

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

MESTRADO

DIAGNÓSTICO DA NECESSIDADE DE DRENAGEM NO
PERÍMETRO IRRIGADO DE SÃO GONÇALO.

DISSERTAÇÃO

MARIA SALLYDELÂNDIA SOBRAL DE FARIAS

Campina grande – Paraíba
Junho - 1999

**DIAGNÓSTICO DA NECESSIDADE DE DRENAGEM NO PERÍMETRO
IRRIGADO DE SÃO GONÇALO.**

**MARIA SALLYDELÂNDIA SOBRAL DE FARIAS
ENGENHEIRA AGRÍCOLA**

**Dissertação apresentada ao Curso de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola, da
Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para obtenção
do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

**ORIENTADORES: Prof. Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima
Prof. Dr. Tunkur Rajarao Gopinath**

**CAMPINA GRANDE – PB
JUNHO - 1999**

DIGITALIZAÇÃO:
SISTEMOTECA - UFCG

631.67

F.228d Farias, Maria Sallydelândia Sobral de

Diagnóstico da necessidade de drenagem no perímetro irrigado de São Gonçalo. Campina Grande: UFPB, 1999. 75 p

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia. C. Grande, 1999.

1. Irrigação
2. Drenagem
3. Variabilidade espacial
4. Dependência espacial



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DA MESTRANDA

MARIA SALLYDELÂNDIA SOBRAL DE FARIAS

Título: "Diagnóstico da Necessidade de Drenagem no Perímetro Irrigado de São Gonçalo".

COMISSÃO EXAMINADORA

PARECER

Vera Lúcia Antunes de Lima
Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima-Orientadora

APROVADO

Tunkur Rajarao Gopinath
Dr. Tunkur Rajarao Gopinath-Orientador

Aprovado

Malaquias da Silva Amorim Neto
Dr. Malaquias da Silva Amorim Neto-Examinador

APROVADA

José Dantas Neto
Dr. José Dantas Neto-Examinador

APROVADO

Campina Grande, 14 de junho 1999

**Aos meus pais: Adalberto M. de Farias e
Maria de Lourdes S. Farias, aos meus
Irmãos :Adalberto, Suênyze e Amaral.**

OFEREÇO

**A meu esposo Francisco de Assis
Araújo e a minha filha Aline de farias
Araújo, pelo carinho e compreensão.**

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Á Deus que nos momentos de dificuldades, a cada dia é a minha fortaleza.

Á Universidade Federal da Paraíba, pela oportunidade de realização deste curso.

Ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, pelo apoio para realização do curso.

A Fundação de Apoio a Pesquisa (FAPESQ), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Projeto Nordeste de Pesquisa e Pós- graduação CAPES / CNPq, pelo apoio para a realização deste trabalho.

A EAFS – Escola Agrotécnica Federal de Souza-Pb, pela oportunidade e pelo apoio técnico, que foi de fundamental importância no desenvolvimento da pesquisa.

A professora Vera Antunes de Lima e ao professor Tumkur Rajarao Gopinath pelo apoio e eficiente orientação na condução deste trabalho.

Aos professores e funcionários do curso de Pós- Graduação em Engenharia Agrícola da UFPB.

A secretária da pós-graduação Rivanilda S. de Almeida Diniz, pela atenção dispensada durante o curso.

Ao professor Everaldo Mariano Gomes da Escola Agrotécnica Federal de Souza, pelo apoio durante a pesquisa.

Aos colegas do curso de Pós-graduação, Albanise, Betânia, Daniel, Eugênio, Euler, Gutemberg, João, João Rodrigues, Jonildo, Lázaro, Marineide, Paulo, Sérgio pela excelente convivência.

Ao amigo Eugênio Parcelli, pela colaboração durante a pesquisa e convivência fraterna em todos os momentos.

Ao professor Carlos Alberto Vieira de Azevedo pela tradução do resumo e pela contribuição no desenvolvimento da pesquisa.

Enfim a todos os amigos e colaboradores que direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho.

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Medidas estatísticas para profundidade do lençol freático (m) após evento de chuva, sub - área I.	30
Tabela 2. Medidas estatísticas para profundidade do lençol freático (m) após evento de chuva, sub - área II.	31
Tabela 3. Medidas estatísticas para profundidade do lençol freático (m) após evento de irrigação, sub - área II.	31
Tabela 4. Medidas estatísticas para condutividade elétrica da água do lençol freático ($CE - \mu s / cm$) e da condutividade hidráulica ($K - m/dia$), das sub - áreas I e II.	32
Tabela 5. Estimativa dos parâmetros do modelo esférico ajustado aos semivariogramas experimentais, efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C_1$), alcance de dependência (a), e relação efeito pepita/patamar, expresso em porcentagem, para as variáveis estudadas.	54
Tabela 6. Equações do modelo esférico ajustadas aos semivariogramas para a profundidade do lençol freático após evento de chuva, sub - áreas I e II.	55
Tabela 7. Equações do modelo esférico ajustadas aos semivariogramas para profundidade do lençol freático após evento de irrigação, sub - área II e condutividade elétrica da água do lençol freático, sub - áreas I e II.	56

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1a	Localização do Perímetro irrigado de São Gonçalo	18
1b	Aspectos gerais da área experimental (Escola Agrotécnica Federal de Souza- Perímetro irrigado de São Gonçalo-PB)	19
2	Distribuição dos poços de observação nas sub - áreas.	20
3	Esquema da instalação do poço de observação.	21
4	Procedimento de leitura da condutividade elétrica da água do lençol freático.	23
5a	Determinação da condutividade hidráulica	24
5b	Geometria do Método Auger- Hole.	24
6	Histogramas e gráficos de probabilidade normal para profundidade do lençol freático, 6 e 12 horas após evento de chuva, sub - área I.	34
7	Histogramas e gráficos de probabilidade normal para profundidade do lençol freático, 18 e 24 horas após evento de chuva, sub - área I.	35
8	Histogramas e gráficos de probabilidade normal para profundidade do lençol freático, 48 horas após evento de chuva, sub - área I.	36
9	Histogramas e gráficos de probabilidade normal para profundidade do lençol freático, 6 e 12 horas após evento de chuva, sub - área II.	36
10	Histogramas e gráficos de probabilidade normal para profundidade do lençol freático, 18 e 24 horas após evento de chuva, sub - área II.	37
11	Histogramas e gráficos de probabilidade normal para profundidade do lençol freático, 48 horas após evento de chuva, sub - área II.	37
12	Histogramas e gráficos de probabilidade normal para profundidade do lençol freático, 6 e 12 horas após evento de irrigação, sub - área II.	38
13	Histogramas e gráficos de probabilidade normal para profundidade do lençol freático, 18 e 24 horas após evento de irrigação, sub - área II.	39

14	Histogramas e gráficos de probabilidade normal para profundidade do lençol freático, 48 horas após evento de irrigação, sub - área II.	39
15	Histogramas e gráficos de probabilidade normal para condutividade hidráulica ($K - m/dia$), sub-áreas I e II.	40
16	Histogramas e gráficos de probabilidade normal para condutividade elétrica da água do lençol freático ($CE \mu s /cm$), sub- áreas I e II.	41
17	Semivariogramas experimentais para profundidade do lençol freático 6, 12, 18, 24 e 48 horas após evento de chuva, sub -áreas I e II (a, b) e após evento de irrigação, sub -área II (c).	44
18	Semivariogramas experimentais para condutividade hidráulica (a ,b) e condutividade elétrica da água do lençol freático (c, d), sub -áreas I e II.	45
19	Semivariogramas da profundidade do lençol freático, 6, 12 e 18 horas após evento de chuva sub- área I, modelo ajustado e as estimativas dos parâmetros C_o , $C_o + C1$ e a.	46
20	Semivariogramas para profundidade do lençol freático, 24 e 48 horas após evento de chuva sub - área I, modelo ajustado e as estimativas dos parâmetros C_o , $C_o + C1$ e a.	47
21	Semivariogramas para profundidade do lençol freático, 6, 12 e 18 horas após evento de chuva sub -área II, modelo ajustado e as estimativas dos parâmetros C_o , $C_o + C1$ e a.	48
22	Semivariogramas para profundidade do lençol freático,24 e 48 horas após evento de chuva sub - área II, modelo ajustado e as estimativas dos parâmetros C_o , $C_o + C1$ e a.	49
23	Semivariogramas para profundidade do lençol freático, 6, 12 e 18 horas após evento de irrigação sub-área II, modelo ajustado e as estimativas dos parâmetros C_o , $C_o + C1$ e a.	50
24	Semivariogramas para profundidade do lençol freático, 24 e 48 horas após evento de irrigação sub- área II, modelo ajustado e as estimativas dos parâmetros C_o , $C_o + C1$ e a.	51

25	Semivariogramas da condutividade elétrica da água do lençol freático, modelo ajustado e as estimativas dos parâmetros C_0 , $C_0 + C1$ e a , para sub - áreas I e II.	52
26	Mapa de isolinhas para profundidade do lençol freático após evento de chuva , sub -áreas I(a) e II (b).	59
27	Mapa de isolinhas para profundidade do lençol freático após evento de irrigação, sub - área II.	60
28	Mapa de isolinhas para condutividade elétrica da água do lençol freático, sub -áreas I (a) e II (b).	61

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. A importância da drenagem	4
2.2. Parâmetros hidrodinâmicos do solo	5
2.2.1. Porosidade drenável	6
2.2.2. Condutividade Hidráulica	7
2.3. Profundidade do lençol freático	9
2.4. Condutividade elétrica da água do lençol freático	11
2.5. Aspectos estatísticos	12
2.6. Introdução a Geoestatística	12
2.7. Krigagem	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1. Localização da área	17
3.2. Clima	17
3.3. Análise físico – química do solo	19
3.4. Monitoramento do lençol freático	20
3.4.1. Instalação de poços de observação	20
3.4.2. Observação do lençol freático	22
3.4.3. Determinação da condutividade elétrica da água do lençol freático	22
3.5. Determinação da condutividade hidráulica	23
3.5.1. Método de Auger – Hole	24
3.6. Análise dos dados de campo	26

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1. Análise físico – química do solo	29
4.2. Análise descritiva dos dados	29
4.3. Análises geoestatísticas	42
4.3.1. Semivariogramas experimentais	42
4.3.2. O ajuste dos modelos	42
4.3.3. Mapas do lençol freático	57
5. CONCLUSÕES	62
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
APÊNDICES	69

