valores para qualquer ponto entre essa distância. Vieira & Lombardi (1995) confirmam que o alcance de dependência espacial também é importante no estudo do semivariograma, significando a distância máxima que uma variável está correlacionada espacialmente, considerando que para esse estudo, como o sistema é localizado os pontos de amostragem foram nos pontos de emissão de água.

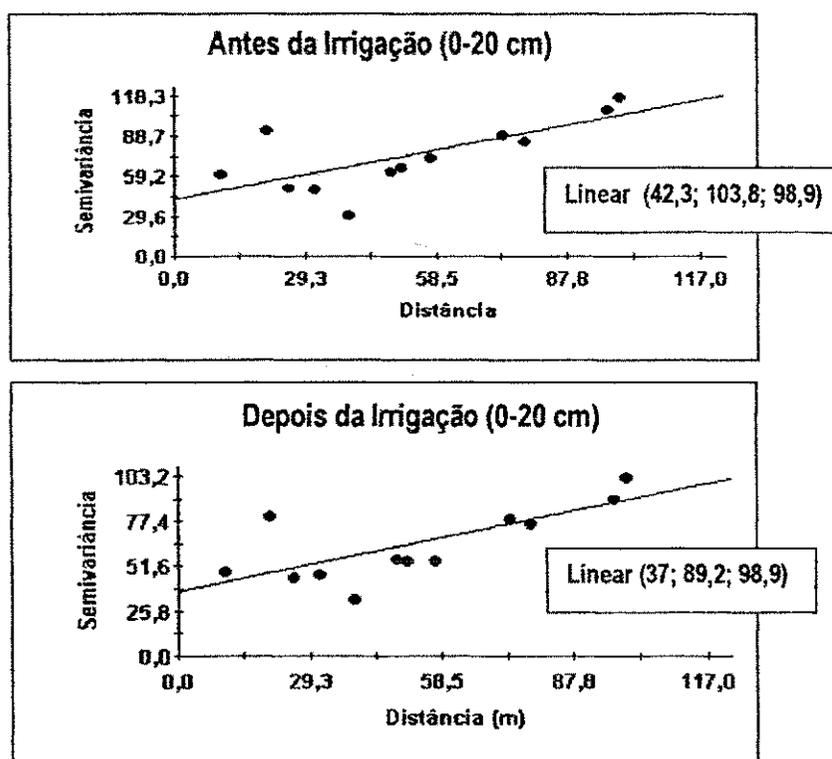


Figura 16. Semivariograma da umidade do solo na profundidade de 0-20 cm, antes e depois das irrigações

Para o semivariograma da camada de 0-20 cm depois da irrigação, pode-se verificar que se ajustou também ao modelo linear. O efeito pepita foi de 37,13 (Tabela-13), e que a variância dos pontos atinge a estabilidade num patamar de 89,27 mm, o que não variou foi o

alcance sugerindo que o raio de influência seja de 98,90 m. A dependência espacial continuou moderada 41,6% para os valores em lâmina de pois da aplicação de água.

Verifica-se que, para propriedades físicas e químicas do solo, tem-se uma dependência espacial forte, com valores menores de 25%, como propriedades físicas: capacidade de campo e ponto de murcha. Justificando uma dependência espacial classificada como moderada por ser uma lâmina de água aplicada por um sistema que tem uma eficiência de aplicação de 76,22%, como mostra na Tabela-7, e conseqüentemente variações na sua uniformidade.

Os semivariogramas a seguir (Figura 17) da disponibilidade de água antes e depois das irrigações na camada de 20-40 cm, antes das irrigações o semivariograma, teve um melhor ajuste com o modelo linear, com efeito, pepita de 71,61 mm, e um patamar de 115,14 mm e um alcance permanecendo em 98,90 m, com uma dependência espacial moderada de 62,2% e o grau de aleatoriedade muito significativo de 1,64 de acordo com (Guerra, 1988).

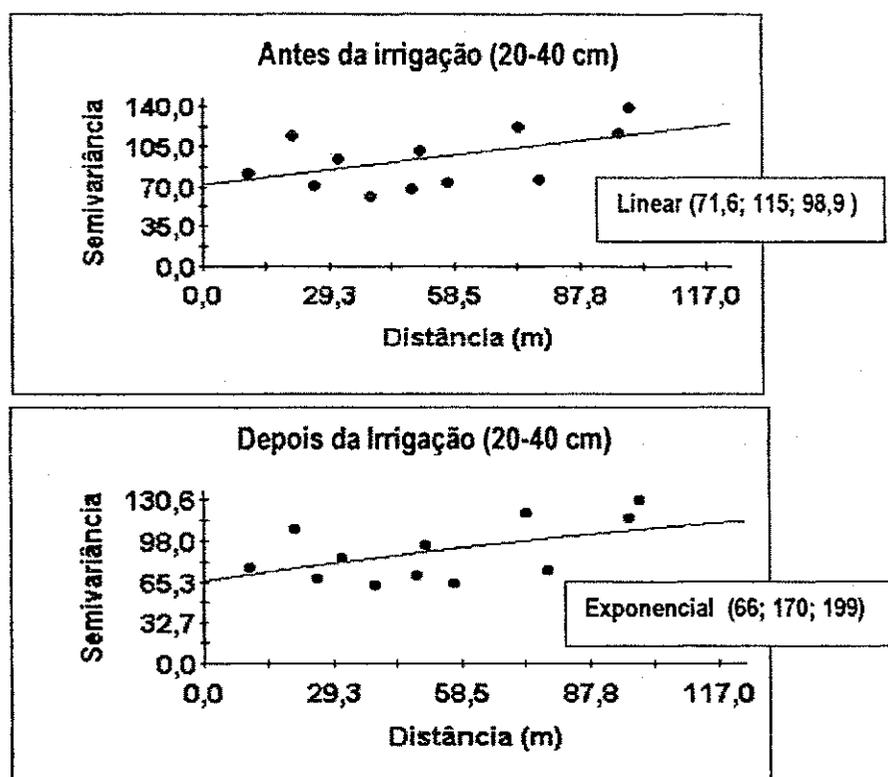


Figura 17. Semivariograma da umidade do solo, na profundidade do solo de 20-40 cm, depois da irrigação na subunidade dois, cultivada com graviola

No entanto para depois da irrigação, o modelo foi exponencial, com efeito pepita menor de 66 mm, mas com um patamar maior de 170 mm. Nesta profundidade, ocorreu que a distância de influência de uma amostra para outra aumentou para 199 m de raio, a dependência espacial foi de 38,8%, classificada como fraca, e o grau de aleatoriedade permaneceu em muito significativo em 0,63.

Na camada de 40-60 cm antes da irrigação, Figura 18, o modelo que se ajustou foi o linear, com uma variabilidade não explicada de 122,49 mm, o valor do patamar de 146,86 mm e um alcance de que retornou para os 98,90m, ocorrendo nessa camada uma fraca dependência espacial de 83,4%, com um grau de aleatoriedade de 5,02, classificado como muito significativo.

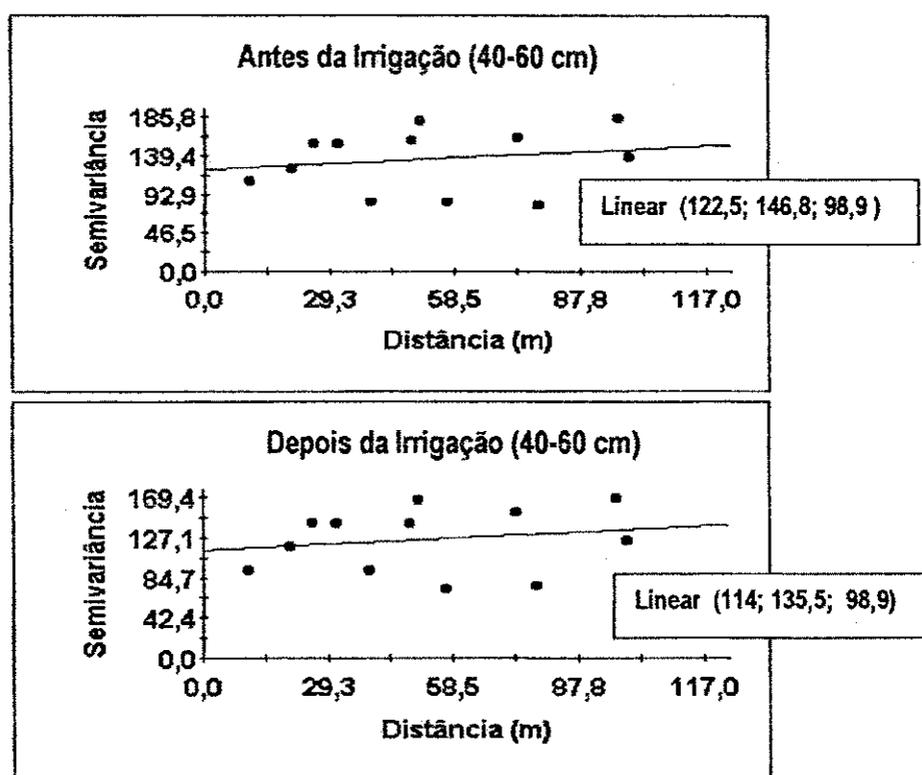


Figura 18. Semivariograma da disponibilidade de água do solo, na profundidade do solo de 40-60 cm, antes e depois da irrigação na subunidade dois, cultivada com graviola

No semivariograma, para as lâminas na camada de 40-60 cm depois da irrigação, o modelo permaneceu linear com os valores de efeito pepita e patamar de 114,04 e 135,50 mm

respectivamente, e o alcance permaneceu em 98,90 m. A dependência espacial representada pela relação percentual do efeito pepita e o patamar de 84,1%, classificada como forte e como antes da aplicação da água um grau de aleatoriedade muito significativo de 5,31.

4.3.5. Mapas de isolinha da disponibilidade de água no solo antes e depois das irrigações na subunidade dois

Nos mapas a seguir as linhas estão espaçadas em unidades de disponibilidade de água em milímetros e as linhas mais próximas indicam regiões de maior variabilidade.

Através da Figura 19-A, para a profundidade de 0-20cm antes da irrigação, pode-se observar que houve uma distribuição com valores máximos de 46 mm com a média de 34,94 mm Tabela 12. A disponibilidade de água foi maior no início da secundária, sendo gradativamente diminuindo com o aumento da distância, chegando no final da área a valores em torno de 30% com lâminas menores que a exigida para o ponto de murcha de (29,77mm), em que ocorrer com maior frequência no final da área caracterizando uma linha de derivação em que o fluxo de água vai diminuindo gradativamente ao longo da tubulação à medida que as laterais com emissores vão extraíndo água. Se relacionarmos, com a figura 19-B, que mostra a distribuição da vazão ao longo da subunidade veremos que, o coeficiente de variação foi de 11,39%, e a diferença de valores de vazão máximos e mínimos de 15 L.h⁻¹. Sendo aplicada essa diferença nas lâminas do início e no final da subunidade, onde se constatou que no final da subunidade a textura é mais grossa favorecendo uma melhor drenagem da água de irrigação.

O mapa de isolinhas da umidade da camada de 0-20 cm depois da irrigação Figura 19-B, mostra lâminas máximas de 56,33mm no início da área, uma média em toda subunidade de 40,06mm e no final da secundária uma diminuição da lâmina aplicada, chegando em torno de 10% com 23,29 mm abaixo do valor mínimo permitido que é de 29,77 mm para o ponto de murcha permanente. Essa variabilidade de disponibilidade, tanto antes como após as irrigações ao longo da linha secundária, é explicada pela variação na aplicação de água pelos emissores.

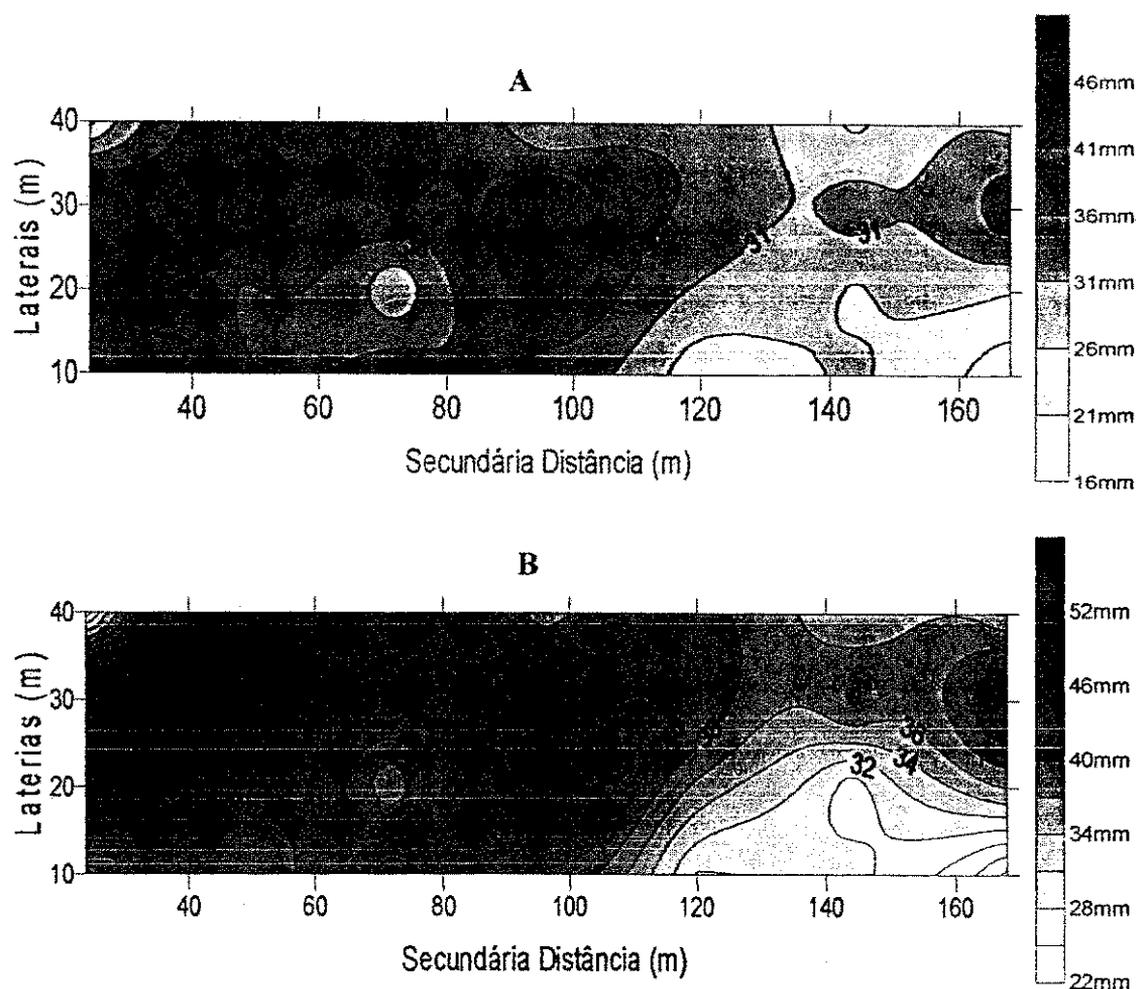


Figura 19. Mapa de isolinhas para as lâminas de água no solo na profundidade de 0-20 cm antes e depois da irrigação na subunidade dois.

Para a camada de 20-40 cm antes da irrigação, de acordo com o mapa Figura 20-A, observa-se que as maiores disponibilidades de água estão no início até os 100m da secundária, indicados pela tonalidade mais escura da escala de cinza enquanto que dos 100 m para o final da secundária constata-se uma diminuição da disponibilidade de água no solo, mas os valores mínimos com 26,92 mm estão na faixa de água disponível para as plantas de acordo com a curva característica do solo.

No mapa depois da irrigação na camada de 20-40 cm, o mapa Figura 20-B com modelo exponencial mostra que está praticamente uniforme com uma lâmina média de 42,20 mm equivalente a uma tensão de 53 kPa, verificando que houve alguns pontos do meio pro início da área lâminas menores mais ainda permanecendo com uma umidade satisfatória.

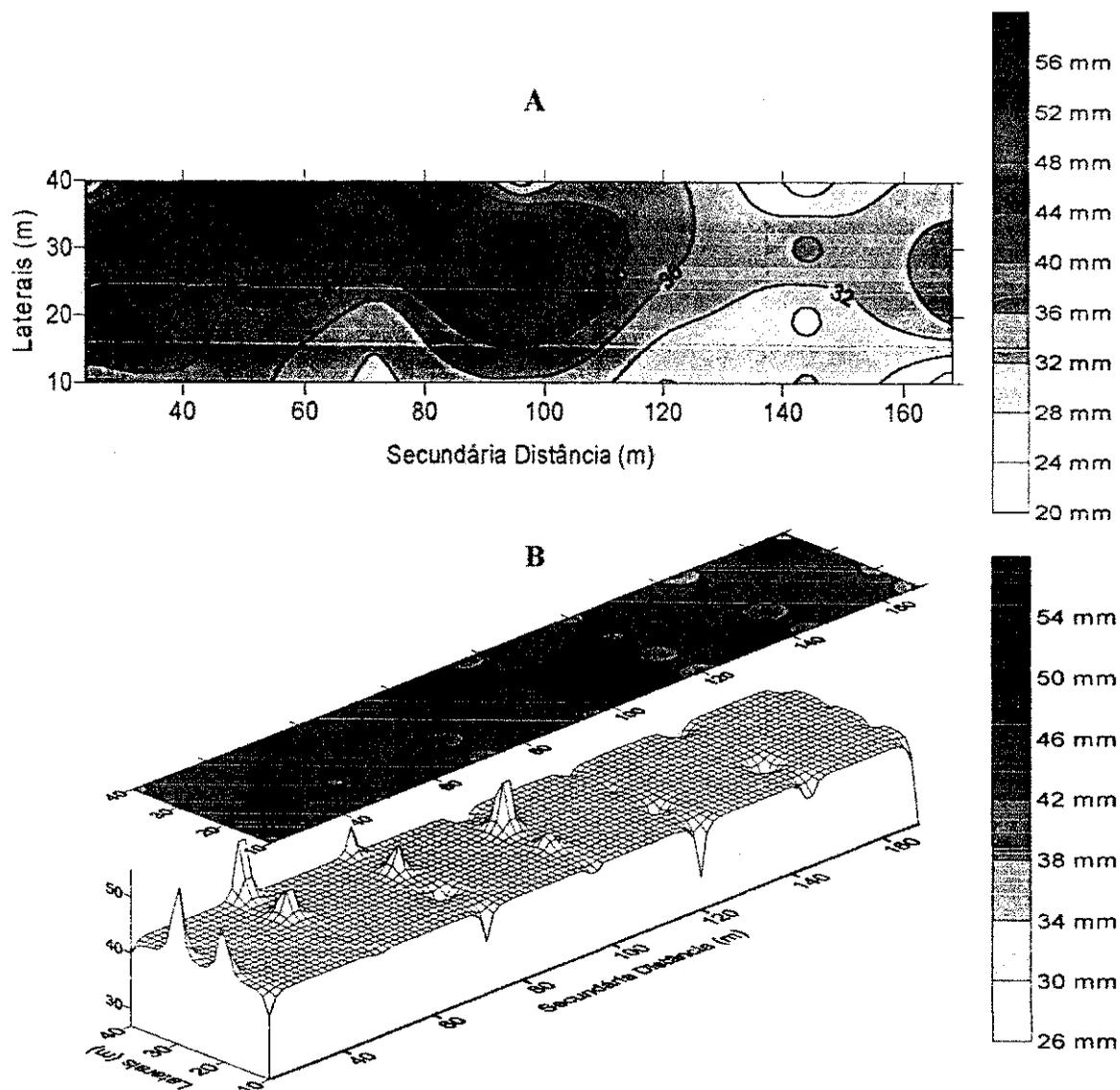


Figura 20. Mapa de isolinhas para as lâminas de água no solo na profundidade de 20-40 cm, antes e depois da irrigação na subunidade dois cultivada com gravioleira

Na profundidade de 40-60 cm antes da irrigação, se pode notar através do mapa de isolinhas (Figura 21-A), a maior disponibilidade de água se encontram no início da linha secundária e na distância de 100 m, com valores torno de 42,87 mm, e percebe-se que as menores lâminas ocorrem no final da área com lâminas mínimas de 22,80 mm, correspondendo uma tensão de água no solo de 79 kPa.

Para a profundidade de 40-60 cm uma hora depois da aplicação de água, é possível ainda verificar, através da Figura 21-B, o efeito das lâminas aplicadas onde as maiores estão

no início, com um valor médio maior de 46,11mm, ocorrendo um incremento de 3,24 mm elevando a tensão de água no solo para 0,4 kPa.

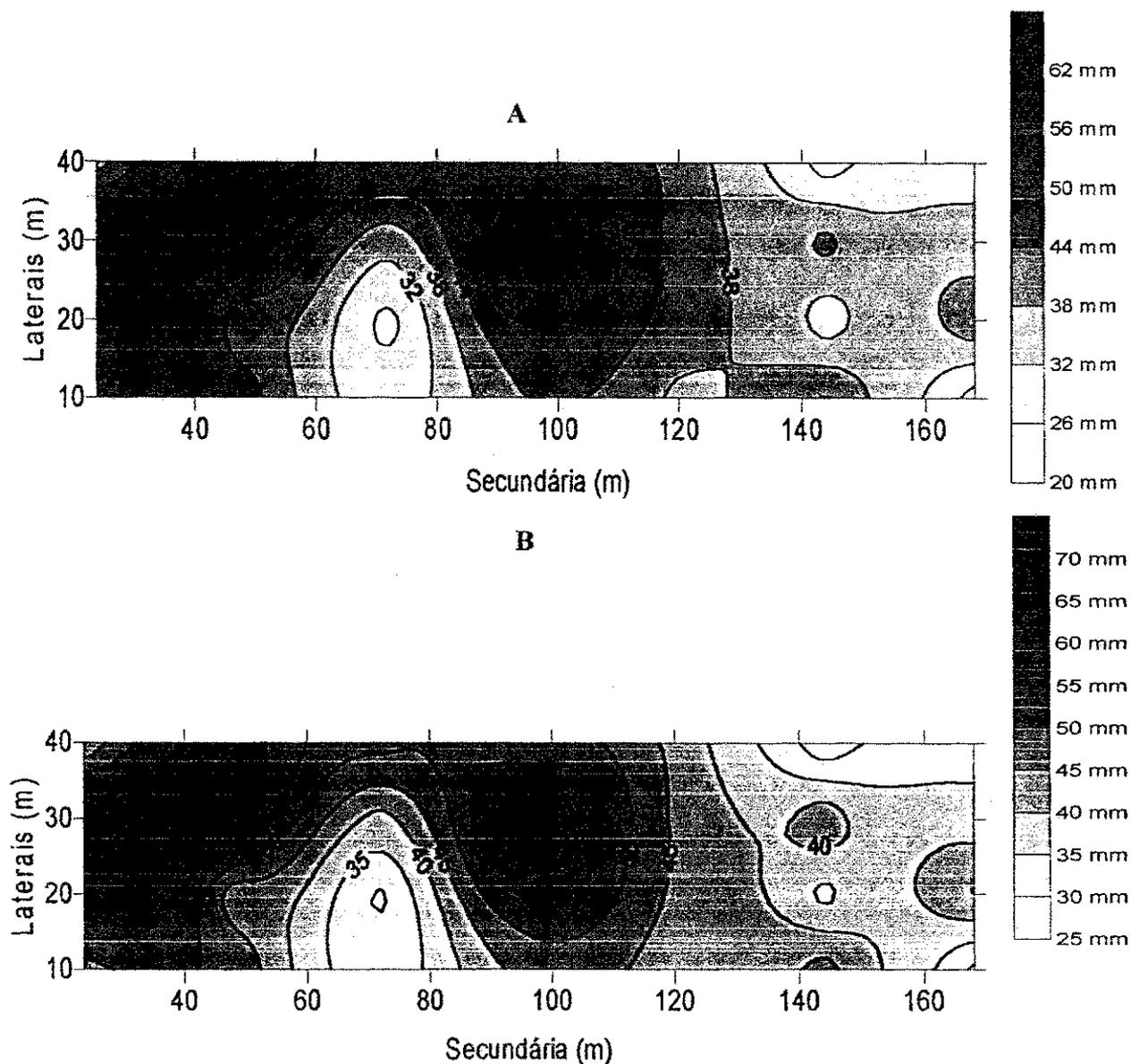


Figura 21. Mapa de isolinhas para as lâminas de água no solo (mm) na profundidade de 40-60 cm, antes e depois das irrigações na subunidade dois, cultivada com gravioleira.

4.4. Parâmetros Estatísticos e Geoestatísticos para a Subunidade Cinco

4.4.1 Subunidade cinco, cultivada com goiabeira

A Tabela-14 mostra os dados estatísticos e o resultado do teste (KS) da disponibilidade de água do solo na profundidade de 0-20 cm, antes da irrigação, na unidade cinco cultivada com goiaba. Observa-se que os valores máximos de disponibilidade de água se encontram em 80,19 mm, correspondendo a uma tensão de água no solo de 317 kPa de acordo com a curva característica do solo, um valor mínimo de lâmina de água de 43,34 mm muito acima do ponto de murcha permanente. A média de disponibilidade de água é de 66,51 mm antes da irrigação que corresponde a uma tensão de água no solo de 1528 kPa. Portanto a umidade na subunidade antes da irrigação se encontra acima do valor mínimo de 1500 kPa. O coeficiente de variação de 15,35%, o que caracteriza que a irrigação é deficitária nesta subunidade, o que não condiz com a irrigação localizada, onde o teor de água no solo deve estar próximo da capacidade de campo.

Tabela 14. Valores estimados para as principais características das variáveis estudadas e teste (KS) na camada 0-20, 20-40 e 40-60 cm do solo da subunidade cinco cultivada com goiabeira.

Profundidade	0 – 20 cm		20 – 40 cm		40 – 60 cm	
	Antes mm	Depois mm	Antes mm	Depois mm	Antes mm	Depois mm
Média	66,51	73,67	74,91	79,66	83,41	88,81
Mediana	69,33	75,59	77,49	83,13	83,73	89,44
Variância	104,28	99,11	121,74	119,57	50,34	44,05
Desvio-Padrão	10,21	9,96	11,03	10,93	7,10	6,64
CV%	15,35	13,51	14,73	13,73	8,51	7,47
Mínimo	43,34	44,93	41,33	48,19	68,06	74,78
Máximo	80,19	88,05	91,21	93,68	97,93	100,01
Teste KS	0,15**	0,12**	0,131**	0,194**	0,098**	0,095**

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

O histograma de frequência Figura 22 mostra que houve uma distribuição normal dos dados onde a média perto da mediana valida o teste (KS), dizendo que a média é representativa nos valores de disponibilidade de água no solo, verifica-se elevados valores em torno dos valores máximos.

Depois da irrigação, na camada de 0-20 cm, ainda observam-se áreas que ficaram com uma lâmina inferior a lâmina mínima recomendada, que é de 66,86 mm para o ponto de murcha Tabela 14. As lâminas médias ficaram em 73,67 mm correspondendo a uma tensão de água no solo de 671 kPa que corresponde a um acréscimo de 7,05 mm na camada de 0-20. O coeficiente de variação das lâminas de água no solo baixou para 13,51%.

Através do histograma da Figura 22, verifica-se que houve uma distribuição normal dos dados com a média e a mediana com valores próximos entre si, apresentando valores elevados perto dos valores máximos de lâmina de água.