RESUMO

A pesquisa presente teve o objetivo de realizar estudos de campo que identifiquem a necessidade de drenagem, visando estabelecer uma agricultura sustentável na fazenda que pertence a Escola Agrotécnica Federal de Souza situada no perímetro irrigado e São Gonçalo. Foram instalados 90 poços de observação para monitorar a profundidade do lençol freático depois da descarga de cinco eventos de irrigação e de chuva ocasional. Foram feitas leituras pontuais da profundidade do lençol freático 6, 12, 18, 24 e 48 horas após cada evento, a condutividade hidráulica e condutividade elétrica da água eram determinados seguindo um esquema de amostragem sistemática em um espaçamento de 30x30 m. Os dados foram interpretados pela estatística descritiva e geoestatística para análise descritiva geral e espacial, respectivamente. Foram construídos semivariogramas e mapas de isolinhas e feito interpolação pelo processo de krigagem. Uma variabilidade média foi verificada para a profundidade do lençol freático ($30,59 < CV < 56,64$) e para a condutividade elétrica da água do lençol freático ($39,99\% < CV < 86,90\%$), enquanto que, a condutividade hidráulica apresentou uma variabilidade alta ($153,55 < CV < 228,92$). Quanto à estrutura de dependência, as variáveis estudadas apresentaram dependência espacial moderada, com exceção da condutividade hidráulica que não apresentou estrutura dependência espacial definida. Quando analisado com eventos chuva e de irrigação, a profundidade do lençol freático apresentou um alcance de dependência que variou de 99 a 122 m (sub - área I), de 106 a 122 m (sub-área II), com irrigação de 65 a 122 m (sub-área II), o alcance de dependência da condutividade elétrica da água foi de 53 a 93m, sub - área II e I respectivamente. O mapa de isolinhas para as variáveis profundidade do lençol freático e condutividade elétrica da água, foram construídos a partir de valores estimados pelo processo de krigagem, forneceram uma visão de espacial do padrão de variabilidade destas variáveis, tornando-se uma ferramenta importante para indicação do comportamento de drenagem na área. A seleção das áreas levando em conta a variabilidade espacial, considera a posição no espaço das observações e permite não superestimar o projeto de drenagem em algumas áreas e subestimar em outros, implicando em custos altos. Os valores obtidos da água condutividade elétrica e da profundidade do lençol freático indica a necessidade de implantação de um sistema de drenagem para rebaixar o lençol freático e remover o excesso de sais do perfil do solo estudado.

ABSTRACT

The present research had the objective of accomplishing field studies that identifies the drainage need, seeking to establish a maintainable agriculture in the farm belonging to the Escola Agrotécnica Federal of Souza sited at the irrigated district of São Gonçalo. 90 observation wells were installed for monitoring the water table depth after the discharge from five irrigation events and from occasional rainfall. Punctual readings of the water table depth were made at 6, 12, 18, 24 and 48 hours after each event, and the hydraulic conductivity and electrical conductivity of the water were determined following a systematic sampling scheme in a grid of 30x30 m. The data were interpreted through the descriptive statistics and the geostatistics for general and spatial descriptive analysis, respectively. The krigagem interpolation process drew up Semivariograms and isolines maps. A medium variability was verified both for the water table depth ($30,59 < CV < 56,64$) and for the water electrical conductivity ($39,99\% < CV < 86,90\%$), while the hydraulic conductivity presented a high discharge variability ($153,55 < CV < 228,92$). Regarding the structure of dependence, the studied variables presented moderate spatial dependence, except the hydraulic conductivity that did not present a spatial structure of dependence well defined. When analyzed with rainfall and irrigation events, the water table depth presented a dependence reach that varied from 99 to 122 m (sub-area I), from 106 to 122m (sub-area II), with irrigation from 65 to 122 m (sub-area II), and with the water electrical conductivity from 53 to 93m. The isolines map drew up for the water table depth and water electrical conductivity variables, provided, from values estimated by the krigagem process, a spatial view of the variability pattern of these variables, becoming an important tool for indication of the drainage behavior in the area. The selection of the areas taking into consideration the variability, considers the spatial position of the observations and allows the drainage project not to be overestimated in some areas and underestimated in others, implicating in high costs. The obtained values of the water electrical conductivity and of the water table depth indicate the need of a drainage system to lower the water table and to remove the excess of salts from the studied soil profile.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil extensas áreas agrícolas estão localizadas em solos com problemas de drenagem, sobretudo no caso da agricultura irrigada, uma vez que, grande parte dessa áreas situam-se em locais onde a topografia ocasiona uma drenagem inadequada, resultando em encharcamento do solo, elevação do lençol freático e aumento da salinidade.

Quando novas áreas são incorporadas a processo produtivo, a irrigação é um fator decisivo, entretanto, as técnicas inadequadas de irrigação aliadas às condições naturais, acarretam problemas como salinização e sodificação do solo, principalmente em regiões semi-áridas.

No Nordeste brasileiro o uso pouco racional da água de irrigação e a falta de planejamento dos parâmetros de drenagem, tem sido, seguramente uma das principais causas de degradação do meio ambiente, através da salinização do solo.

O Perímetro irrigado de São Gonçalo localizado no semi - árido paraibano encontra-se com parte de sua área com problemas de salinidade devido a falta de manejo adequado da irrigação e implantação e manutenção de sistemas de drenagem, ocasionando a elevação do lençol freático e prejudicando o desenvolvimento das culturas.

A solução destes problemas requer a instalação de diversos sistemas de drenagem artificiais para retirar o excesso de água, evitar a salinização do solo e assegurar

a condição de umidade adequada que permita o desenvolvimento dos cultivos além do trânsito de maquinaria, necessário ao manejo do solo.

A seleção do sistema de drenagem adequado para solucionar problemas específicos deve se basear em uma correta identificação desses problemas com suas implicações hidrológicas, de solos, agronômicas, ambientais e econômicas (Kessler, 1972 e Beltran, 1986).

A complexidade da interação entre todas estas implicações mostra que é necessário que os projetos de drenagem sejam concebidos com uma perspectiva ampla a nível de bacia hidrográfica, como um elemento essencial para o manejo integral da água.

A maior parte das informações necessárias ao estudo das obras de drenagem é a mesma requerida para qualquer tipo de projeto de desenvolvimento agrário e inclui ações como: pesquisa de campo para coleta de dados, sua análise, a formulação do projeto e sua avaliação.

As pesquisas de campo, as quais são essenciais na identificação e reconhecimento dos problemas, compreendem segundo Staveren (1972) e Pizzaro (1978) a investigação do lençol freático, análise dos dados climatológicos, análise química e física do solo, informações detalhadas da condutividade hidráulica e características da umidade do solo.

Além disso, o conhecimento da variabilidade espacial da condutividade hidráulica do solo, da variabilidade espacial e temporal do lençol freático e da condutividade elétrica da água do lençol freático, são importantes no diagnóstico de áreas com problemas de drenagem, visto que, a uma grande variabilidade espacial e temporal nestes parâmetros. A construção de mapas que identifique a variação sazonal do lençol freático e da condutividade hidráulica, fornece informações a respeito da localização dos pontos críticos na área e a existência do grau de dependência entre as variáveis em estudo.

A elaboração de um projeto de drenagem subterrânea compreende uma pesquisa a nível de campo e laboratório que identifique a necessidade da implantação e o tipo de sistema de drenagem adequado.

Para Nugteren (1972) o aspecto principal da drenagem no que se refere a sua necessidade na irrigação, é que a sua capacidade de descarga deve corresponder a quantidade de água de irrigação aplicada em excesso com relação as necessidade dos cultivos. Esta capacidade de descarga consta de dois componentes: o escoamento superficial e a descarga subterrânea relacionada com a profundidade do lençol freático.

O presente trabalho foi conduzido com objetivo de realizar estudos de campo que identifique a necessidade de drenagem, visando estabelecer uma agricultura sustentável no perímetro irrigado de São Gonçalo e especificamente:

- a) Estudar a variabilidade espacial da profundidade do lençol freático 6, 12 , 18, 24 e 48 horas após cada evento de irrigação e chuva;
- b) Estudar a variabilidade espacial da condutividade elétrica da água do lençol freático e da condutividade hidráulica do solo;
- c) Fazer o mapeamento das variáveis que caracterizam a drenagem, servindo como ferramenta para o dimensionamento de um projeto de drenagem.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 – Importância da drenagem

Extensas superfícies agrícolas estão localizadas em solos com problemas de drenagem, sobretudo no caso da agricultura irrigada. Grande partes das áreas irrigadas se encontram em zonas cuja topografia, ocasiona uma drenagem inadequada, agravada em muitos casos pela baixa permeabilidade do solo.

A drenagem é de fundamental importância para preservar as propriedades físicas do solo e sua estrutura, proporcionada pelo manejo inadequado da irrigação, melhora a aeração do solo e proporciona a cultura um desenvolvimento adequado.

Na Espanha a drenagem agrícola tem sido aplicada fundamentalmente nas zonas irrigadas na recuperação de solos salinos, no controle da salinidade dos solos irrigados e em projetos de conversão de antigos arrozais em horticultura intensiva (Beltran, 1986).

A drenagem é, também importante para assegurar o controle da salinidade a longo prazo. Se a drenagem é adequada, a profundidade ou lâmina de água necessária para lixiviação depende da tolerância das culturas aos sais e da salinidade da água de irrigação. Quando a salinidade é excessivamente alta, a quantidade ou lâmina de água requerida pode também ser demasiadamente grande, podendo exigir o emprego de culturas mais tolerantes sempre que a economia de mercado se justificar. (Ayres & Westecot, 1991)

Para as regiões com problemas de salinidade, a profundidade permissível e a variação do lençol freático, com respeito a superfície do solo e a quantidade de água que um sistema deve conduzir na superfície como no subsolo pode ser considerado como necessidade de drenagem (Richard, 1954), que varia segundo a região.

Em regiões úmidas, a drenagem se torna necessária para eliminar o excesso de água do solo, enquanto que, nas áridas e semi-áridas para manter a concentração de sais, da solução do solo em níveis toleráveis pelas culturas. Por outro lado, o principal objetivo da drenagem é criar um ambiente favorável ao desenvolvimento das plantas e preservar as propriedades físicas e químicas do solo.

A maioria dos casos de salinidade dos solos é devido a deficiência de drenagem do mesmo. Por tanto, o diagnóstico do problema consiste em boa parte na definição das causas da mal drenagem, completada com análises de solo que determinam a natureza do problema de salinidade.

É de fundamental importância fazer um diagnóstico a necessidade de drenagem, visto que, este é um procedimento raramente adotado, porém, é de grande importância para o desenvolvimento sustentável da agricultura. Os solos irrigadas sempre recebem depósitos de sais em menor ou maior quantidade dependendo da qualidade da água de irrigação.

2.2 - Parâmetros hidrodinâmicos do solo

A caracterização do solo nos seus aspectos físico-hídricos é de primordial importância nos estudo do equilíbrio das relações solo/água/planta/atmosfera, indispensável para o normal desenvolvimento das plantas e para uma racional elaboração dos projetos de irrigação (PRONI, 1986).

Entre as características físico-hídricas devem-se considerar: a distribuição do tamanho das partículas, densidade global ou aparente, porosidade, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e condutividade hidráulica do solo (Carvalho, 1982).