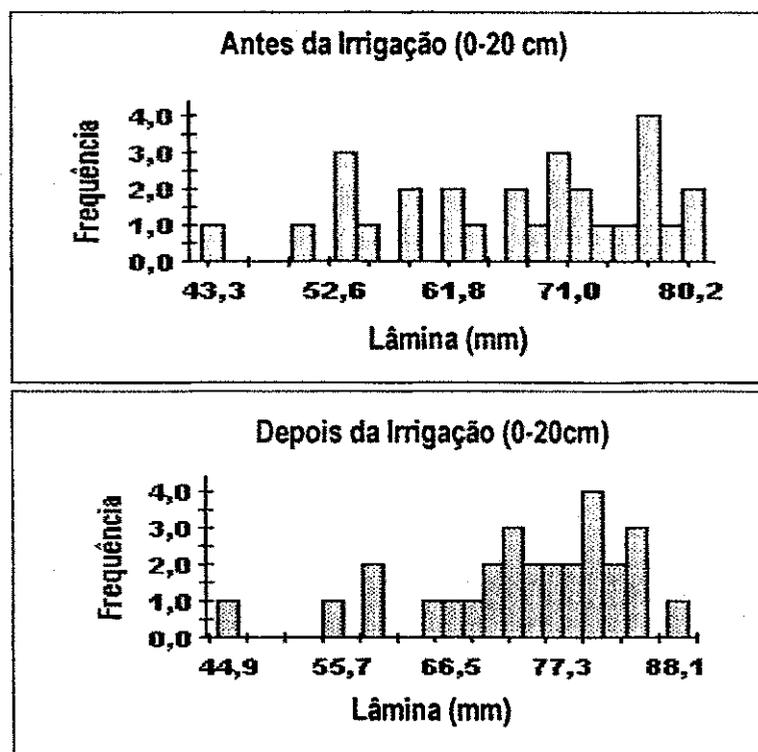


Figura 22. Histograma da lâmina de água no na profundidade de 0-20 cm depois da irrigação na subunidade cinco, cultivada com goiabeira

Para os valores de vazão Tabela 15, apresenta valores máximos de vazão de 48,6 L.h⁻¹ e mínimos de 24 L.h⁻¹ com uma média de 35,1 L.h⁻¹ e um coeficiente de variação de 20,65%, da subunidade cinco, se verifica o coeficiente de fabricação do microaspersor usado nessa subunidade de 0,01% onde essas variações foram causadas principalmente pela pressão do sistema. Para a pressão a Tabela 15 mostra que a máxima pressão na subunidade é de 101 kPa muito aquém dos 150 kPa recomendados pelo fabricante para uma pressão de serviço satisfatória, e uma pressão mínima de 66 kPa, e uma média na subunidade de 84 kPa. Uma das causas de se ter pressões baixas é a dimensão da área com secundárias e laterais de longos comprimentos.

A Tabela 15, ainda mostra os valores de vazão dos 28 microaspersores avaliados na subunidade dez onde se tem valor máximo de 56,4 L.h⁻¹ para um microaspersor submetido a uma pressão de 150 a 200 kPa se tem uma vazão de 70 L.h⁻¹ conforme o fabricante, observou-se valores de 24 L.h⁻¹ e valores médios de vazão de 37,37 L.h⁻¹ com um coeficiente de variação de 26,84%.

Tabela 15. Parâmetros da estatística clássica com os valores de vazão e pressão para as subunidades cinco e dez

Parâmetros	Subunidade Cinco		Subunidade Dez	
	Vazão Lh ⁻¹	Pressão	Vazão L.h ⁻¹	Pressão
	Goiaba	Goiaba	coco	coco
Média	35,10	84	37,37	77
Mediana	34,80	80	31,2	81
Desvio-Padrão	7,24	11,94	10,02	23,84
CV%	20,65	14,27	26,84	31,08
Variância	52,55	142,7	100,6	568,5
Mínimo	24,0	66	24	40
Máximo	48,60	101	56,4	117
Teste KS	0,15 **	0,21**	0,292**	0,14**

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

A figura-23 apresenta os histogramas de freqüência para vazão e pressão da subunidade cinco onde mostra uma distribuição normal dos dados. Para a vazão os valores máximos e mínimos tiveram uma freqüência em torno de 16%. O histograma de freqüência, da pressão mostra um a distribuição normal dos dados com a pressão média próxima a mediana, a freqüência dos valores mínimos de pressão ficou em torno de 6,78% e os valores máximos com pressões 101 Kpa tiveram uma freqüência em torno de 2,5 %, o valor da média foi significativo na distribuição de valores de pressão.

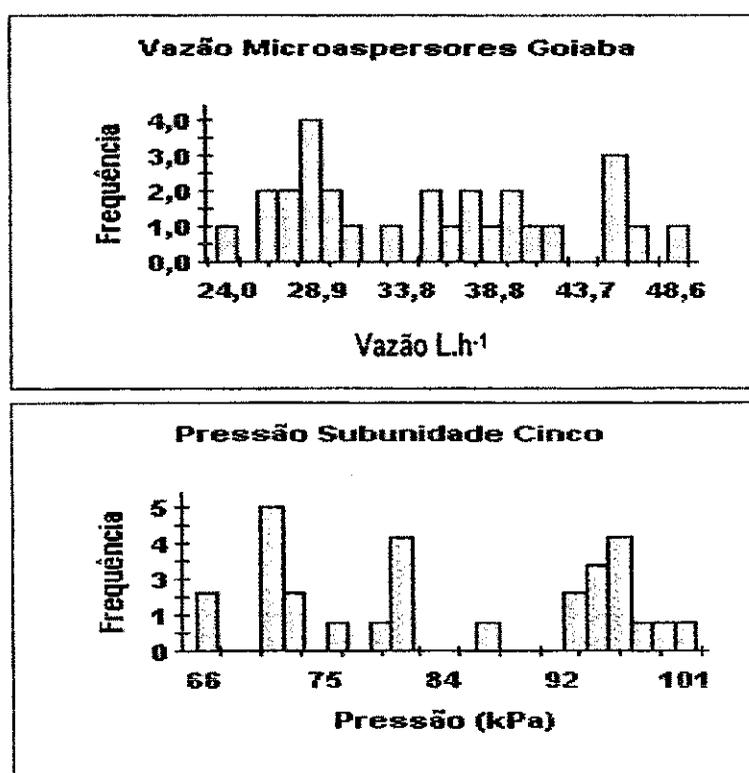


Figura 23. Histograma da vazão e da pressão, na subunidade cinco, cultivada com goiabeira

A Tabela 16 apresenta os valores dos parâmetros da geoestatística para as variáveis avaliadas nas subunidades cinco e a subunidade dez cultivadas com goiabeira. Verifica-se que para a vazão e pressão os modelos foram lineares com um alcance de 106 m para a vazão e 36 m para a pressão. Para a disponibilidade de água o efeito pepita variou de 100,31 a 2,0 na camada de 0-20cm antes da irrigação, na mesma camada depois da aplicação de água, o

patamar variou de 216 a 82,75 e o alcance variou de 197,9 a 18 m. A dependência espacial foi forte para todas as variáveis exceto para a camada de 0-20 cm do solo antes das irrigações.

Tabela 16: Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas, para os valores de lâmina de água no solo antes e depois da irrigação nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm e a vazão pressão do sistema.

Parâmetros		E. pepita	Patamar	alcance (m)	Dependência espacial %	Aleatoriedade
Variáveis	Modelo	Co	Co+C	a (m)	$(Co/(Co+C)).100$	E= Co/ C
Vazão	Linear	8,00	90,0	106,0	8,88 ft	0,09 ps
Pressão	Linear	0,0	84	36,0	0,00 ft	0,0 ps
20 cm antes	Linear	100,31	129,92	106,02	77,2 f	3,38 ms
20 cm depois	Exponencial	2,0	125,0	18,0	1,60 ft	0,01 ps
40cm antes	Exponencial	5,0	216,1	46,8	0,02 ft	0,02 ps
40cm depois	Exponencial	17,5	189,1	43,0	0,09 ft	0,10 ps
60cm antes	Linear	16,44	88,07	106,02	0,18 ft	0,22 s
60cm depois	Esférico	14,9	82,75	197,9	0,18 ft	0,21 s

f- fraca, ft- forte s- significativo ms- muito significativo

Na profundidade de 0-20 cm da superfície do solo, antes da irrigação na subunidade cinco (Figura 24), é possível notar que o modelo que melhor ajustou os dados foi o linear, com efeito, pepita de 100,31 mm, um patamar de 129,92 mm e um alcance de 106,02m. A dependência espacial de 77,2 % é classificada como fraca e a aleatoriedade de 3,38, para disponibilidade de água no solo foi muito significativo.

Com uma hora após a irrigação o modelo dos dados de umidade foi exponencial, com efeito, pepita de 2,0 mm, Um patamar de 125,0 mm e um alcance de 18,0 m. A dependência espacial dos valores depois da irrigação foi classificada como forte, com valores de 1,6% e com um grau de aleatoriedade de 0,01 sendo pouco significativo.

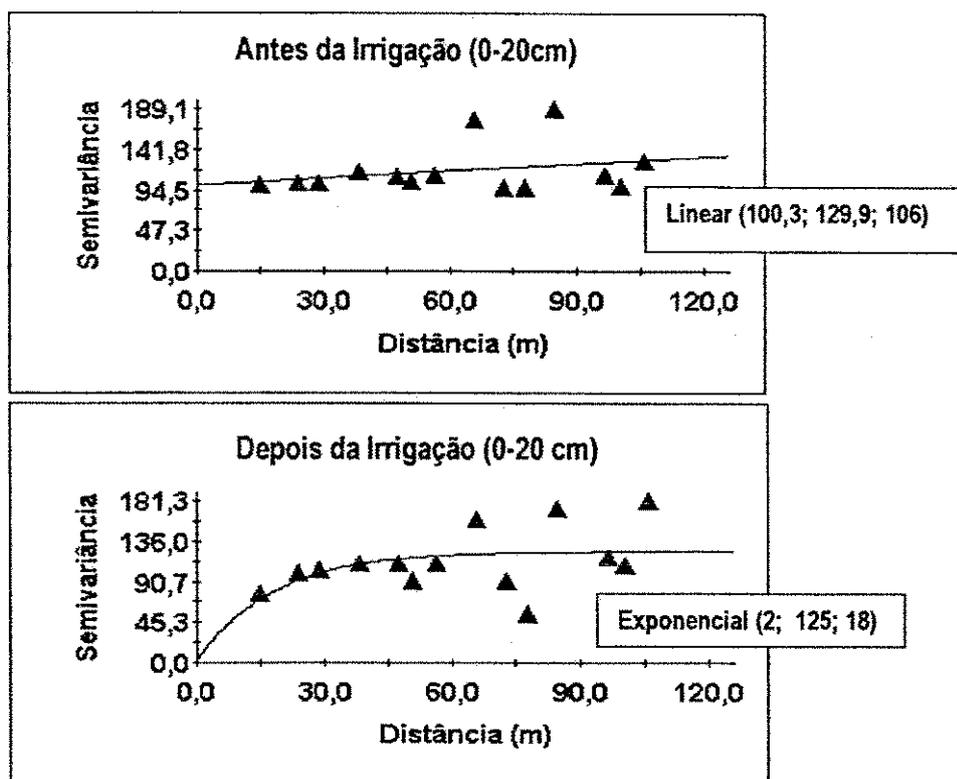


Figura 24. Semivariograma das lâminas no solo na profundidade de 0-20 cm, antes e depois da irrigação, subunidade cinco, cultivada com goiabeira

Para os valores de vazão dos microaspersores ensaiados, o modelo foi linear, (Figura 25), com uma variabilidade não explicada de 8 L h^{-1} , um patamar de 90 L h^{-1} e um alcance de $106,0 \text{ m}$, sugerindo que os valores vizinhos situados nesse raio são semelhantes e que podem ser usados para estimar valores. A dependência espacial de $8,88\%$ foi considerada forte e conseqüentemente uma aleatoriedade de $0,09$ pouco significativo. O emissor como sendo um dissipador da pressão em forma de emissão de água, sua vazão vai depender do tipo do estado que se encontra e da qualidade.

O ajuste para os valores relacionados à pressão foi o modelo linear, onde não existiu variabilidade não explicada, um valor de patamar de 84 e um alcance de 36 m , Se relacionarmos com o comprimento da secundária de 150 m , constata que o valor de 36 m é pequeno, onde a pressão no primeiro microaspersor da primeira lateral nesse caso vai ter uma maior influência só até a sétima lateral, a partir daí tem-se variações que irão mudar o valor da pressão. A dependência espacial foi totalmente forte com valor de 0% e conseqüentemente, o grau de aleatoriedade foi pouco significativo.

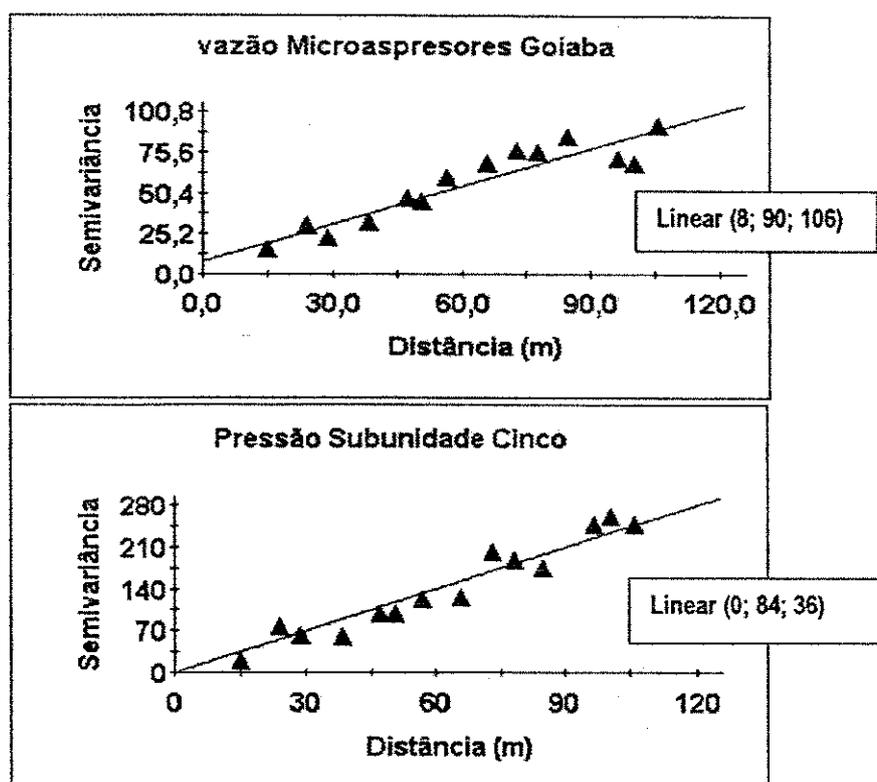


Figura 25. Semivariograma da vazão e pressão nos 28 microaspresores da subunidade cinco

4.4.2. Mapa de isolinhas da disponibilidade de água no solo (subunidade cinco)

A (Figura 26-A), apresenta o mapa de isolinhas da disponibilidade de água no solo na profundidade de 0-20 cm através do modelo linear é possível observar através das tonalidades de cinza mais escuras que existem alguns pontos no meio da subunidade com valores máximos de umidade e mostrando que a média é mais representativa com valores de 66,51 mm.

Após uma hora da irrigação o mapa de isolinhas (Figura 26-B), através do modelo exponencial, apresenta uma média representativa de 73,67 mm, mas existindo a ocorrências de lâminas de 44,93mm do meio até o final da subunidade.

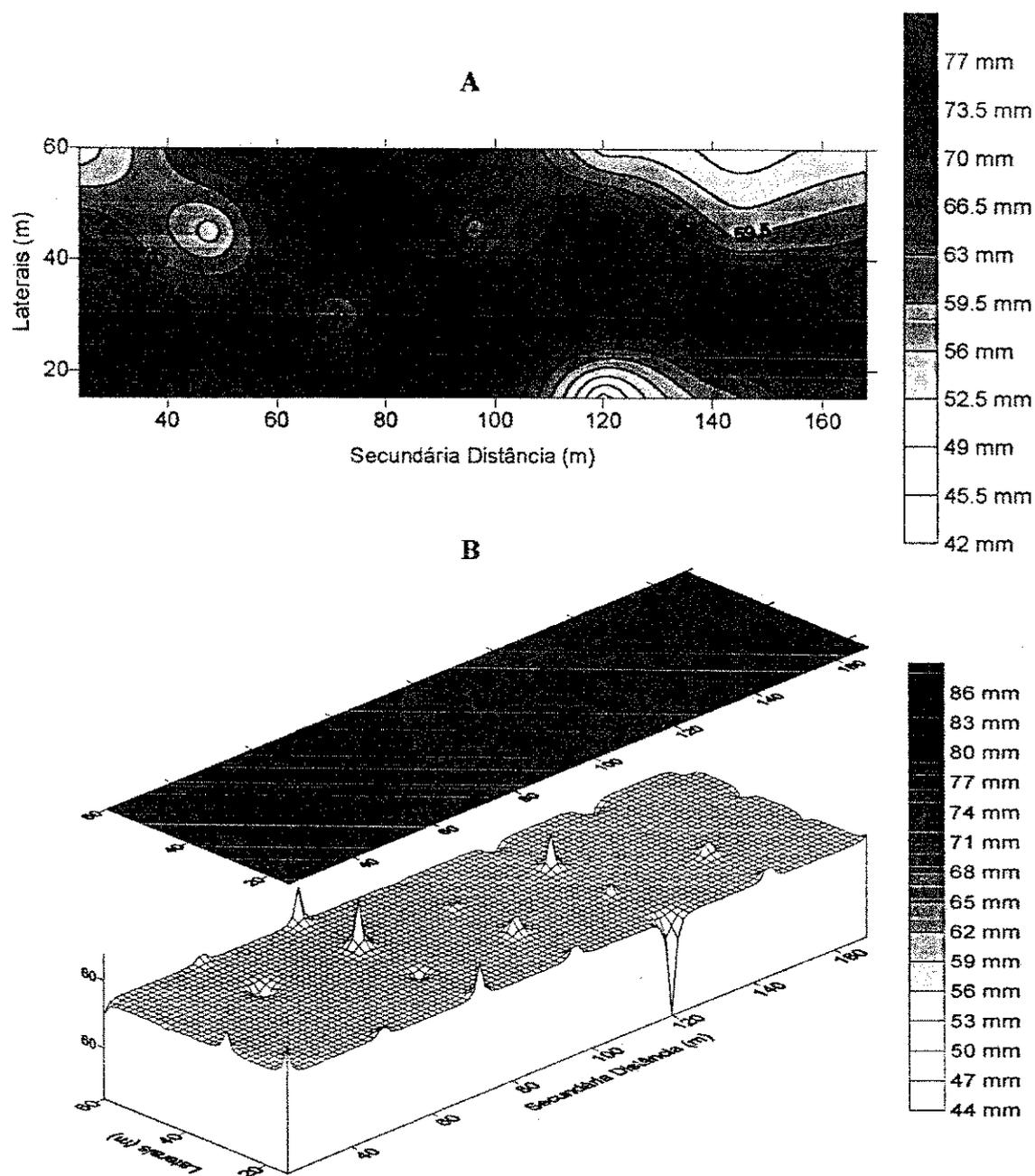
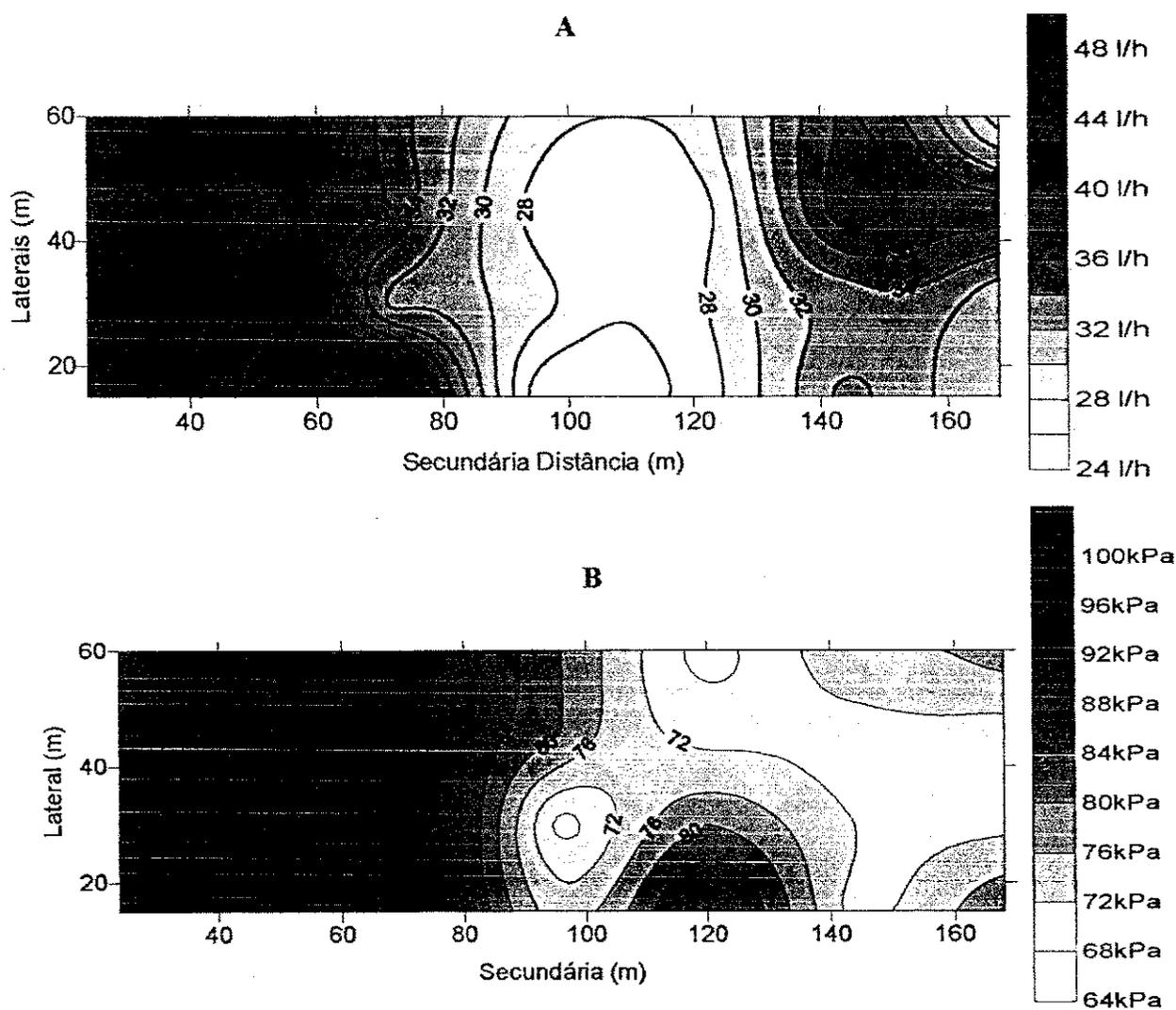


Figura 26. Mapa de isolinhas para as lâminas de água no solo na profundidade de 0-20cm da subunidade cinco antes e depois das irrigações

A (Figura 27-A) mostra o mapa de isolinhas para os dados de vazão dos 28 microaspersores ensaiados, através de um modelo linear mostra que as vazões em torno da máxima de $48,6 \text{ Lh}^{-1}$ estão nas laterais no início da secundária, diminuindo no meio e aumentando logo em seguida a vazão em torno de 6 Lh^{-1} até no final. Observa-se que ao

longo das linhas laterais há uma uniformidade da vazão, o que não acontece na linha de distribuição mostrando que esta tubulação pode não ter sido bem dimensionada.

O mapa de isolinhas, Figura 27-B, para as pressões distribuídas na malha foi gerado a partir do modelo linear, observa-se que a pressão de 101 kPa foi superior no início da secundária, diminuindo gradualmente até no final da área, numa taxa de 5 kPa.



4.5. Subunidade Dez

4.5.1 Parâmetros estatísticos

A Tabela 17 mostra os dados estatísticos e o resultado do teste (KS) da umidade do solo, na profundidade de 0-20 cm, antes da irrigação na unidade dez cultivada com coqueiro. Observa-se que o valor máximo da umidade antes da irrigação foi de 84,1 mm correspondendo a uma tensão de 202 kPa e valores mínimos de 33,67 mm, correspondendo a tensão de 1500 kPa (Ponto de Murcha Permanente) a uma lâmina de água de 66,78mm. A média com 65, 16 mm, correspondendo a uma tensão de 1783 kPa, e um coeficiente de variação de 22,03%.

Tabela 17. Valores estimados para as principais características das variáveis estudadas e teste (KS) na camada 0-20, 20-40 e 40-60 cm do solo da subunidade dez cultivada com coqueiro.

Profundidade	0 - 20 cm		20 - 40		40 - 60 cm	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
Parâmetros	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Média	65,16	73,16	74,60	78,93	82,22	86,72
Mediana	70,56	75,57	77,15	82,54	83,93	89,77
Variância	206,0	151,8	96,0	101,31	87,0	118,0
Desvio-Padrão	14,35	12,32	9,80	10,07	9,33	10,86
CV%	22,03	16,84	13,13	12,75	11,35	12,53
Mínimo	33,67	45,55	53,1	57,68	68,48	71,44
Máximo	84,1	92,99	92,32	95,31	97,96	102,56
Teste KS	0,201**	0,128**	0,151**	0,163**	0,159**	0,171**

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Através dos histogramas da Figura 28, para os valores das lâminas antes e depois da irrigação na unidade dez, o histograma para antes da irrigação mostra uma elevada frequência

para valores em torno da média e mediana que de acordo com o teste KS a distribuição é normal dos dados, com valores máximos e mínimos com freqüências em torno de 3,21%.

Após uma hora da irrigação, os valores médios de umidade do solo elevaram-se em 7,75 mm, para uma lâmina de 73,16 mm correspondendo a uma tensão de água no solo de 711 kPa de acordo com a curva do solo. Mas ainda encontrou-se lâmina de 45,55 mm inferior a mínima permitida de 66,86 mm referente a lâmina onde o solo atingiria o ponto de murcha permanente a uma tensão de 1500 kPa, e lâminas máximas de 92,99 mm que não atingiram os 98,5 referente a capacidade de campo a uma tensão de 33,4 kPa. Com um coeficiente de variação de 16,84 % menor que antes da irrigação.

O histograma de freqüência, das lâminas depois da aplicação de água mostra elevados valores para média que próxima a mediana e de acordo com o teste (KS) tem uma distribuição normal dos dados, e uma freqüência considerável de valores mínimos em torno de 3,6%.

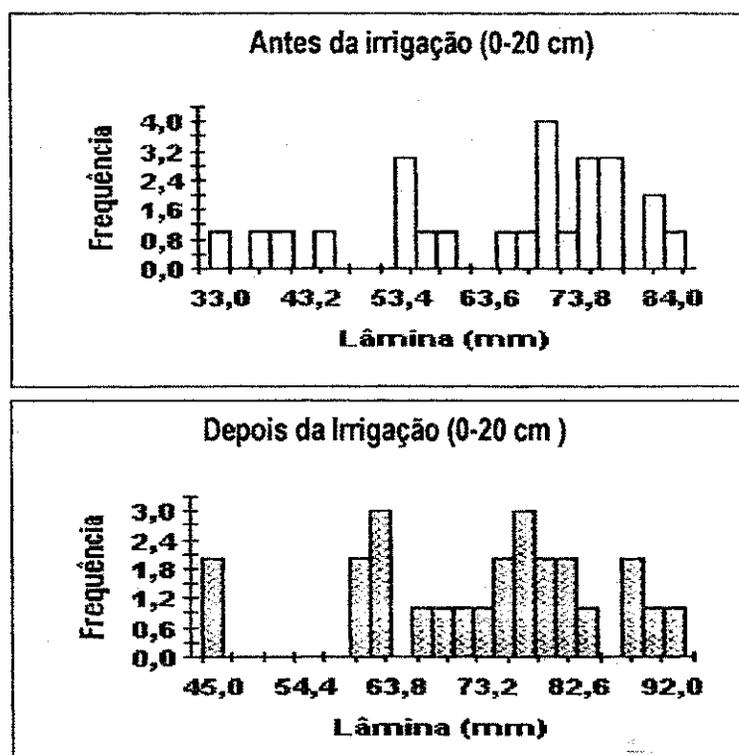


Figura 28. Histograma das lâminas de água no solo na profundidade de 0-20 cm antes e depois da irrigação na subunidade dez, cultivada com coqueiro

A Figura 29 apresenta os histogramas de vazão e pressão da subunidade dez, o histograma de vazão mostra valores em uma distribuição normal, com valores mínimos e máximos em torno de 2,85%.