O conhecimento das características hidrodinâmica do solo, auxilia a compreender grande número de processos físico-químico e biológico do solo importante para a agricultura, dentre estes pode se mencionar a contribuição da água do lençol freático aos cultivos, absorção de água do sistema radicular das culturas, o movimento de nutrientes associados ao movimento da água, a drenagem interna abaixo da zona radicular efetiva e o movimento de sais no perfil (Millar, 1988)

A densidade global é uma propriedade física do solo de grande importância para a verificação da condição estrutural, compactação e manejo do solo. A densidade do solo aumenta com a profundidade, devido a um maior adensamento das camadas do solo e a diminuição da matéria orgânica.

Diversas medidas de laboratório são usadas para avaliar a salinidade do solo, sendo as mais importantes o PH, a condutividade elétrica do extrato de saturação e a percentagem de sódio trocável (Raij, 1991). Para avaliar o período de sodificação do solo pelo uso de água de irrigação utiliza-se a relação de adsorção de sódio (RAS).

2.2.1 - Porosidade drenável (μ)

A porosidade drenável ou macroporosidade (μ) constitui uma característica do solo de grande importância para a drenagem. Os valores da porosidade drenável, segundo Pizarro (1978) podem variar desde de um valor reduzido, menos de 1,0% em um solo Argiloso, até valores elevados em solos de textura grossa ,em torno de 25%.

Como a água do solo está sempre em estado dinâmico, o valor da porosidade efetiva depende da umidade que o solo atinge. Segundo Cruciani (1983), uma idéia prática do conceito da porosidade drenável, é uma medida de conteúdo de ar no solo e portanto caracteriza a aeração do mesmo, distribuição de umidade num perfil de solo, acima do nível freático.

2.2.2- Condutividade hidráulica

A condutividade hidráulica pode ser definida como o coeficiente de proporcionalidade na equação de Darcy que expressa a capacidade de transmissão de água do meio. Do ponto de vista da drenagem é a propriedade física mais importante e característica de cada solo em particular. (Millar, 1988).

De maneira geral, os métodos de determinação de campo pode ser classificados em: Métodos acima do lençol freático (Cilindro infiltrômetro, poço invertido e tubo duplo) e abaixo do lençol freático (Auger - Hole, piezômetros, dois poços, quatro poços, descarga dos drenos e descargas de poços profundos) (Pizarro ,1978).

A condutividade hidráulica saturada é determinante no movimento de água no solo, apresentando variações espaciais bastante elevadas em pontos relativamente próximos em uma pequena área, sem causa visível aparente na maioria das situações .Deve existir, portanto, uma análise criteriosa, nestes parâmetros, já que, os mesmos estão envolvidos no calculo de espaçamento entre drenos e podem determinar a eficiência e a viabilidade econômica de um projeto de drenagem.

Há necessidade de um grande número de determinações da condutividade hidráulica em campo, para uma mesma área, tendo em vista obter-se valores mais

representativos da área, especialmente em solos aluviais, onde a uma grande variabilidade da textura do solo de um perfil para o outro. (Millar, 1988)

Gallichand et al. (1991), enfatiza a importância da determinação da condutividade hidráulica no campo, para o dimensionamento dos drenos laterais em um sistema de drenagem subterrânea.

Amorim (1995), avaliando o sistema de drenagem no perímetro irrigado de Bebedouro, concluiu que a determinação da condutividade hidráulica pelo método do furo do trado na presença de lençol, é bastante confiável, quando comparado com a condutividade hidráulica obtida a partir das cargas hidráulicas e taxas de descargas em campo.

Bouwer & Jackson citado por Queiroz 1995 , afirma que os resultados obtidos pelo "método Auger- Hole" tende a diminuir a variabilidade dos dados, devido o grande volume de solo envolvido na determinação da condutividade hidráulica.

Queiroz (1995) estudando a condutividade hidráulica saturada e porosidade drenável em solos de várzea encontrou grande variabilidade espacial, com distribuição lognormal para a primeira e normal para Segunda. A condutividade hidráulica saturada apresentou alcance de dependência espacial de 14 m, enquanto a porosidade encontrou alcance de 22m.

Farias (1996), utilizando o método de Auger-Hole em solos aluviais no Perímetro Irrigado de São Gonçalo, constatou variações na ordem de 85 vezes nos valores da Condutividade Hidráulica saturada (0,02 a 1,71m/dia), para profundidade de 110 a 165 cm. Valores encontrados em uma área de 70 hectares, deste mesmo Perímetro tiveram variação na ordem de 200 vezes (0,023 a 4,55 m/dia).

No campo, o nível freático flutua conforme o regime das chuvas e a frequência e altura das lâminas de água aplicadas nas áreas irrigadas. Essas flutuações podem exercer influências na produção, dependendo da cultura e fase de desenvolvimento em que esta se encontra.

Frequentemente a presença do lençol freático pouco profundo está associada a presença de camada de solo de baixa permeabilidade, o excesso de água é derivado quase sempre, de irrigação excessiva, de filtrações provenientes das terras mais elevadas e/ ou de vazamentos de água de canais (Ayres & Westcot , 1991).

A profundidade mínima exigida para o lençol freático, no ponto médio entre os drenos, deve ser aquela capaz de propiciar condições de aeração adequadas ao desenvolvimento do sistema radicular, buscando um melhor rendimento dos cultivos. Entretanto, segundo Ulzurrun et al (1977), nem sempre maiores profundidades do lençol freático resultam em maiores produtividades. Da mesma forma Millar (1988), afirma que a profundidade do lençol vai depender do grau de tolerância de cada cultura a condição de saturação em sua zona radicular.

Pizarro (1978) enfatiza que, do ponto de vista técnico, a profundidade ótima do lençol freático é aquela capaz de evitar uma redução de produtividade dos cultivos, embora, para a maioria dos sistemas de drenagem esta condição seja antieconômica. Investimentos não devem ser feitos com a finalidade de obter-se o máximo de rendimentos das culturas, mas sim a melhor relação benefício/custo. Por exemplo, para o caso da cultura da uva, com uma profundidade efetiva do sistema radicular de 75 cm, após ser submetida a uma recarga proveniente de irrigação, a melhor relação pode ser obtida através do rebaixamento do lençol freático a 80% dos 75 cm da profundidade num período de 3 dias.

No campo, o nível freático flutua conforme o regime das chuvas e a frequência e altura das lamina de água aplicadas nas área irrigadas. Essas flutuações podem exercer influencias na produção, dependendo da cultura e fase de desenvolvimento em que esta se encontra.

Frequentemente a presença do lençol freático pouco profundo está associada a presença de camada de solo de baixa permeabilidade, o excesso de água é derivado quase sempre, de irrigação excessiva, de filtrações provenientes das terras mais elevadas e/ ou de vazamentos de água de canais (Ayres & Westcot , 1991).

A profundidade mínima exigida para o lençol freático, no ponto médio entre os drenos, deve ser aquela capaz de propiciar condições de aeração adequadas ao desenvolvimento do sistema radicular, buscando um melhor rendimento dos cultivos. Entretanto, segundo Ulzurrún et al (1977), nem sempre maiores profundidades do lençol freático resultam em maiores produtividades. Da mesma forma Millar (1988), afirma que a profundidade do lençol vai depender do grau de tolerância de cada cultura a condição de saturação em sua zona radicular.

Pizarro (1978) enfatiza que, do ponto de vista técnico, a profundidade ótima do lençol freático é aquela capaz de evitar uma redução de produtividade dos cultivos, embora, para a maioria dos sistemas de drenagem esta condição seja antieconômica. Investimentos não devem ser feitos com a finalidade de obter-se o máximo de rendimentos das culturas, mas sim a melhor relação benefício/custo. Por exemplo, para o caso da cultura da uva, com uma profundidade efetiva do sistema radicular de 75 cm, após ser submetida a uma recarga proveniente de irrigação, a melhor relação pode ser obtida através do rebaixamento do lençol freático a 80% dos 75 cm da profundidade num período de 3 dias.

Farias (1996) estudando níveis do lençol freático no Perímetro irrigado de São Gonçalo - PB, encontrou profundidades médias entre 0,40 e 3,68 m, profundidade que afetaria o sistema radicular de várias culturas.

Aguilar (1995) avaliando o desenvolvimento da cultura da cenoura em lesímetros de drenagem em diferentes profundidades de lençol freático, afirma que a melhor produção comercial das raízes é para lençol freático de 30 cm de profundidade.

Pereira (1994) constatou que o lençol freático de 0,25m apresentou as melhores respostas dos componentes de produção para cultura do alface.

Lessa & Scaloppi (1998),avaliando o nível freático em um sistema conjugado de irrigação e drenagem , obteve resultados que indicaram que os índices de produção da cultura do milho foram significadamente reduzidos pelo estresse causado pelo excesso de água no solo,quando a superfície freática foi mantida a profundidade média de 0,33m, durante o ciclo de crescimento da cultura.

2.4. Condutividade elétrica da água do lençol freático

Para corrigir os problemas decorrentes da salinidade e sodicidade é necessário um bom sistema de drenagem uma vez que o processo de eliminação de sais ocorre por meio da lixiviação (Daker, 1988)

Para quantificar a água necessária a lixiviação faz-se necessário conhecer a condutividade elétrica da água do lençol freático, que segundo (Leite,1991) varia conforme o período seco ou chuvoso.

O monitoramento dos parâmetros de drenagem interna do solo, é de fundamental importância no balanço dos sais, pois, a drenagem é responsável pela

lixiviação dos sais depositados no solo pelo manejo inadequado da irrigação. (Beltran , 1986).

Pizarro (1978), afirma a importância do conhecimento da condutividade elétrica da água do lençol freático, principalmente em áreas onde o lençol freático se encontra próximo a superfície, a elevação capilar dos sais procedentes do lençol intervém no cálculos de balanço de sais.

2.5 - Aspectos estatísticos

A estatística é uma parte da matemática, em que se investigam processos de obtenção, organização de análise de dados sobre uma determinada população, é utilizada em quase todas as áreas de conhecimento.

Na análise descritiva dos dados assume-se que valores medidos de cada variável são aleatórios e não dependência espacial (Bussab & Morettin, 1987).

Tradicionalmente, uma análise descritiva dos dados se limita em calcular algumas medidas de posição e variabilidade, como a média, moda, variância, mediana, coeficiente de variação, quartil superior e quartil inferior. Dentre estas medidas as mais utilizada para determinar a tendência de um conjunto de dados são: média, moda e mediana, os quartis são considerados também como medida de posição, os quais dividem o conjunto de dados em quatro partes iguais. (Costa Neto ,1997).

2.6 - Introdução à geoestatística

A geoestatística é um ramo da estatística que lida com problemas associados ao espaço e é usada para designar a aplicação da teoria das Variáveis Regionalizadas(V.R.) na solução de problemas de estimativas confiáveis de características da população a partir das amostras.