O histograma de pressão mostra que os valores máximos ficaram em torno de 117 kPa e mínimos de 40 kPa muito abaixo do valor mínimo recomendado de 150 kPa, a média de 77 kPa e um coeficiente de variação muito alto de 31,08%. O histograma mostra uma distribuição normal dos dados de acordo com o teste (KS), com uma ocorrência de valores mínimos maior que os máximos de aproximadamente 7,14%.

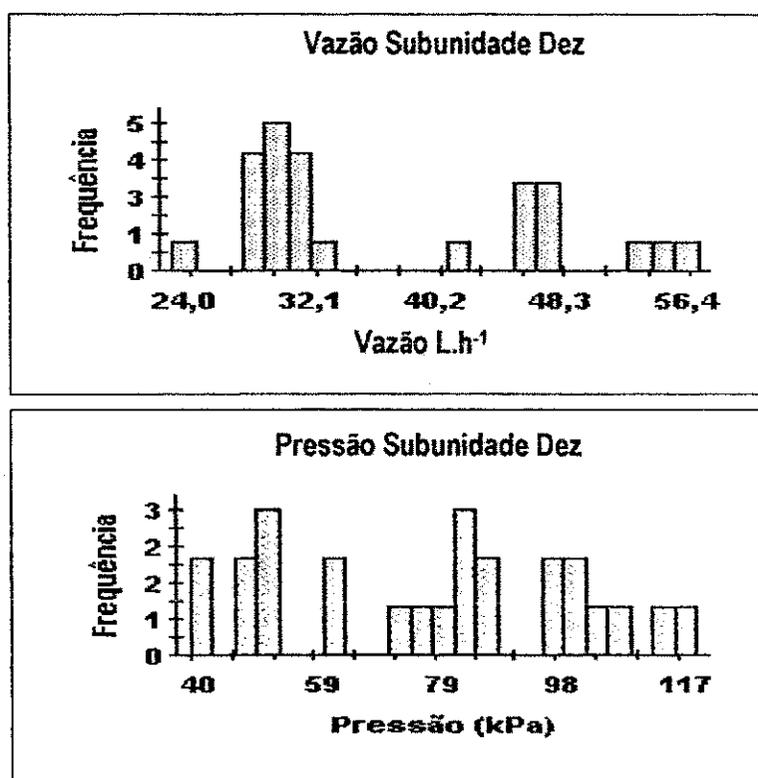


Figura 29. Histograma da vazão e pressão, na subunidade dez, cultivada com coqueiro

A Tabela 18 mostra os valores dos parâmetros geoestatísticos para as variáveis avaliadas na subunidade dez cultivada com coco, onde é possível observar os modelos matemáticos empregados para vazão e pressão linear e exponencial respectivamente. Para a distribuição de água nas camadas de 0-60cm os modelos foram esféricos exceto na camada de 20-40 cm depois das irrigações e linear para camada 40-60cm antes das aplicações de água. O

efeito pepita variou de 0,4 a 63, patamar de 111,8 a 216,3 e o alcance de 25,4m a 95,3m para disponibilidade de água no solo.

Tabela 18: Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas para os valores de lâminas de água no solo antes e depois da irrigação nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, vazão pressão do sistema.

Parâmetros		E. pepita (mm)	Patamar (mm)	alcance (m)	Dependência espacial %	Aleatoriedade
Variáveis	Modelo	Co	Co+C	a (m)	$(Co/(Co+C)).100$	$E= Co/ C$
Vazão	Linear	83,0	94,0	81,0	88,2 f	7,54 ms
Pressão	Exponencial	140	716	96	19,5 ft	0,24 s
20cm antes	Esférico	0,4	216,3	27,30	0,18 ft	0,001 ps
20cm depois	Esférico	37,5	188,8	63,5	19,8 ft	0,24 s
40cm antes	Esférico	43,9	132,5	95,3	0,33 ft	0,49 ms
40cm depois	Exponencial	50,3	141,5	50,3	0,35 ft	0,57 ms
60cm antes	Linear	63,84	86,45	81,13	0,73 ft	2,82 ms
60cm depois	Esférico	6,2	111,8	25,4	0,05 ft	0,05 ps

f- fraca ft- forte ps- pouco significativo s- significativo ms- muito significativo

A Figura 30 apresenta os semivariogramas da disponibilidade de água antes e depois das irrigações na camada de 0-20 cm do solo na subunidade dez. observa-se que o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o esférico com um efeito pepita de 0,4 mm variação muito baixa obtendo um bom ajuste, um patamar de 216,3 mm e um valor de alcance de 27,3 m. A dependência espacial de 0,18 classificada como forte e uma aleatoriedade pouco significativa de 0,001 segundo (Guerra, 1988).

Após uma hora da irrigação, foi possível verificar no semivariograma os valores dos parâmetros se ajustaram num modelo esférico com um efeito pepita de 37,5 mm um patamar de 188,8 mm com um raio de influencia de uma amostra sobre a outra de 63,5 m. A dependência espacial de 19,8% é classificada como forte e uma aleatoriedade significativa de 0,24.

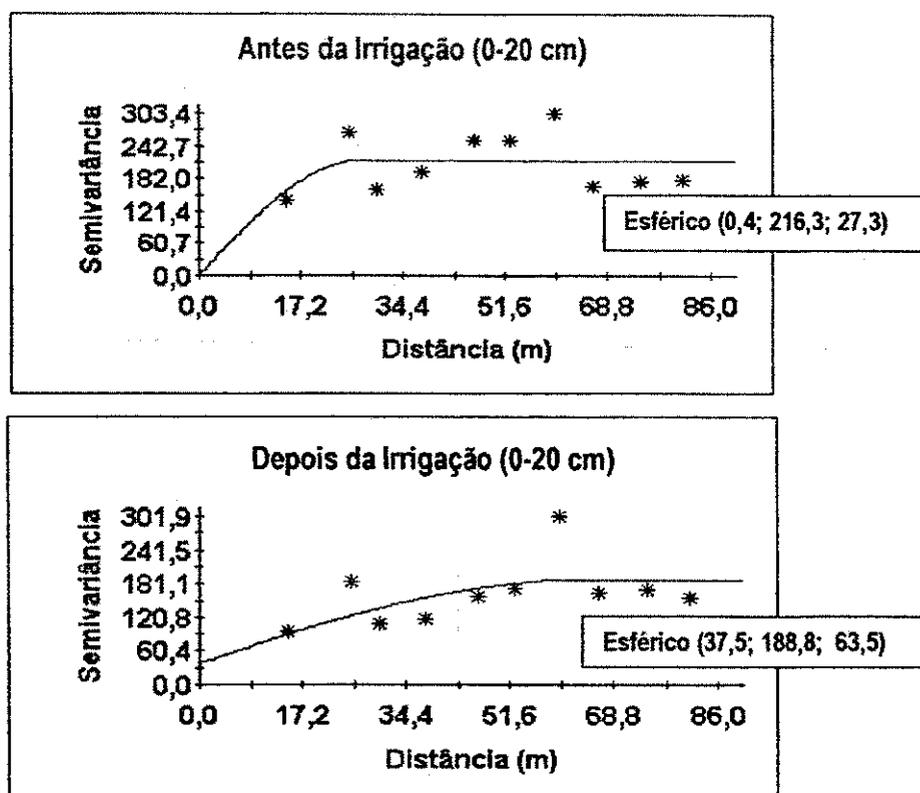


Figura 30. Semivariograma das lâminas de água no solo na profundidade de 0-20 cm, antes e depois da irrigação, subunidade dez, cultivada com coqueiro.

Nos semivariogramas da vazão e da pressão Figura 31, os valores de vazão tiveram um bom ajuste com o modelo linear, com um efeito pepita de 83, um patamar de 94,0 e um alcance de 81,0 m. A dependência espacial de 88,2%, classificada como fraca, apesar de que a vazão é consequência do sistema que está interligado, tendo um coeficiente de variação de 26,84% nas vazões dos emissores, podendo está influenciando a grande desuniformidade de emissão essa fraca dependência espacial.

O semivariograma referente à pressão no sistema nos 25 pontos de emissão amostrados teve bom ajuste com o modelo exponencial, com efeito, pepita de 140, um patamar de 716 e um alcance de 99m. A dependência espacial de 19,55% classificada como forte não podendo ser diferente, pois o sistema está interligado e um grau de aleatoriedade de 0,24 sendo significativo.

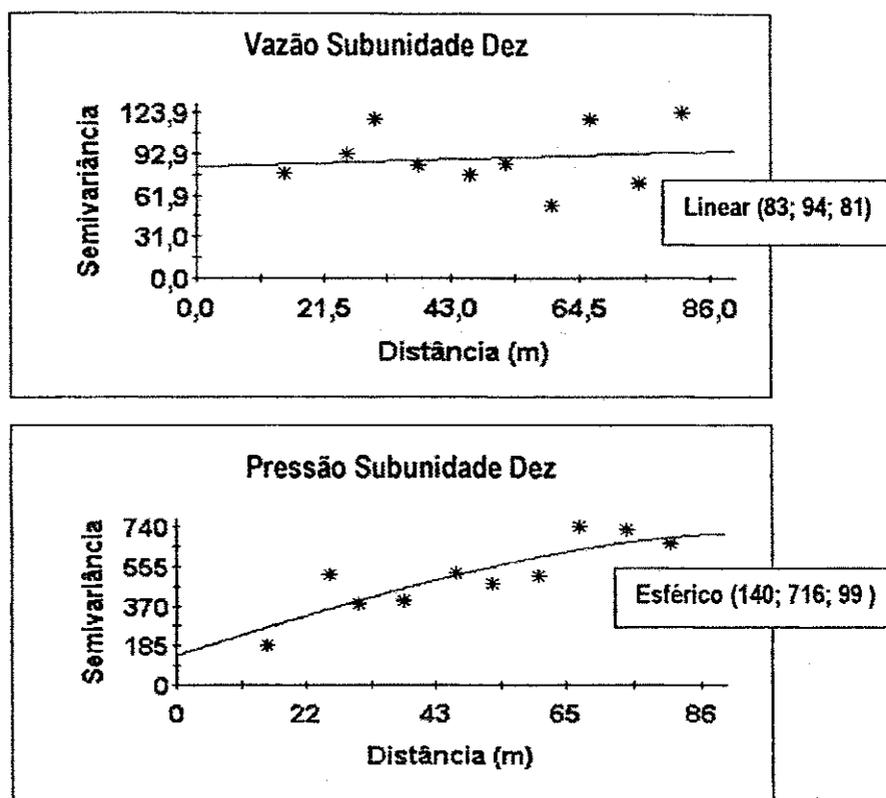


Figura 31. Semivariograma da vazão e da pressão em 25 pontos da subunidade dez

4.5.2 Mapa de isolinhas subunidade dez (coqueiro)

O mapa de isolinhas (Figura 32-A), das lâminas de água na subunidade dez cultivada com coqueiro foi gerado a partir do modelo esférico apresentando uma média de 65,16 mm muito abaixo dos valores satisfatórios de umidade para este tipo de solo, apresentando poucos pontos onde a umidade estava adequada, em torno de 10,71% de acordo com o histograma de frequência.

Na (Figura 32-B) é apresentado o mapa de isolinhas da camada de 0-20 cm uma hora depois da irrigação. Apresenta uma lâmina média maior de 73,16 mm correspondendo a uma tensão de água no solo de 711 kPa sendo a frequência de 30% menor que a frequência da média antes da irrigação, que estava em torno de 40%. Com esses dados, verifica-se que as lâminas aplicadas pelos microaspersores não estavam correspondendo à lâmina requerida.

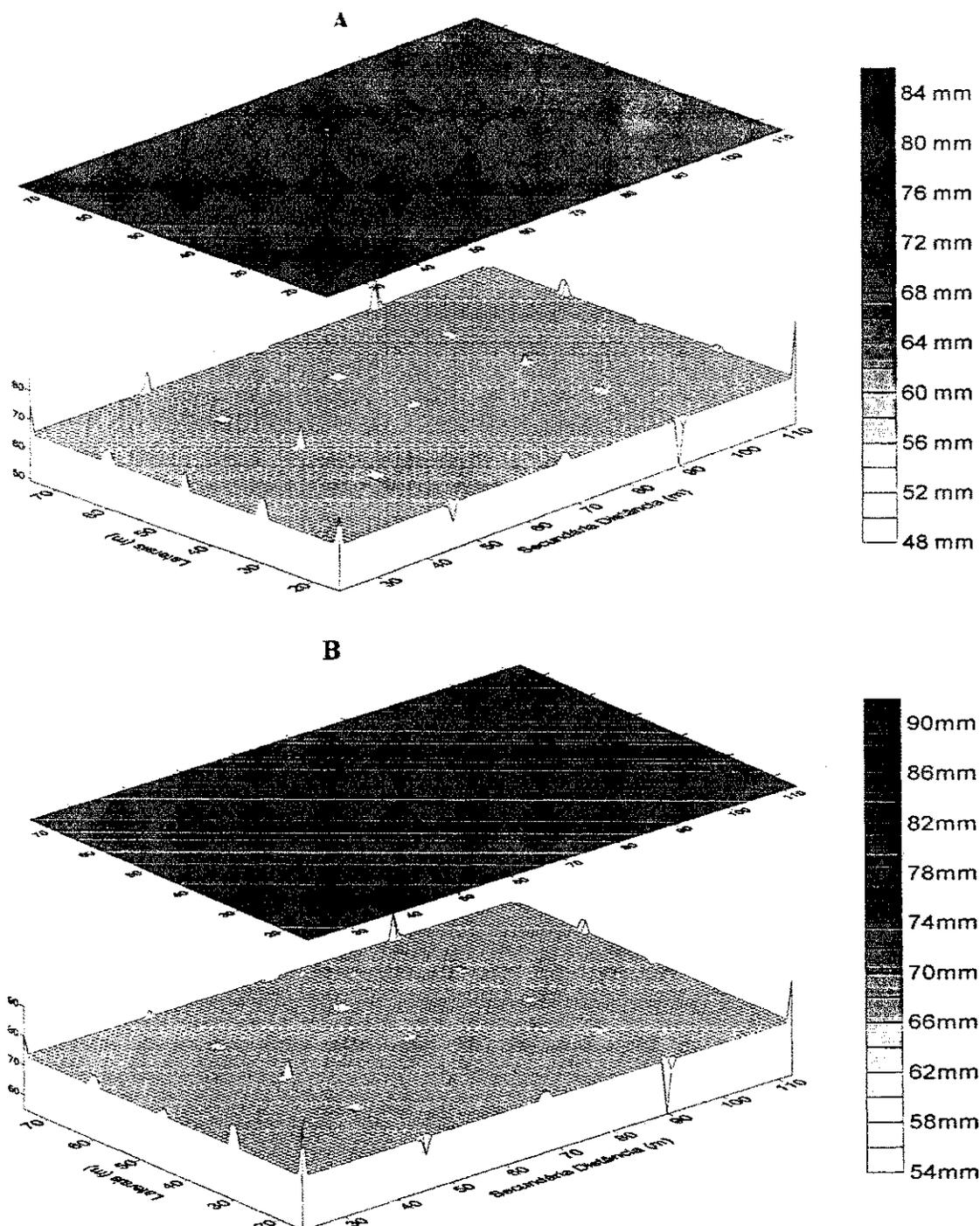


Figura 32. Mapa de isolinhas para as lâminas de água no solo na profundidade de 0-20 cm da subunidade dez, antes e depois da irrigação

Na distribuição de água através dos emissores a (Figura 33-A), mostra o mapa de isolinhas em que se verifica no início da área tendendo para o meio a vazão é maior enquanto que na periferia e no final da subunidade a vazão diminui muito chegando a 24 L h^{-1} . O emissor tem uma vazão nominal de 70 L h^{-1} de acordo com o fabricante.

No mapa de isolinhas (Figura 33-B), a partir de um modelo exponencial é possível verificar que a pressão de 77 é muito abaixo da pressão nominal em torno de 150 kPa, verifica-se também que houve uma grande ocorrência de pressão em torno de 40 kPa, onde é possível justificar esses valores informando que as laterais se encontravam com algumas perfurações.

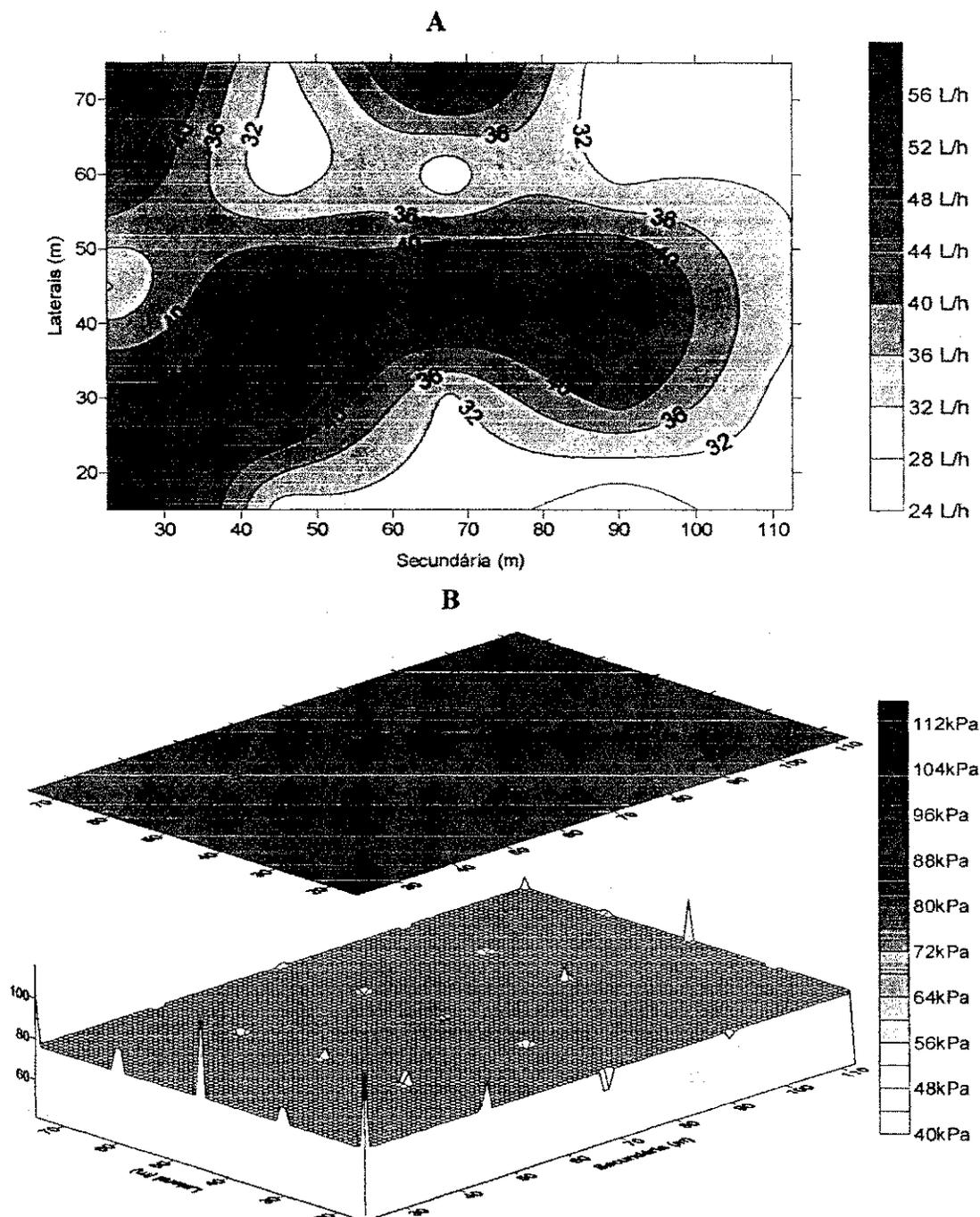


Figura 33. Mapa de isolinhas da vazão e da pressão nos 25 pontos distribuídos na malha dentro da subunidade dez, cultivada com coqueiro

4.6. Relação entre o Desempenho do Sistema e os Parâmetros da Estatística Espacial

De acordo com a Tabela 19, com os valores dos coeficientes de uniformidade estatísticos e os parâmetros da estatística espacial, efeito pepita, patamar, alcance e a dependência espacial dos valores estimados de vazão das subunidades avaliadas, é possível constatar que, quando o CUE cresce, existe uma tendência de que o efeito pepita diminua ocorrendo efeito semelhante ao patamar, conseqüentemente em relação ao alcance existe uma tendência de que os valores se elevem aumentando assim a distância em que os dados estimados possuam dependência, e em relação a dependência espacial existe uma tendência que esses valores estimados aumentem com o CUE. Esses valores nos mostram que as causas hidráulicas sejam no sistema ou nos emissores utilizados nas subunidades avaliadas está diretamente ligada a variância observada pela estatística espacial. Verifica-se que existe tendência na disponibilidade de água no perfil do solo em estudo relativamente semelhante aos parâmetros geoestatísticos encontrados no sistema de aplicação de água. Salientando-se que as possíveis variações nos valores dos parâmetros geoestatísticos poderão ser em conseqüência do modelo matemático encontrado para os ajustes das semivariâncias.

Tabela 19. Relação entre o CUE e os parâmetros da estatística espacial no sistema de irrigação.

Parâmetros		Coef. Unif. Estat. %	E. pepita (mm)	Patamar (mm)	alcance (m)	Dependência espacial %
Variáveis	Modelos	CUE	Co	Co+C	a (m)	(Co/(Co+C)).100
coco	Linear	73,2	83	94	81	88,2 f
goiaba	Linear	79,4	8	90	106	8,88 ft
novo	Exponencial	88	5	35	212	14,2 ft
usado	Esférico	88,7	1	33	218	3,0 ft

f- fraca, ft- forte

5. CONCLUSÕES

1. Características hidráulicas do microaspersor e desempenho do sistema:

- 1.1 A vazão do emissor após três anos de uso diminuiu em 5,3% em relação ao microaspersor novo;
- 1.2 O coeficiente de variação de fabricação do microaspersor é considerado como excelente, segundo normas da ASAE, e após três anos de uso passou a ser de média qualidade. O coeficiente de variação de aplicação aumentou nos microaspersores usados;
- 1.3 Tanto nos microaspersores novos como nos usados, a relação pressão versus vazão, encontrado em laboratório é descrita por modelos potenciais com coeficiente de descarga caracterizado como de regime de fluxo turbulento. Já em campo os valores desses coeficientes de descarga são maiores, classificados como regime de fluxo semiturbulento;
- 1.4 O raio efetivo do emissor diminuiu após os três anos de uso;
- 1.5 O coeficiente de uniformidade de irrigação aumentou quando se trocou em campo os emissores usados pelos novos, assim como o coeficiente de uniformidade do sistema e a eficiência de aplicação;
- 1.6 Em campo ocorreram grandes variações de pressão e de vazão conseqüentemente só foi encontrado coeficiente de uniformidade de irrigação e coeficiente de uniformidade estatístico acima de 80% só na subunidade dois;

2. Variabilidade casual da disponibilidade de água no solo:

- 2.1 Na subunidade dois tanto a pressão como a vazão aumentou quando se trocaram os emissores usados por novos;
- 2.2 A disponibilidade de água aumentou com a profundidade do solo
- 2.3 Para todas as variáveis analisadas houve uma distribuição normal dos dados;
- 2.4 O coeficiente de variação de disponibilidade de água diminuiu após as irrigações;
- 2.5 No perfil do solo apenas na profundidade de 40-60 cm o solo se encontrava com a disponibilidade de água acima do nível de capacidade de campo;
- 2.6 De um modo geral os mapas de isolinhas mostraram que a maior disponibilidade de água se encontra nas linhas laterais localizadas no início da linha de derivação ;

3. Variabilidade espacial da disponibilidade de água no solo:

- 3.1 Os modelos matemáticos da disponibilidade de água no perfil do solo na subunidade dois, ajustados as semivariâncias, na sua maioria foram lineares. Sugerindo que quando a distribuição dos dados é normal existe uma tendência desse modelo vir a ocorrer;
- 3.2 Na subunidade dois, no perfil do solo, a distância máxima (alcance) que os dados estimados de disponibilidade de água se correlaciona espacialmente foi constante com exceção na camada 20-40 cm depois da irrigação;
- 3.3 Quando se trocaram os emissores usados por novos, a variância mínima (Efeito Pepita) diminuiu entre os pares estimados com uma forte dependência espacial tanto para emissores novos como para usados;
- 3.4 Nas subunidades cinco e dez, a dependência espacial estimada pelos modelos matemáticos ajustados as semivariâncias foi forte;
- 3.5 Com o aumento do coeficiente estatístico das vazões houve uma tendência para o efeito pepita e o patamar diminuir, enquanto o alcance e a dependência espacial aumentam.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Sistema de Irrigação Localizada: Avaliação do desempenho. Rio de Janeiro, 11p, 1987. Projeto 12: 02-08-20.

ABREU, J. M. H.; LOPEZ, J. R.; REGALADO, A. P.; HERNANDEZ, J. F. G. El riego localizado. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrárias, 1987, 317p.

ACEVEDO, E., FERERES, E., HSIAO, T. CF., et al. Diurnal growth trends, water potential and osmotic adjustment of maize and sorghum leaves in the field. *Plant Physiol.*, Baltimore: v. 64, p476-480, 1979.

ACEVEDO, E., HSIAO, T.C., HENDERSON, D.W. Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to changes in water status. *Plant Physiol.*, Baltimore: v.48, p.631-636, 1971.

ALVES, D. R. D.; LIMA, L. A Avaliação da uniformidade de distribuição de água de microaspersores e microdofusores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23 1994, Campinas. resumos... Campinas: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 1994, n. 94.-3-316. p. 17.

ALVES, W. W. de, A.; SOUZA, C. C.; OLIVEIRA, F. A. de, O.; CAVALCANTE, L. F.; ALBUQUERQUE, J. H de; MELO, R. F. DE; Desenvolvimento radicular do Algodoeiro Herbáceo em Três Solos sob Diferentes Níveis de Água Disponível. In: II Congresso Brasileiro de Algodão, pág 566-568. Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil 05 a 10 de setembro de 1999.

ANDRADE, A. R. S. de. Características físico-hídricas dos solos da estação experimental da EMBRAPA algodão. variabilidade espacial. 1997. 100 p. (Dissertação de Mestrado)- Centro de Ciências e Tecnologia, campus II, Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande, PB.