Embora tradicionalmente tenha sido desenvolvida na área da geologia, particularmente relacionados com estimativas das mudanças das concentrações de minerais em minas. Porém, a teoria da geoestatística tem sido aplicada com sucesso na agricultura, visto que, os fenômenos naturais não podem ser tratados como fenômenos aleatórios.

Segundo Guerra (1988), uma variável pode ser considerada regionalizada (VR), se a mesma apresentar uma distribuição no espaço, juntamente com um determinado grau de correlação espacial. A continuidade espacial da VR pode ser medida por uma quantidade positiva que traduz as diferenças dos valores da variável medidos em pontos separados por uma distância h , designada por semivariância.

As ferramentas da geoestatística permitem quantificar as duas componentes da variância: a espacial ou estrutural e a aleatória. A análise da variância espacial ou estrutural procura quantificar o grau de correlação entre valores da variável tomados em pontos distintos. Para isso utiliza-se do semivariograma o qual estabelece o alcance máximo de dependência espacial entre os valores. (Souza, 1998)

A função que traduz a semivariância em função das distâncias entre os pontos, designa-se por variograma. A semivariância é uma medida do grau de dependência espacial entre as amostras e é calculada através de

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E[Z(x) - Z(x+h)]^2; \quad \forall x \in S \quad (4)$$

$$*\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x) - Z(x+h)]^2; \quad \forall x \in S \quad (5)$$

Onde:

* $\gamma(h)$ é a semivariância para o intervalo h .

$Z(x)$ e $Z(x+h)$ são os pares de valores experimentais nos pontos amostrados;

$N(h)$ é o número de pares de dados que distam h entre os pontos .

A dependência das observações é avaliada pelo semivariograma que são ajustados à funções simples , segundo um modelo matemático. A distância na qual estas observações começam a ficar independentes, próximo a variância da população, é chamado de alcance (range) ou grau de influência, que geralmente é considerado como a distância na qual a função atinge o patamar (Sill) .O efeito pepita (nugget effect) representa a descontinuidade do semivariograma próximo a origem, abrange flutuações no solo que ocorrem a distâncias mais curtas que o intervalo de amostragem , definindo a precisão da interpolação. (Prevedello 1987).

O alcance estabelece o limite de dependência espacial entre as amostras, isto é, pode-se empregar a estatística clássica para distâncias maiores que o alcance. O patamar é atingido quando a variância dos dados torna-se constante com o aumento da distância entre as amostras, este parâmetro expressa a variância da população estudada (Reichard, 1985)

Na geoestatística os modelos mais utilizados para ajuste de semivariogramas , são: esférico, exponencial e o gaussiano. Equações 7, 8 e 9, respectivamente. O ajuste poderá ser feito visualmente, procurando-se uma melhor aproximação para os primeiros pontos do semivariograma, pois estes representam melhor a estrutura de dependência (Guerra, 1988), poderá ser utilizado os semivariogramas obtidos a partir de dados de semivariâncias originais e escalonados (Souza, 1998).

a) Modelo esférico

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right]; \quad 0 < h < a \quad (6)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1; \quad h > a \quad (7)$$

b) Modelo exponencial

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \text{Exp} \left(\frac{-3h}{a} \right) \right]; \quad 0 < h < d \quad (8)$$

onde:

d = é o limite máximo, para o valor que o semivariograma é definido.

b) Modelo gaussiano

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \text{Exp} \left(\frac{-3h^2}{a^2} \right) \right]; \quad h \geq 0 \quad (9)$$

onde:

C_0 - Efeito petita

C_1 - Variância espacial

a - Alcance de dependência espacial

h - Distância de separação entre dois pontos.

2.7. Krigagem

Quando se está estudando determinado espaço é obviamente impossível recolher um grande número de amostras. Porém o objetivo é geralmente compreender o comportamento da população, a partir dos pontos amostrados.

A Krigagem é um método de interpolação que permite estimar um valor de da variável em locais onde a mesma não foi medida. No entanto, para que esta técnica seja utilizada é necessário que exista dependência espacial entre as observações, definida pelo semivariograma ajustado. (Isaaks, 1989, Journel, 1978).

A construção de mapas de isolinhas, através da técnica de krigagem é de fundamental importância para visualização das áreas problemáticas e auxilia nas técnicas necessárias de manejo da área .

3. MATERIAL E MÉTODOS

3. 1. Localização da área

Este trabalho foi conduzido em uma área de 8 ha pertencente a Escola Agrotécnica Federal de Souza, a qual está localizada no Perímetro Irrigado no distrito de São Gonçalo, a 10 km da cidade de Souza, situado no estado da Paraíba, durante o período de setembro 1998 a fevereiro de 1999. A altitude média é de 233,0 m acima do nível do mar e apresenta as seguintes coordenadas geográficas: latitude sul 6°45' e longitude 38°13' a oeste do meridiano de Greenwich (Figura 1 a). O suprimento hídrico é assegurado pelos açudes Engenheiro Avidos e São Gonçalo. As principais culturas exploradas no perímetro irrigado são: arroz, banana, feijão, milho e coco (DNOCS, 1997).

A área experimental foi dividida em duas sub-áreas, sub-áreas I e II, sendo que, a sub-área I estava sendo explorada as culturas de caju, graviola e goiaba com agricultura de sequeiro e a sub-área II com culturas de milho e feijão, irrigada pôr aspersão do tipo pivô-central (Figura 1 b).

3.2. Clima

A precipitação média anual é de 984 mm, com o período mais chuvoso coincidindo com os meses de janeiro a maio. O aclima da região é do tipo Bsh da classificação de Koppen, ou seja, a evaporação é superior á precipitação.

A temperatura média anual é de 27° C, uma máxima de 38° C e mínima de 12° C, enquanto que a umidade relativa média é de 64% (DNOCS, 1997).

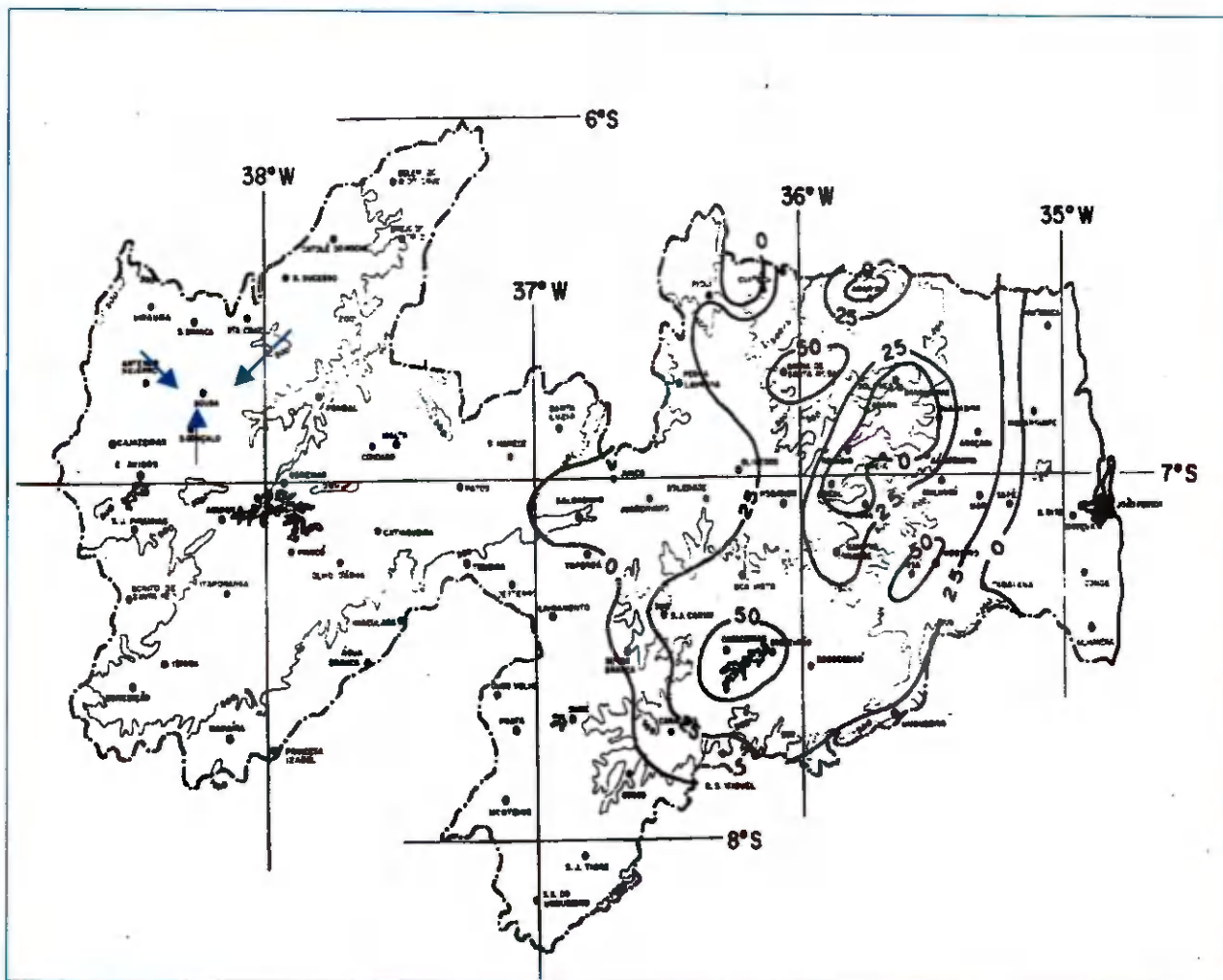


Figura 1a. Localização do perímetro irrigado de São Gonçalo



Figura 1b. Aspectos gerais da área experimental (Escola Agrotécnica Federal de Souza –
Perímetro irrigado de São Gonçalo – PB)

3.3. Análise físico- química do solo

Foram coletados 10 amostras de solo, em locais escolhidas aleatoriamente, nas profundidades de 30, 60 e 90cm, acondicionadas em sacos de plásticos de 2 kg foram levadas para o Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) da Universidade Federal da

Paraíba, onde foram determinadas as seguintes propriedades físicas e químicas: capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), densidade aparente (d_a), densidade real (d_r), porosidade total (n), porosidade drenável (μ), textura, pH, condutividade elétrica do extrato de saturação (CE), percentagem de sódio trocável (PST) e razão de adsorção de sódio (RAS). Segundo a metodologia descrita no manual de métodos de análises de solo da EMBRAPA (1997).

3.4. Monitoramento do lençol freático

3.4.1. Instalação de poços de observação

Para observação do nível do lençol freático, foram instalados 90 poços de observação, com profundidade variando de 1 a 2,5 m, distribuídos nas sub-áreas I e II, sendo, 30 poços para sub-área I e 60 poços para sub-área II, obedecendo uma malha com espaçamento 30X30 m (Figura 2 a e b).

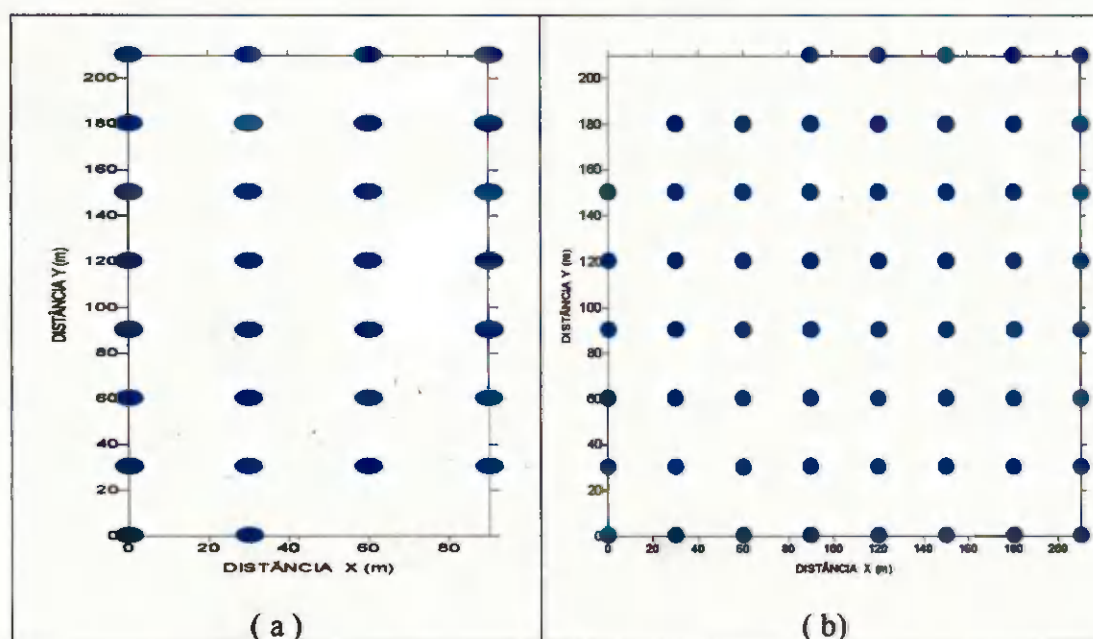


Figura 2. Distribuição dos poços de observação nas sub-áreas I (a) e II (b).

A construção dos poços de observação compreendeu as seguintes etapas:

1. Abertura de um furo no solo com um trado de diâmetro de 7,5 mm e profundidade variando de 1,50 a 2,50 m ;
2. Revestimento do poço com um tubo de plástico de PVC com diâmetro de 40 mm, perfurado alternadamente 0,80 m a partir da extremidade inferior do tubo, envelopado com tela de malha de 1,0 mm, para evitar entupimento dos furos;
3. O espaço entre a parede do furo e o tubo foi preenchido com areia grossa e solo do próprio local, fazendo – se uma compactação manual, com a finalidade de aumentar a estabilidade do poço e evitar infiltrações da água da chuva e de irrigação;
4. Sobre a extremidade superior do tubo, foi colocado um tampão com uma perfuração lateral para permitir a entrada e saída de ar. (Figura 3)

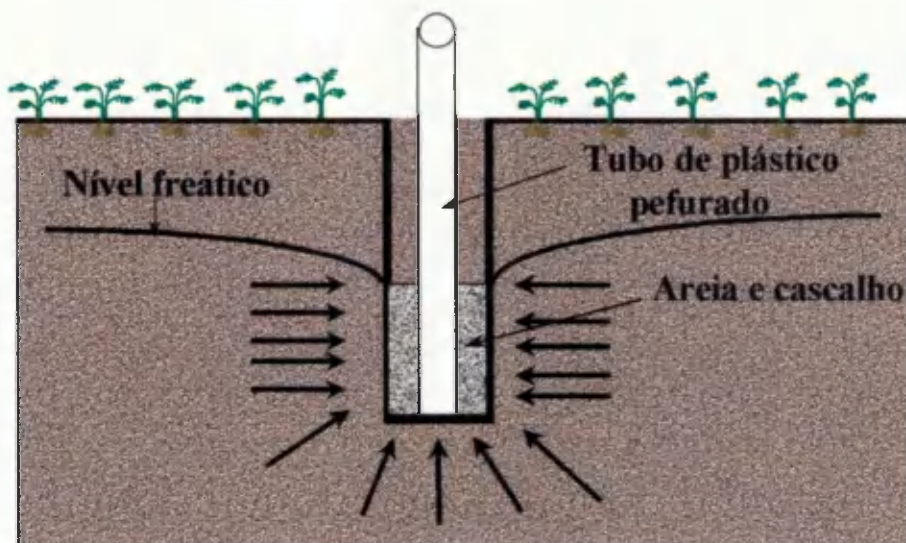


Figura 3 . Esquema de instalação do poço de observação

3.4.2. Observação do lençol freático

A avaliação do lençol freático considerando a época de irrigação foi realizada na sub-área II, e para época de chuva nas sub-áreas I e II.

As leituras foram tomadas para cinco eventos de chuva e irrigação, com leituras pontuais de 6, 12, 18, 24 e 48 horas após eventos.

Para medir o nível do lençol freático em cada poço de observação, foi utilizado fita milimetrada com um dispositivo na parte inferior, que ao ser introduzida no poço produzia um som característico ao alcançar o nível da água, neste momento registrava-se a profundidade do lençol freático.

3.4.3. – Determinação da condutividade elétrica da água do lençol freático.

Para as medições da condutividade elétrica dos poços de observação, foi utilizado uma bomba manual, para retirada da água do poço e um condutivímetro portátil para fazer as leituras no próprio local (Figura 4).

A medição da condutividade elétrica foi realizada nos 90 poços de observação nas sub - áreas I e II, bem como da água de irrigação e do dreno superficial localizado no centro da área.

As leituras foram feitas após iniciada as irrigações no período de setembro de 1999.



Figura 4. Procedimento de leitura da condutividade elétrica da água do lençol freático

3.5 - Determinação da condutividade hidráulica

A Condutividade hidráulica (K), foi determinada simultaneamente a instalação dos poços de observação, em uma malha de 60 x 60 m coincidindo com as linhas dos poços de observação perfazendo um total de 45 observações.

O Método Auger Hole ou método do poço em presença do lençol freático, foi utilizado na determinação da condutividade hidráulica ,descrito por (Ferreira,1988).

As leituras da condutividade hidráulica foram obtidas, utilizando-se uma trena metálica, com uma bóia, fixada em um suporte metálico, com uma altura pré-fixada de 40 cm da superfície do solo (Figura 5a).



Figura 5a. Determinação da condutividade hidráulica

3.5.1 - Método Auger - Hole

Consistiu em abrir um orifício no solo até ultrapassar a profundidade do lençol freático. Após algum tempo o orifício se encheu de água até o equilíbrio com o nível do lençol, em seguida esvaziou-se parcialmente o orifício, utilizando-se uma bomba manual, o que faz com que a água volte a situação anterior. Assim cronometra-se o tempo de elevação do nível de água no orifício (Ferreira, 1988).

A figura 5b, mostra a geometria do método Auger Hole, e as componentes da equação utilizada para determinação da condutividade hidráulica.

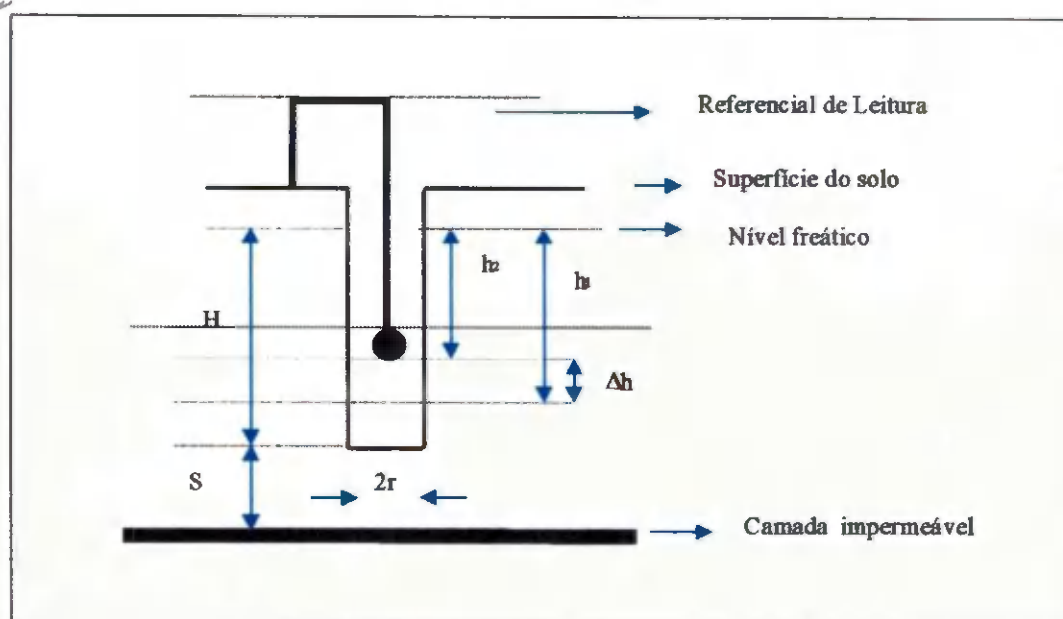


Figura 5b. Geometria do método Auger- Hole

O Cálculo da condutividade hidráulica (K) foi feito através da equação 1, considerando $S \geq 0,5 H$, temos:

$$K = C (\Delta h / \Delta T) \quad (1)$$

$$C = \frac{4000}{\left(\frac{H}{r} + 20\right) \left(2 - \frac{h}{H}\right)} \times \frac{r}{h} \quad (2)$$

$$\Delta T = T_f - T_i \quad (3)$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 \quad (4)$$

$$h = (h_1 + h_2) / 2 \quad (5)$$

Onde:

H = Profundidade do lençol freático (cm);

r = raio do poço (cm);

ΔT = é o intervalo de tempo gasto para que o nível dinâmico da água se desloque de h_1 para h_2 ;

Δh = variação do lençol freático (cm);

C = é o fator de geometria do poço e é função de (h , H , r e s);

S = distância do fundo do poço a camada impermeável.

3.6 - Análise dos dados de campo

A análise exploratória dos dados foi feita inicialmente através de métodos da estatística descritiva, calculando-se a média, desvio padrão, coeficiente de variação, mínimo, máximo, amplitude total, coeficientes de assimetria e curtose, com a finalidade de verificar o comportamento geral dos dados.

A análise geoestatística foi utilizada para avaliar a dependência espacial da condutividade hidráulica, da condutividade elétrica dos poços, a dependência espacial e temporal para a profundidade do lençol freático.