- ARMONI, S. Micro sprinkler irrigation. Kibuts Dan: Dan sprinklers, Israel, 1986,91 p.\
- ASAE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Field Evaluation of Microirrigation Systems. EP458. St. Joseph, p.792-797. 1996.
- ASAE. Design and installation of microirrigation systems. ASAE Engineering Practice 405. 1. St. Joseph, MI: ASAE. 1988.
- BEEG, J. E.; TURNER, N. C. Crop Water deficits. Adv. Agron., San Diego: v,28,p161- 217, 1976.
- BELOYGUE, C., WERY, J., COWAN, A. A., et al. Contribution of leaf expansion, rates of leaf appearance, and stolon branching to growth of plants leaf area under water deficit in white clover. Crop Sci, Madison, v.36, p. 1240-1246, 1996.
- BEM HAJ SALAH, H., TARDIEU, F. control of leaf expansion rate droughted maize plants under fluctuating evaporative demand. Plant Physiol, Baltimore, v. 114, p. 893- 900, 1997.
- BENINCASA, M. M. P. Ecofisiologia vegetal. Jaboticabal :FCAV / UNESP, 1980. 120p.
- BERLIN, JERRY, QUISENBERRY, J.E., BAILEY, FRANKLIN, et al. Effect of water stress on cotton leaves. Plant Physiol., Baltimore, v. 70, p. 238-243,1982.
- BERNARDO, S. Manual de Irrigação. 6ª ed. Viçosa: UFV, 1995. 657p.
- BERNARDO, S. Manual de irrigação. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1987. 488p.
- BOMAN, B. J. Distribution Patterns of Microirrigation Spinner and Spray Emitters. Applied Engineering in Agriculture, v.5, n.2, p.50-56. 1989.
- BRALTS, V. F., WU, I. P., GITLIN, H. M. Manufacturing variations and drip irrigation uniformity. Transaction of the ASAE, St. Joseph, v.24, n.1, p.113-119, 1981.
- BRALTS, V. F.; KESNER, C. Drip irrigation field uniformity estimation. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.24, n.5, p.1369-1374. 1983.
- BREIRSDORF, M. I. C.; MOTA, F. S. Necessidade de água e balanço da radiação na cultura do arroz irrigado e estudo da seca nos sistemas de rotação arroz- pastagem-cultura no Rio Grande do sul. In: Seminário Nacional de Irrigação, 2, 1971, Porto Alegre- RS. Anais, SEDUSUL, 1971. P. 261-280.
- CABELLO, F. P. Riegos localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersion e exudacion. Madri: Ediciones Mundi-Prensa, 1986. 461p.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVACK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KNOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58: 1240-1248, 1994.

CARVALHO, E. A caracterização física de três solos do Município de Areia-Paraíba 1978. 102p. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba-UFPB, Campina Grande-PB.

CHEYI, RAJ. H.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. DE., In: Simpósio “Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada”, Campina Grande: UFPB, 1997. 383p.

CHOUDHURY, E. N. & MILLAR, A. A. Retenção e movimento de água em latossolo-Vermelho-Amarelo irrigado de Petrolina (PE). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 7, n.1, p. 21-26, jan./abr. 1983.

CHRISTIANSEN, J. E. Irrigation by sprinkling. Berkeley: University of California, 1942. 124 p. (Bull, 670).

COELHO, E. F. et al. Produtividade do meloeiro sob diferentes intervalos de irrigação e disposição de linhas laterais de gotejamento em solo arenoso coeso. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 309-315, 1999.

COSTA, R. G. relatório técnico do curso internacional sobre operação e manejo de distritos de irrigação e do estágio com a cultura do coqueiro. Aracajú: Embrapa-UEPAE de Aracajú, 1985. 26p.

COUTO, E. G.; MELLO, D. O uso da krigagem para identificar a resistência a penetração num Latossolo-vermelho-Férrico sob diferentes coberturas e sistemas de preparo de solo, In: XIII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação de Solo e da Água, Ilhéus-BA, 2000.

DANTAS NETO, J.; MEDEIROS, M. G. A.; AZEVEDO, C. A. V.; AZEVEDO, H. M. Performance hidráulica e perfil de distribuição de água do microaspersor NAAN 7110, sob diferentes condições de vento. *R. Bras. Eng. Agríc. e Ambiental*, Campina Grande, v.1, p.57-61. 1997.

FAO. Crop Water Requirements. Rome, 1977. 204p. (irrigation and drainage paper, 24).

FIRAKE, N. N.; SALUNKHA, D. S. Soil moisture movement in microsprinkler irrigation. *Agricultural-Engineering Today*. n. 15-16, 1992, resumo consultado: CAB Abstracts 1993-7/95. CD-ROM.

- FRIZZONE, J. A. Irrigação por aspersão: Uniformidade e eficiência. Piracicaba – ESALQ: Departamento de Engenharia Rural, 1992. 53p. (Série didática, 03).
- GONZAGA NETO, L.; SOARES, J. M. Goiaba para exportação: aspectos técnicos da produção; Ministério da Agricultura, do abastecimento e da reforma Agrária, Secretaria de desenvolvimento Rural, Programa de Apoio à Produção e exportação de Frutas, Hortaliças, Flores e Plantas Ornamentais. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 49p. (série Publicações Técnicas Frupep, 5).
- GRASSI, C. Estimation de los uso consutivo de água y requerimentos de riego com fines de formulacion y deseno de proyotos. Mérida, Venezuela. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de águas y Tierras, 1968. 125p. (Documento-53).
- GUERRA, P. A. G. Geoestatística operacional. Brasília: Ministério das Minas e Energia Departamento Nacional de Produção Mineral. Brasília, 1988. 145 p.
- GUINN, G., MAUNEY, J. R. Fruiting of cotton. I. Effects of moisture status on flavoring. Agron. J., Madison to Water stress. Ann. rev. Plant Physiol., v. 24, p. 519-570, 1973.
- HOWELL, T. A.; HILLER, E. A. Designing trickle irrigation laterals for uniformity. Journal of irrigation and Drainage Division. ASCE, v. 100, IR4, p. 443-454. 1974.
- HSIAO, T. C. Plant responses to water stress. Ann- Rev. Plant Phisiol. V.24, p 519-570, 1973.
- ISAAKS, E. H. & SRIVASTAVA, R. M. Na introduction to applied geoestatistics. Oxford. Oxford University Press, 1989. 561p.
- JENSEN, M. E., RANGELEY, W. R., DIELEMAM, P. J. Irrigation trends in word agriculture. In: Irrigation of agriculture crops. Madison: Amer. Soc. Agron., 1990. p. 31-67.
- JONES, H. G., JONES, M.B. Introduction to some terminology and cammon mechanisemes of plants under stress. Cambridge University Press, Cambridge: 1989. 257p.
- JOURNEL, A. G, HUIJBREGTS, C. H. J. Mining geoestatistics. Academic Press, London, 1978. 600 p.
- KARMEI, D. Classification and flow regime analysis of drippers. Journal of Agricultural Engineering Research, London, v. 22, n. 2, p. 165-173, June 1977.
- KELLER, J., KARMEI, D. Trickle irrigation design parameters. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.17, n.4, p.678-684, 1974.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. Sprinkle and trickle irrigation. New York: Van Nostrand

Reinhold, 1990. 652p.

KOPPEN, W. Das geographi sc system der Klimate, In. KOEPPEN, W., GEIGER, R. Handbuch der Klimatologia. Berlin: Gerdrulier Borntraeger. v.1, porte C, 1936.

KOPPEN, W. Das geographi sc system der Klimate, In. KOEPPEN, W., GEIGER, R. Handbuch der Klimatologia. Berlin: Gerdrulier Borntraeger. v.1, porte C, 1936.

LAWLOR, D. W., JOHSTON, A. E., Growth of spring barley uder drought: Crop developmente, photosythesis, dry-matter accumulation, and nutrient content. Journal of Agricultural Science, v.96, p. 167-186, 1981.

LEVITT, J. Responses of plants to enveironmental stress. Water, radiation, Salt and other stresses, 2 ed. Academic Press, New York: 1980. 607p.

LIBARDI, P. L.; PREVEDELO, C. C.; PAULETO, E. A. & MORAES, S. O Variabilidade espacial da umidade, textura e densiadade de partículas ao longo de uma transeção. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas-SP, 2(10): 85-90.1986.

MANICA, I.; KIRST, H. G. K. Adubação e irrigação. Im. MANICA et. al. Fruticultura-cultivo das anonáceas (Ata – Cherimolia – graviola). 1994. 116p. capítulo 7. P. 46 – 61.

MATOS, J. A Características Hidráulicas e da distribuição de água do Microaspersor DAN

SPRINKLER 2001. Campina Grande: UFPB, 1996. 81p. Dissertação Mestrado.

MERRIAN, J. L.; KELLER, J. Farm irrigation systens evaluation: aguide for management. Logan: Agricultural of Irrigation Engineering Departament, Utah State University, 1978. 271p.

METHERON, G. Traite de geoestatística appliquée,. Bur. rech. geolog. et Min. n. 14, tome I e II, 1962. 357 p.

MUSECK, J.T & DUSER,D. A. Irrigated corn yield response to water. Transaction of the Asae, St. Josepf., 23: 92-1040, 1980.

NASCIMENTO, T.; SOARES, J.M.; AZEVEDO, C. A. V. de. Uniformidade de distribuição de água na superfície e no perfil do solo irrigado por microaspersor rain- bird qn-14. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.3, n.3, p. 304-308, 1999.

NIELSEN, D. R.; BIGGAR.; ERN, K. T. Spacial variability of field measures soil-water properties. *Hilgardia* 7(42): 215-259. 1973.

NUEVO, F.A. S. Modelo computacional para dimensionamento hidráulica em sistemas de irrigação localizada. São Carlos- USP; 1992. 139p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem)-Universidade de São Carlos, 1992.

OHLER, J. G. Coconut, tree of life. Rome: FAO, 1984. 446p. (FAO. Plant Production and Protection Paper, 57).

OLIVAIRA, J. C. M.; TOMINAGA, T. T.; CASSÁRA, F. A. M.; REICHARDT, K; TIMM, L. C.; BACCHI O. O. S. variabilidade espacial da umidade do solo num cultivo de cana-de-açúcar submetido a diferentes tipos de manejo. In XIII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, Ilhéus-BA, 2000.

OLIVEIRA, J.J; Variabilidade espacial de características químicas em um solo salino sódico. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, DEAg., 1998, 98p., (Dissertação de Mestrado).

OLLITA, A. F. L. Os métodos de irrigação. São Paulo: Nobel, 1986. 267p.\

PAIVA, J. B. D. de. Uniformidade de aplicação de água, abaixo da superfície do solo, utilizando-se irrigação por aspersão. 1980. 125p. Dissertação (mestrado)- Universidade de São Carlos, 1980.

PENAFORTE, A. B. et al., Análise de performance de um sistema de irrigação de um sistema de irrigação por aspersão convencional, acima e abaixo da superfície do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus. Anais... Ilhéus: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola. 1993, v. 4, p. 2626-2638.

PETRY, C. Adaptação de cultivares de soja a deficiência hídrica no solo. Santa Maria: UFSM, 1991. 106 p. Dissertação (Mestrado). UFSM.

PINTO, J. M; SOARES, J. M; NASCIMENTO, T. Análise de coeficientes de uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação localizada. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8., 1988, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ABID, 1988. p. 309-326.

PIZA, JUNIOR, C. de T. Fruta – do – Conde (*Annona squamola* L.). Manual Técnico das Culturas. Campinas, CATI, 1988. P. 239 – 243.

- QUEIROZ, J. E. GONÇALVES, A. C.; SOUTO, J. S. FOLEGATTI, M. V. Avaliação e monitoramento da salinidade do solo. In: GHEIY, H. H.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. f. Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande, UFPB, p. 69-111, 1997.
- REICHARDT, K. A ÁGUA EM SISTEMAS AGRÍCOLAS. São Paulo: Manole, 1990 188p.
- REICHARDT, K. Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas. 2. ed. Piracicaba: USP/ESALQ, 1996, 505P.
- REICHARDT, K., Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas. Piracicaba, USP/ESALQ. Depto. Física e Meteorologia. 1993.505p.
- REICHARDT, K.; VIEIRA, S.R. & LIBARDI, P. L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas-SP, v. 10, n. 1, p. 1-6, 1986.
- REICHARDT, K.; ZAPATA. F.; HARDARSON, G.; AXMANN,H. (1984). Evaluation of soil-water and plant nitrogen status by nuclear techniques. In: Crop Proceeding of regional Worksshop on Nuclear Techniques-in Crop Production, CENA, Piracicaba-SP 1984. 239-246 p.
- REZENDE, R. et al. Influência do espaçamento entre aspersores na uniformidade de distribuição de água acima e abaixo da superfície do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v2, n.3, p.257-261, 1998.
- RHOADES, J. D.; KANDIAHL, A. M. The use of saline water for crops production. Rome: fao, 1992. 133p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 48).
- RICARDO, S. R. Mapeamento geoestatística de propriedades obtidas em sondagem de simples reconhecimento. 1995. 185p. (Tese) EESC-USP, São Carlos-SP.
- ROBERTSON, G. P. GS+: geoestatistics for enveronment sciences - GS+ User's Guide. Plainwell, Gamma Design Software, 1988. 152p.
- ROCHA, E. M. de M. et al. Uniformidade de distribuição de água por aspersão convencional na superfície do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, campina Grande, v.3, n.2, p. 154-160, 1999.

SANTOS, R.F., CALESSO, R. déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 2., p. 287-294, 1998.

SCALOPPI, J. E., DIAS, K. F. S. relação entre a pressão de operação e a uniformidade de distribuição de água de aspersores rotativos por impacto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, 1996, Bauru. Resumos Bauru: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1996. CD Rom.

SEBRAE. Recife-PE. Pinheira (*Annona squamosa*): cultivo sob condição irrigada. Recife. 1994. 26p. (SEBRAE – Série Agricultura, 12).

SILVAEIRA, P. M. da; STONE, L F. Manejo da irrigação do feijoeiro: uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 46p. (EMBRAPA-CNPAF. Circular técnica, 27).

SINGH, S., SRIVASTAVA, K.K Effect of soil-water potential an germination of surgacane sets. India J. Aric. Sci., New Delhi: v. 44, p. 184-187, 1974.