Foram construídos semivariogramas para avaliar a dependência espacial das variáveis estudadas.

Para cada semivariograma que mostrou estrutura de dependência espacial foram ajustados modelos matemáticos, os valores obtidos permitiram a estimativa dos seguintes parâmetros: efeito pepita, patamar e alcance.

Dentre os modelos existentes o esférico foi o que mais se ajustou aos dados.

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right], \text{ para } 0 < h < a \quad (6)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1; \quad h \geq a \quad (7)$$

onde:

C_0 - efeito pepita;

C_1 - variância espacial;

a - alcance de dependência espacial;

h - distância de separação entre dois pontos.

Quando o semivariograma é ajustado, os parâmetros obtidos serão usados para obtenção de mapas de isolinhas. Com o processo de krigagem foi possível estimar valores em locais não amostrados.

Os programas computacionais que foram utilizados para análise da estatística descritiva, geoestatística e para obtenção dos gráficos foram:

1. O Geo-EAS - utilizado da determinação dos valores de semivariâncias e construção dos semivariogramas.

2. **SUFER 6.0** - foi realizada a krigagem e confecção de mapas de isolinhas e de localização dos poços de observação.
3. **EXCEL** - foram realizadas as análises da estatística descritiva, construção de semivariogramas e o ajuste dos modelos aos dados dos semivariogramas.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Características físico - química do solo.

Com base nos resultados da análise de solo nos diferentes horizontes, observou-se os seguintes classes texturais: Franco, Franco Arenoso, Franco Argilo Arenoso, Franco Siltoso, Argiloso, Franco Argiloso(Apêndice 1).

Os resultados de densidade aparente (d_a) e densidade real (d_r), mostraram valores limites de 1,2 a 1,5 e 1,5 a 2,6 (g/cm^3) respectivamente. A porosidade total variou entre 32,5 e 47,2 %. A capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha (PMP) variaram respectivamente de 11,9 a 35,0 % e de 5,4 a 14,4 %. A porosidade drenável variou de 6,7 e 32,6 % . (Apêndice 1). Estes valores são coerentes com a textura do solo obtida, (Pizarro 1978)

Nos testes 6 para profundidade de 60 e 90 cm e no teste 10 para profundidades de 0-30 e 30-60 cm o solo é salino, nas demais profundidades e testes o solo é normal do ponto de vista de salinidade, (Apêndice 2).

4.2 – Análise descritiva dos dados

A análise descritiva tem o objetivo de descrever o comportamento dos dados, não somente em relação às medidas estatísticas básicas, como também caracterizar o comportamento espacial da variável.

As tabelas 1, 2 e 3, apresentam as estimativas dos parâmetros estatísticos associados a variável profundidade do lençol freático 6,12,18, 24 e 48 horas após cada evento de chuva sub - áreas I e II e de irrigação sub - área II.

Segundo Costa Neto (1997), os valores de média e mediana aproximadamente iguais, sugerem um possível ajuste dos dados a uma distribuição normal. O que não ocorre com os valores das medidas de posição, média e mediana, (tabelas 1, 2 e 3), o que indica que os dados não aderem a uma distribuição normal.

Os valores de curtose e assimetria, (tabelas 1, 2 e 3), os quais em uma distribuição normal, devem ser de 0 e 3 respectivamente, pode-se afirmar que, dentre as variáveis analisadas os resultados sugerem a não normalidade dos dados. Pela análise dos valores do coeficiente de variação, (tabelas 1, 2 e 3), verifica-se que para eventos de chuva na sub- área I, ($30,59\% < CV < 33,93\%$) e na sub -área II, ($52,16 < CV < 56,64\%$). Para evento de irrigação na sub- área II, ($33,27\% < CV < 34,69\%$).

Tabela 1. Medidas estatísticas da profundidade do lençol freático (m), após evento de chuva, Sub -área I.

Estatística	SUB - ÁREA I				
	6 horas	12 horas	18horas	24 horas	48 horas
Média	1,12	1,11	1,09	1,11	1,11
Mediana	1,06	1,05	1,03	1,02	1,04
Variância (S ²)	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11
Desvio padrão (S)	0,37	0,37	0,37	0,35	0,34
CV (%)	33,93	33,31	33,86	31,58	30,59
Curtose (Cr)	2,24	1,88	1,96	1,95	2,02
Assimetria (Cs)	0,31	0,30	0,30	0,35	0,33
Amplitude total (At)	1,49	1,28	1,27	1,28	1,27
Menor	0,31	0,52	0,53	0,52	0,53
Maior	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80

Pêlos limites de coeficiente de variação propostos por Warrick & Nielsen (1980) para classificação de variáveis de solo ($CV < 12\%$), ($12\% < CV < 60\%$) e ($CV > 60$) para baixa, média e alta variabilidade respectivamente, pode – se dizer que no geral a profundidade do lençol freático quando analisada com eventos de chuva e irrigação para sub-área I e sub-área II apresentaram variabilidade média ($30,59 < CV < 56,64\%$).

Tabela 2. Medidas estatísticas da profundidade do lençol freático (m), após evento de chuva, Sub-área II.

SUB - ÁREA II					
Estadística	6 horas	12 horas	18 horas	24 horas	48 horas
Média	0,72	0,78	0,81	0,78	0,79
Mediana	0,56	0,58	0,65	0,62	0,61
Variância (S ²)	0,15	0,18	0,18	0,18	0,19
Desvio padrão (S)	0,39	0,42	0,43	0,43	0,43
CV (%)	54,38	56,64	52,16	54,38	55,00
Curtose (Cr)	2,26	2,73	2,43	3,06	3,09
Assimetria (Cs)	0,77	0,94	0,78	1,02	1,01
Amplitude total (At)	1,20	1,54	1,58	1,60	1,60
Menor	0,30	0,26	0,32	0,30	0,30
Maior	1,50	1,80	1,90	1,90	1,90

Tabela 3 – Medidas estatísticas para profundidade do lençol freático (m), após evento de irrigação, Sub-área II.

SUB - ÁREA II					
Estatísticas	6 horas	12 horas	18 horas	24 horas	48 horas
Média	0,83	0,84	0,85	0,82	0,82
Mediana	0,77	0,81	0,80	0,77	0,77
Variância (S ²)	0,77	0,78	0,80	0,08	0,08
Desvio padrão (S)	0,28	0,28	0,28	0,29	0,29
CV (%)	33,44	33,27	33,47	34,69	34,69
Curtose (Cr)	2,98	2,96	3,18	3,13	3,12
Assimetria (Cs)	0,71	0,51	0,71	0,60	0,60
Amplitude total (At)	1,20	1,24	1,20	1,36	1,35
Menor	0,40	0,36	0,40	0,24	0,25
Maior	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60

A tabela 4 consta as medidas estatísticas associadas as variáveis condutividade elétrica da água do lençol freático (CE) e a condutividade hidráulica (K), para sub - área I e sub - área II. Os valores da média e mediana são diferentes, para as variáveis estudadas, logo, os dados sugerem que a não aderência dos dados a uma distribuição normal, o que pode ser comprovado com a análise do coeficiente de assimetria e curtose , que são valores diferentes de 0 e 3 respectivamente.

Tabela 4 - Medidas estatísticas para condutividade elétrica da água do lençol freático (CE- $\mu\text{s/cm}$) e Condutividade Hidráulica (K-m /dia), das sub - áreas I e II .

Estatística	SUB- ÁREA I		SUB - ÁREA II	
	CE	K	CE	K
Média	686,87	0,0775	934,37	0,0245
Mediana	614,91	0,0183	568,18	0,0077
Variância (S^2)	75416,07	0,0315	659363,40	0,0014
Desvio padrão (S)	274,61	0,1774	812,90	0,0375
CV (%)	39,99	228,92	86,904	153,54
Curtose (Cr)	3,07	8,64	7,72	5,44
Assimetria (Cs)	0,90	2,63	1,84	1,91
Amplitude total (At)	1076,46	0,6409	4232,24	0,1235
Menor	298,04	0,0012	242,86	0,0003
Maior	1374,50	0,6421	4475,10	0,1238

Em relação ao coeficiente de variação (CV), observa-se na tabela 4 que os valores do CV da condutividade elétrica(CE) foi de 39,99 % na sub - área I 86,90 % na sub - área II, o que indica um coeficiente de variação médio de acordo com Warrick & Nielsen (1980) para sub-área I e alto para sub-área II. Na sub-área II em alguns locais a CE da água do lençol freático alcançou até 4480 $\mu\text{s/cm}$, este valor indica para a necessidade de implantação de um sistema de drenagem com fins de rebaixamento do lençol freático e remoção do excesso de sais. uma vez que segundo Garder (1958) o movimento ascendente de água salina do lençol freático e sua subsequente evaporação, permitindo

acúmulo de sais na superfície do solo, constitui um importante mecanismo por meio do qual o solo torna-se salino.

De acordo com Pescod (1992) citado por Lima (1998), esta forma de salinização é um processo rápido em áreas irrigadas nas regiões de clima árido e semi-árido, em razão de altas taxas de evaporação decorrentes de temperaturas elevadas e baixa umidade relativa, como é o caso da área onde o trabalho foi conduzido.

Analisando o CV da condutividade hidráulica saturada, observa-se que na sub - área I foi de 228,92% e na sub - área II 153,54 , o que pode ser considerado de alta variação. Esta heterogeneidade é própria do solo da área estudada, são solos aluviais onde a sua formação tem origem através de depósitos sucessivos de diferentes materiais, originados de diversos locais. Estes resultados estão de acordo com valores obtidos por: Farias (1996), Queiroz (1995), Gonçalves & Folegatti (1995). Analisando os dados do apêndice 6, pode-se observar que a condutividade hidráulica é lenta na maior parte da área estudada.

A não aderência dos dados de condutividade hidráulica, profundidade do lençol freático e condutividade elétrica da água do lençol freático a uma distribuição normal, conforme sugerem as medidas estatísticas média, mediana, curtose e assimetria, pode também ser visualizado através dos histogramas e gráficos de probabilidade normal da profundidade do lençol freático para eventos de chuva e irrigação, nas Figuras 6, 7 , 8, 9,10, 11, 12, 13 e 14, para condutividade hidráulica (Figuras 15) e condutividade elétrica da água do lençol freático (figura 16).

Os gráficos de probabilidade, constitui uma forma de visualização do comportamento dos dados, as variáveis estudadas apresentam o comportamento não linear,

indicando que a média aritmética, por ser uma medida bastante influenciada pelos valores extremos, não é uma medida de tendência central adequada para a representação dos dados.

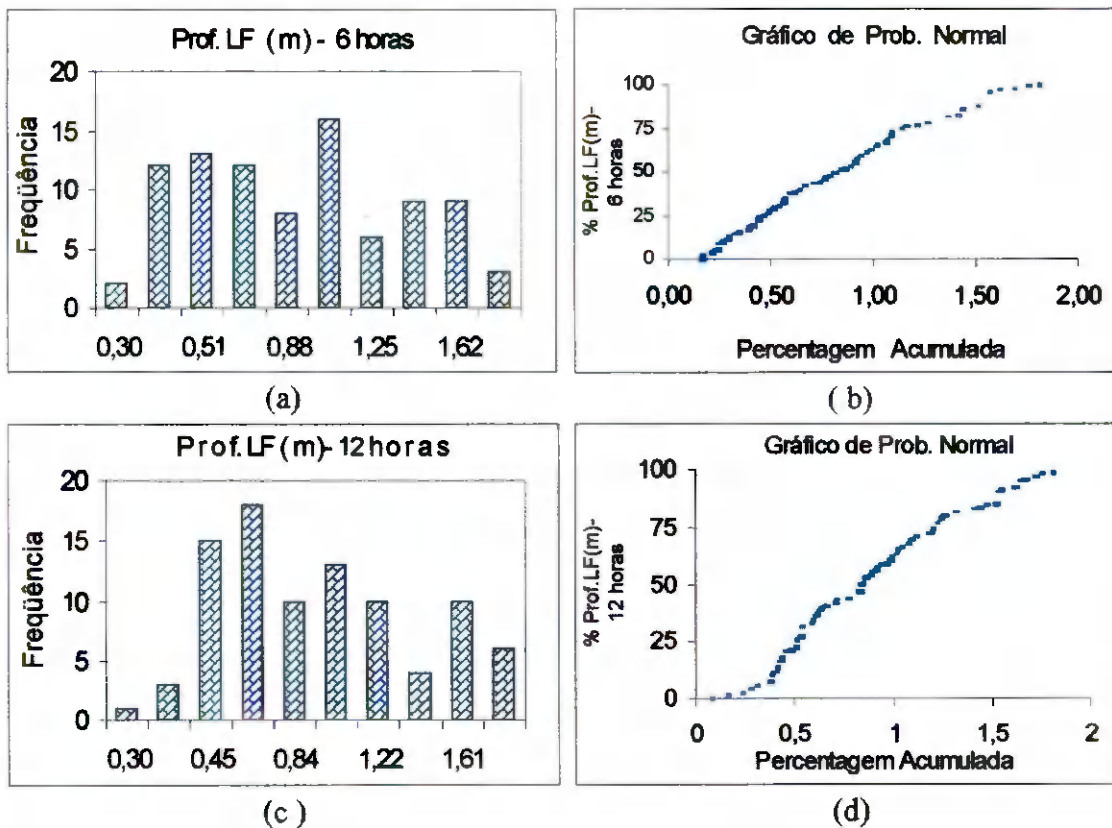


Figura 6 . Histogramas e gráficos de probabilidade normal para profundidade do lençol freático, 6 e 12 horas após cada evento de chuva, sub – área I.

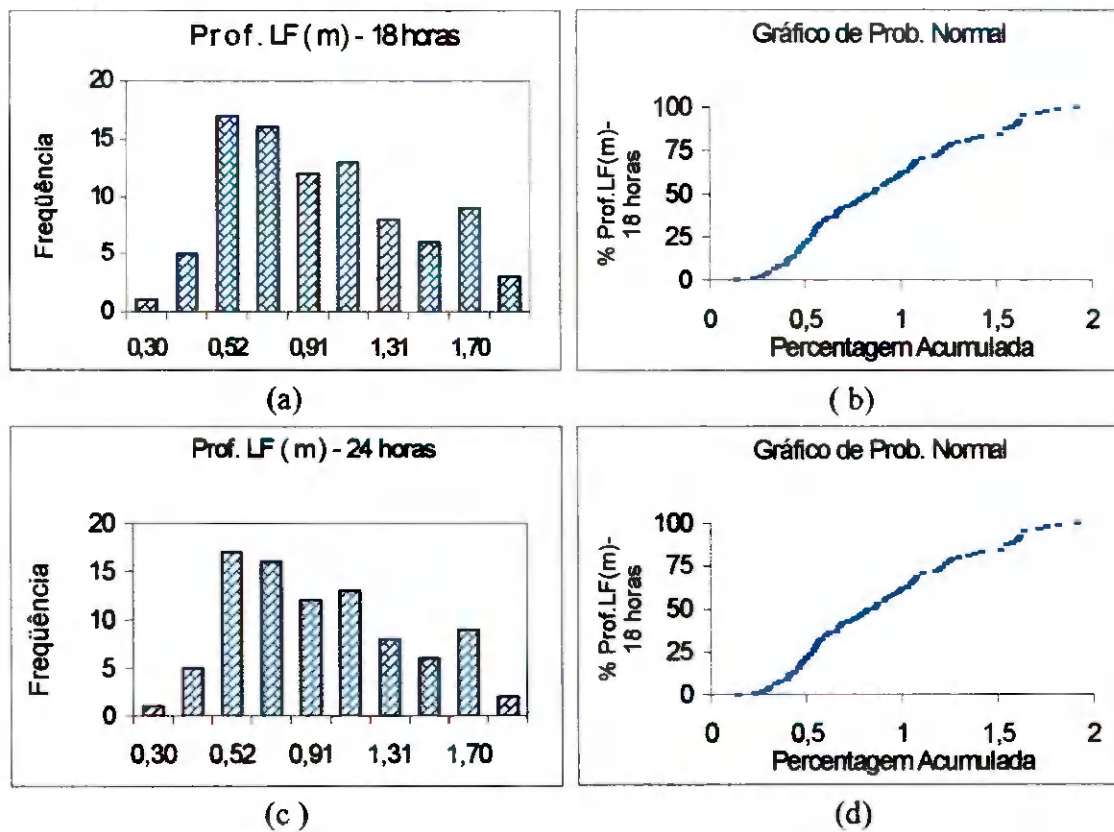


Figura 7 . Histogramas e gráficos de probabilidade normal para profundidade do lençol freático, 18 e 24 horas após cada evento de chuva, sub – área 1.

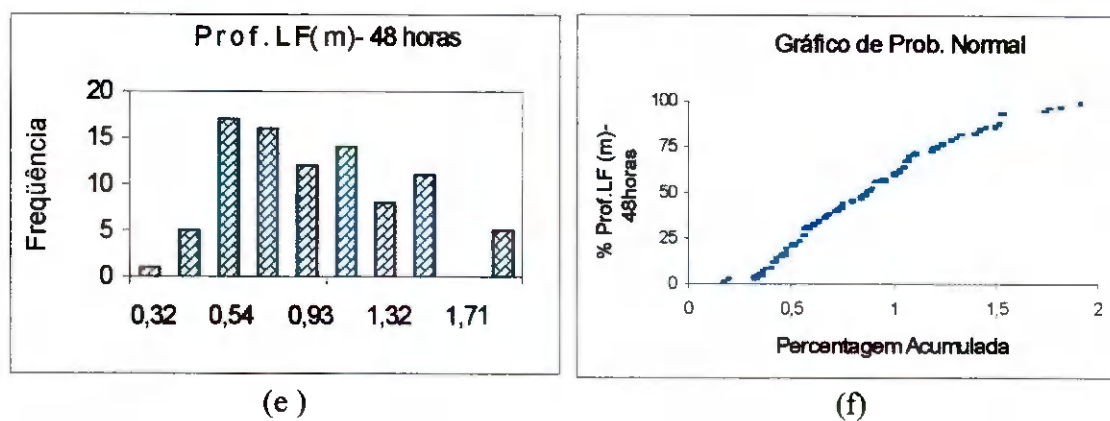


Figura 8 . Histogramas e gráficos de probabilidade normal para profundidade do lençol freático 48 horas após cada evento de chuva, , sub – área I.

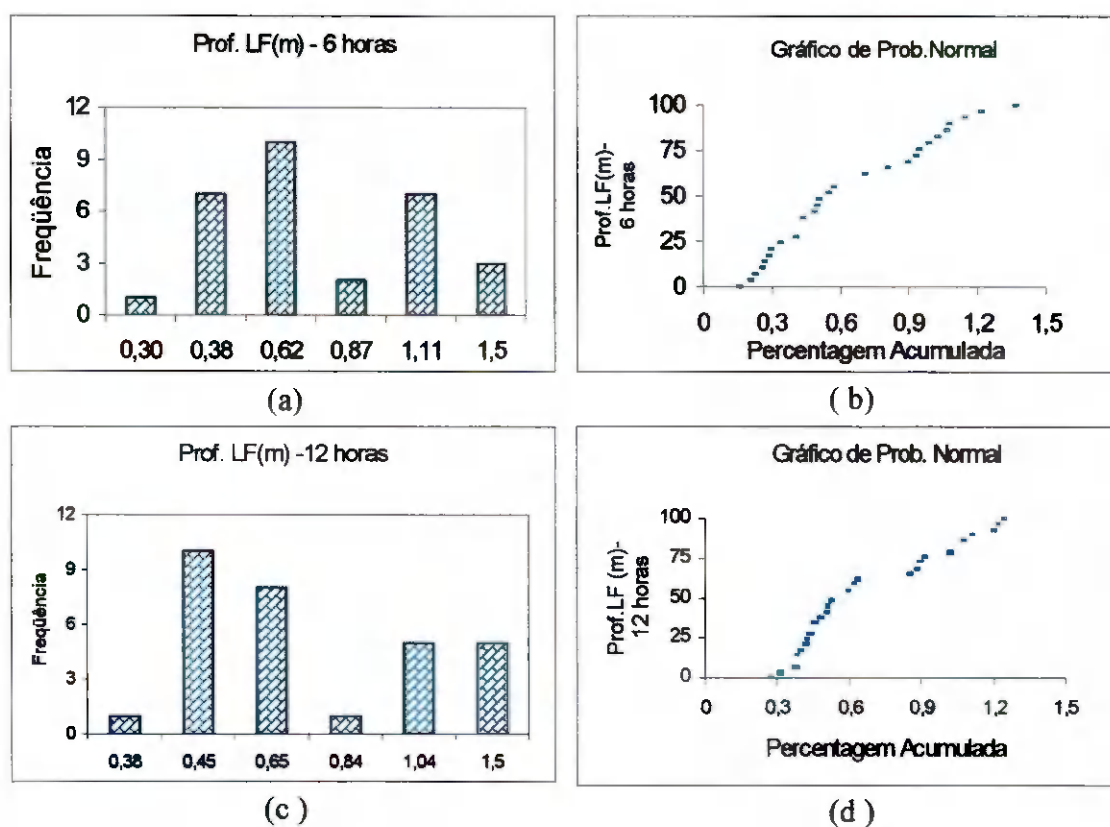


Figura 9 . Histogramas e gráficos de probabilidade normal para profundidade do lençol freático 6 e 12 horas após cada evento de chuva, , sub – área II.