SOARES, J. M.: NASCIMENTO, T .; PINTO, J. M. Avaliação técnica de sistema de irrigação localizada. Petrolina, EMBRAPA- CPATSA, 1993.

SOLOMON, K. H.; KELLER, J. Trickler irrigation uniformity and efficiency. Journal of the Irrigation and Drainage Division v. 104, n. IR3, p. 293-306. 1978.

SOLOMON, K. Manufaturing variation of trickle emitter. transactions of the Amercan Society of Agricultural Engineers. p. 1034-1038.1979.

SOUSA, J. R. Variabilidade espacial de características físico-hídricas e de água disponível em um solo no semi-árido. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, DEAg., 1998, 68 p. (Dissertação de Mestrado).

SPIGUEL, M. R. Estatística. 2 ed. São Paulo: Mcgraw-hill, 1985.

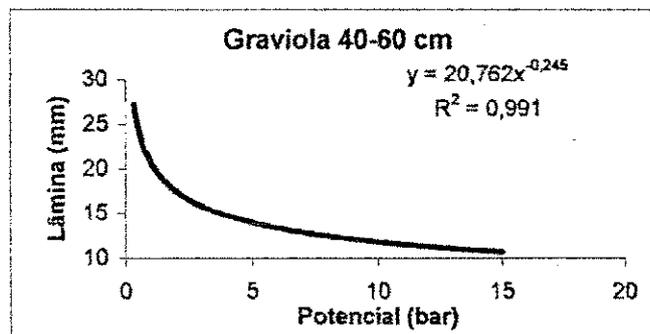
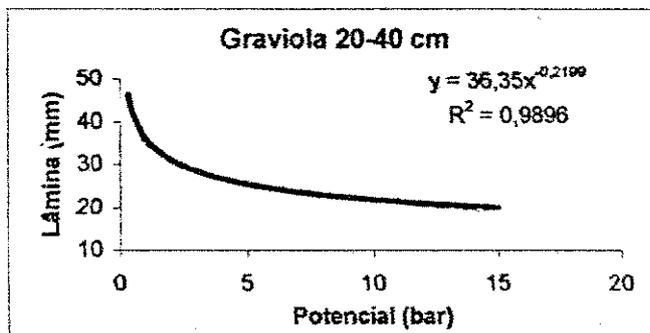
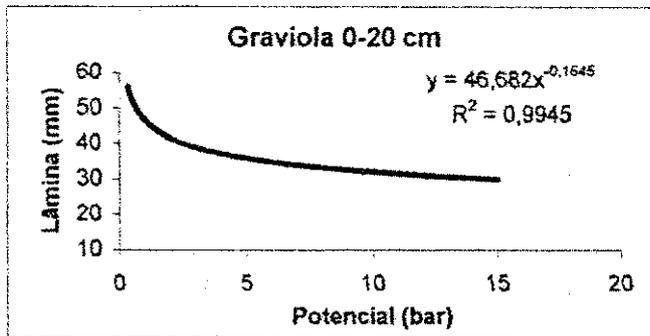
SUTCLIFFE, J.F. As plantas e a água. São Paulo: E.P.V./EDUSP, 1980. 126p.

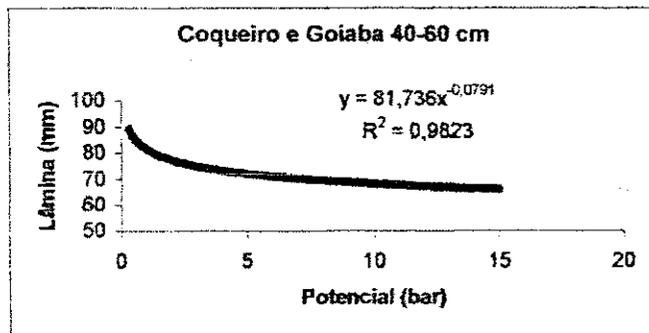
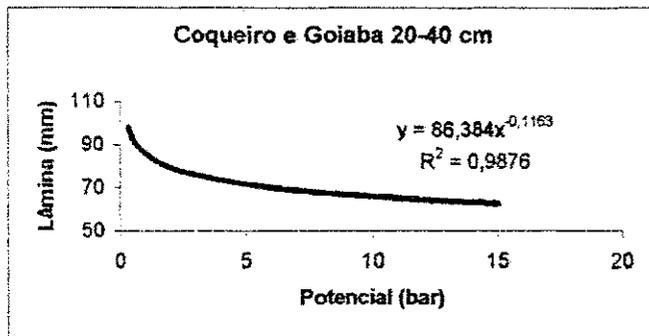
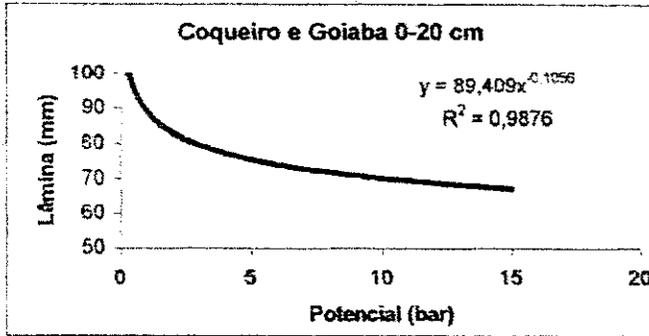
SZABOLES, I., DARAD, K., Water quality for irrigation and salinization problems. In: Syposium of C.i.e.c. on water and fertilizer user for food production in arid and semiarid zones, Benhazi, Libya, 1979. Proceedings... benghazi: University of Garyounis, 1979, p. 51-69.

- THAMPAN, P. K. Success story in drip irrigatio. India Coconut Journal, v. 21, n. 9. 8-10, 1991.
- TEIXERA FILHO, A. J. de. Variabilidade espacial de parâmetros físico-hídricos em solo aluvial da microbacia hidrográfica do riacho São Pedro-Paraíba Brasil. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, DEAg., 2001, 87p., (Dissertação de Mestrado).
- TENÓRIO, r. m. r. Avaliação técnica e financeira de um plantio comercial de melão microirrigado. 2000. 77f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem)-Universidade federal do ceará. 2000.
- TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S. & UEHARA, G.; Applications geostatistics to spacial studies of soil proprieties. Advances in Agronomy, V. 38, p. 45-94, 1985.
- TURNER, NEIL C. the benefits of water deficits. Preceeding of the International Congress of Plant Physiology, New delhi: February 15-20, 1988.
- VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F. Vriabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do estado de São Paulo. Bragantia, v. 54, p. 405-412, 1995.
- VIEIRA, S. R.; TILLTSOU, P. M.; BIGGAR, J. W.; NIELSEN, D. R. Scaling of semivariograms and Krigyng estimation of fiel-measured properties. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Voçosa-MG, v. 21, p. 525-533, 1997.
- VIEIRA,S.R.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J. W. Spacial variability of field measured infiltration rate. Soil Science of America, 45: 140-8. 1981.
- WEBSTER, R. & OLIVIER, M. A. Statistical methods in soil and land resource survey. Oxford University Press. Oxiford. 1990. 316 p.
- WU, I. P.; GITLIN H. M. Drip irrigation aplication efficiency. trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.), St. Joseph, v. 26, n.1, p. 92-99. 1983.
- ZANINE, J. R.; PAVANI, L. C.; TAROZZO, M. Avaliação da vazão de um sistema de irrigação por microaspersão em cultura de bananeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998, Poços de Caldas. Resumos... Poços de Caldas: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998, v.2, p.290-292.

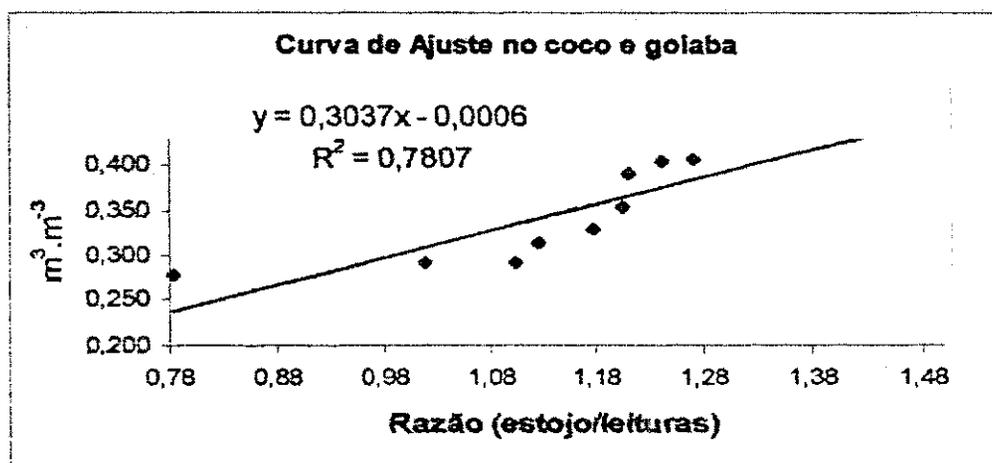
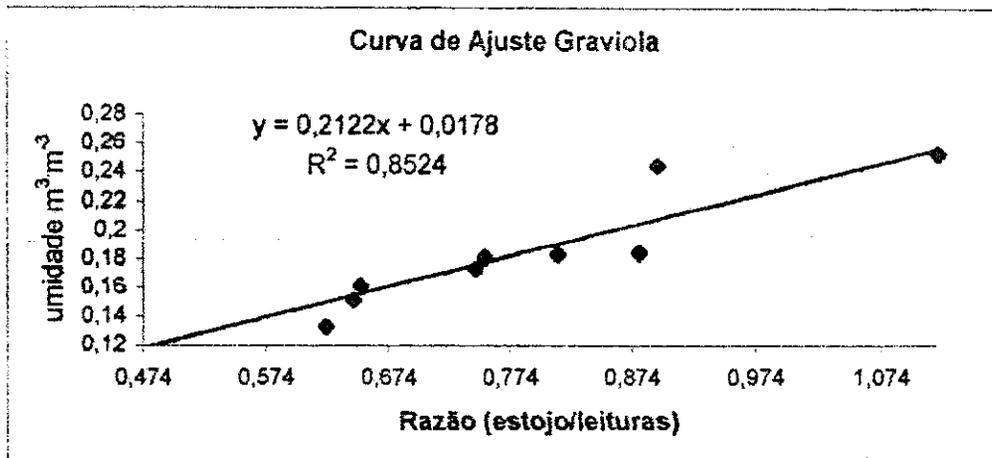
7. ANEXOS

7.1 Curva característica dos solos





7.2 Curva de calibração da sonda de nêutrons



7.3 Coordenadas de coleta de dados para a subunidade dez (coqueiro)

20 cm Pontos	Coordenadas (M)		Antes
	x	y	Lâmina (mm)
1	22,5	15	74,55
2	22,5	30	81,89
3	22,5	45	71,61
4	22,5	60	76,1
5	22,5	75	74,73
6	45	15	55,12
7	45	30	45,84
8	45	45	76,19
9	45	60	53,73
10	45	75	74,74
11	67,5	15	72,9
12	67,5	30	65,51
13	67,5	45	37,39
14	67,5	60	33,67
15	67,5	75	55,13
16	90	15	41,24
17	90	30	70,29
18	90	45	70,63
19	90	60	70,56
20	90	75	81,81
21	112,5	15	84,1
22	112,5	30	68,68
23	112,5	45	58,92
24	112,5	60	77,57
25	112,5	75	56,09

7.4 Leitura da sonda para o coqueiro

Coqueiro		Leitura da Sonda V %				
antes da irrigação						
Prof. (cm)	1	2	3	4	5	
20	18,12	19,9025	17,4075	18,4975	18,165	
40	19,7175	21,8925	19,5775	22,4325	19,7275	
60	21,7425	23,8025	22,1125	23,6525	23,4975	
	6	7	8	9	10	
20	13,405	11,1525	18,5175	13,0675	18,1675	
40	15,5575	15,165	19,07	16,015	19,83	
60	17,6375	17,4925	20,4775	17,375	21,0625	
	11	12	13	14	15	
20	17,72	15,9275	9,1025	8,2	13,4075	
40	19,455	16,735	16,0475	15,5	19,665	
60	20,3975	18,825	17,39	16,6475	20,5975	
	16	17	18	19	20	
20	10,0375	17,0875	17,17	17,1525	19,8825	
40	12,915	18,96	18,69	17,5925	20,685	
60	17,565	21,56	22,2275	18,7875	21,2575	
	21	22	23	24	25	
20	20,4375	16,695	14,3275	18,8525	13,64	
40	20,7275	17,2425	15,58	18,7525	15,795	
60	21,755	18,565	17,745	20,3225	17,05	

Coqueiro		RAZÃO DE COTAGEM				
antes da irrigação						
Prof. (cm)	1	2	3	4	5	
20	1,22931	1,35024	1,18097	1,25492	1,23236	
40	1,33769	1,48524	1,32819	1,52188	1,33836	
60	1,47507	1,61482	1,50017	1,60465	1,59413	
	6	7	8	9	10	
20	0,90943	0,75661	1,25628	0,88653	1,23253	
40	1,05546	1,02883	1,29376	1,0865	1,34532	
60	1,19657	1,18674	1,38925	1,17877	1,42893	
	11	12	13	14	15	
20	1,20217	1,08056	0,61754	0,55631	0,9096	
40	1,31988	1,13535	1,0887	1,05156	1,33412	
60	1,38382	1,27714	1,17978	1,12941	1,39739	
	16	17	18	19	20	
20	0,68097	1,15926	1,16486	1,16367	1,34888	
40	0,87619	1,2863	1,26798	1,19352	1,40332	
60	1,19166	1,46269	1,50797	1,27459	1,44216	
	21	22	23	24	25	
20	1,38653	1,13263	0,97201	1,279	0,92537	
40	1,40621	1,16978	1,05699	1,27222	1,07157	
60	1,47592	1,2595	1,20387	1,37873	1,15672	