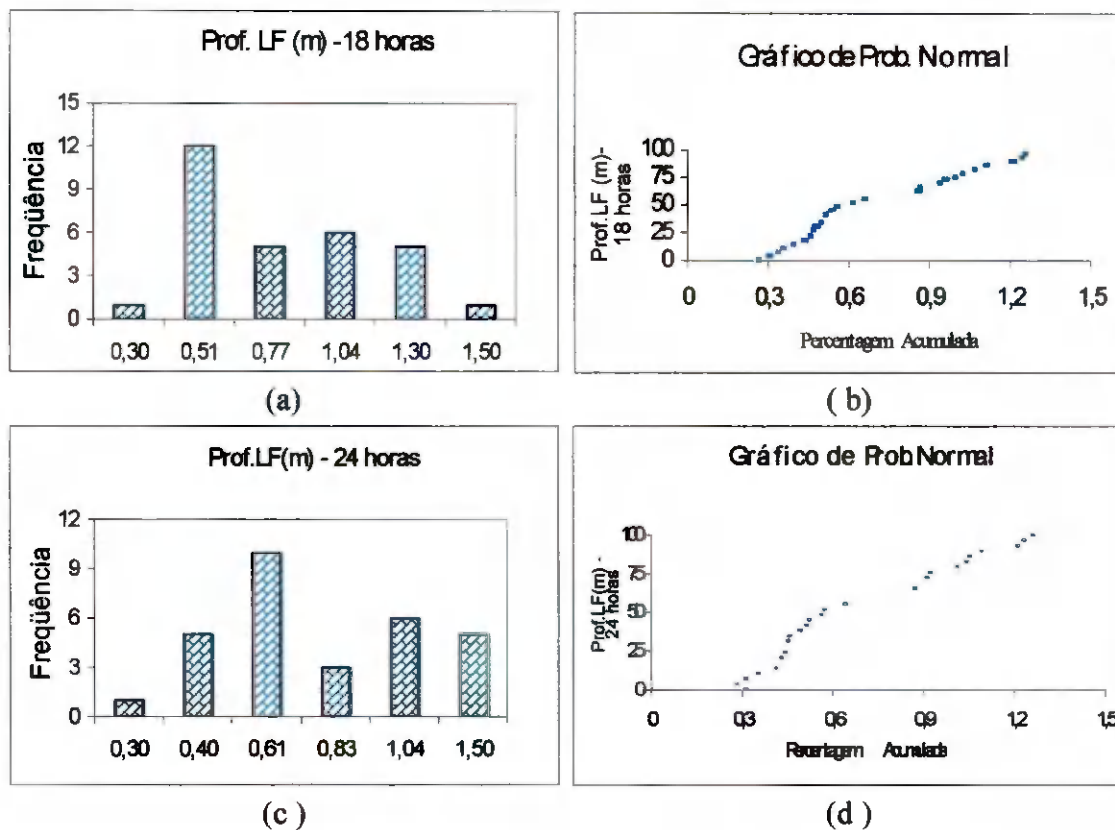


Figura 10. Histogramas e gráficos de probabilidade normal para profundidade do lençol freático 18 e 24 horas após cada evento de chuva, sub - área II.

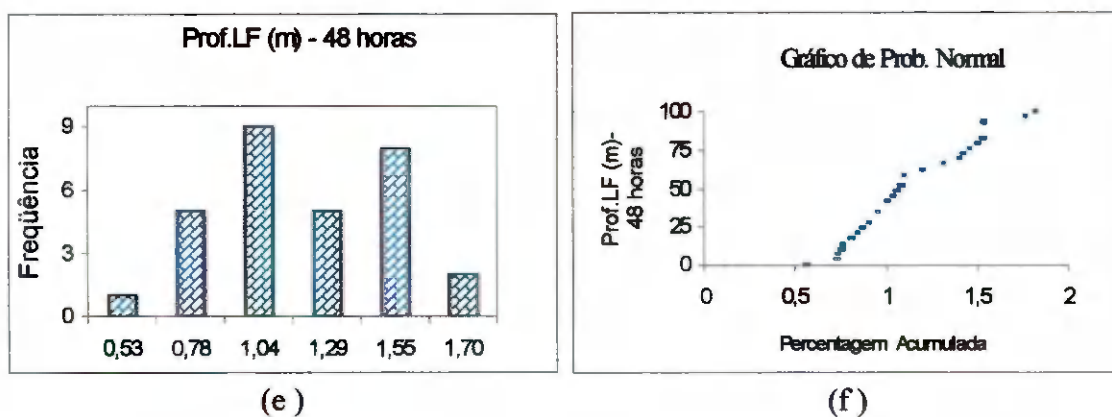


Figura 11. Histogramas e gráficos de probabilidade normal para profundidade do lençol freático 48 horas após cada evento de chuva, sub - área II.

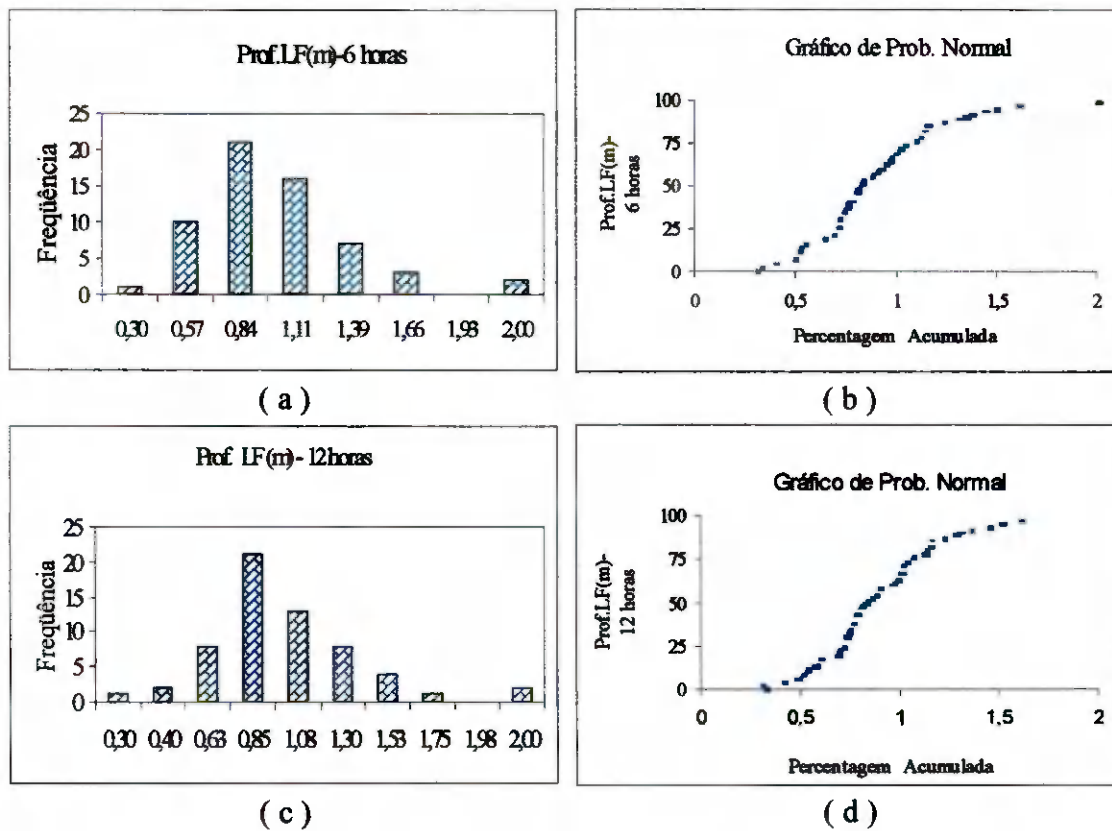


Figura 12. Histogramas e gráficos de probabilidade normal para profundidade do lençol freático 6 e 12 horas após evento de irrigação, sub – área II.

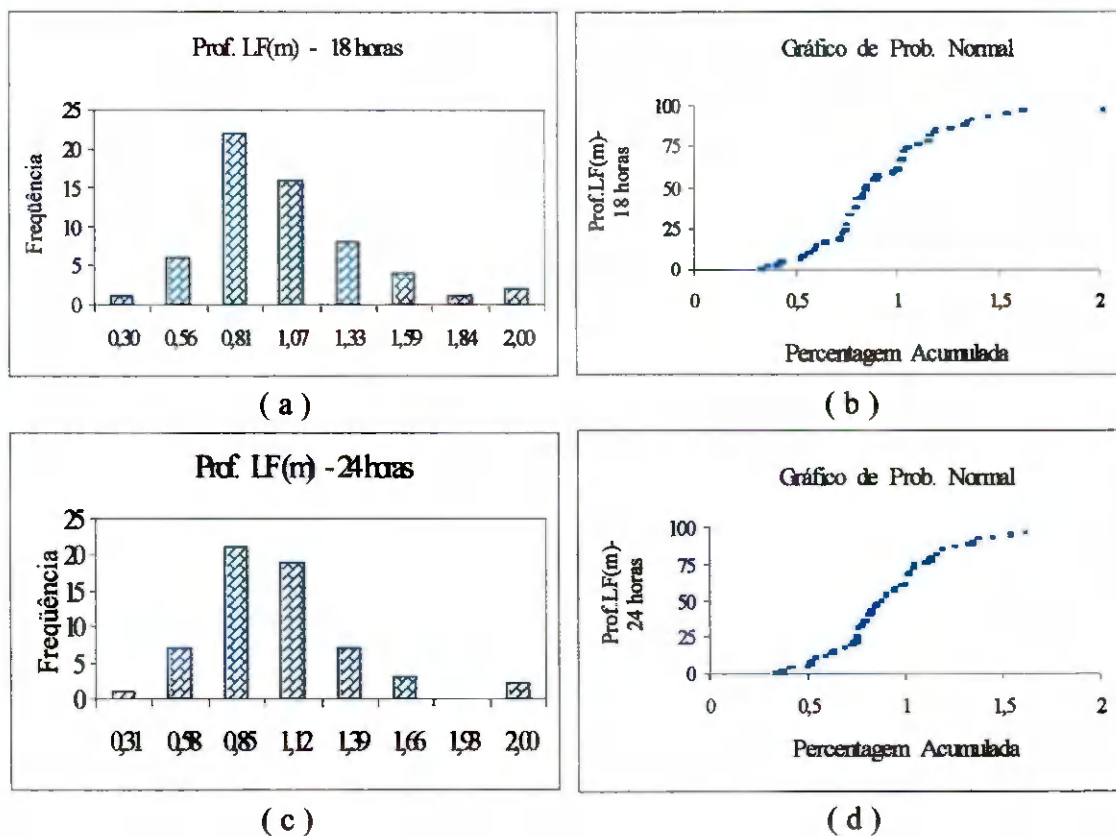


Figura 13. Histogramas e gráficos de probabilidade normal para profundidade do lençol freático 18 e 24 horas após evento de irrigação, sub – área II.

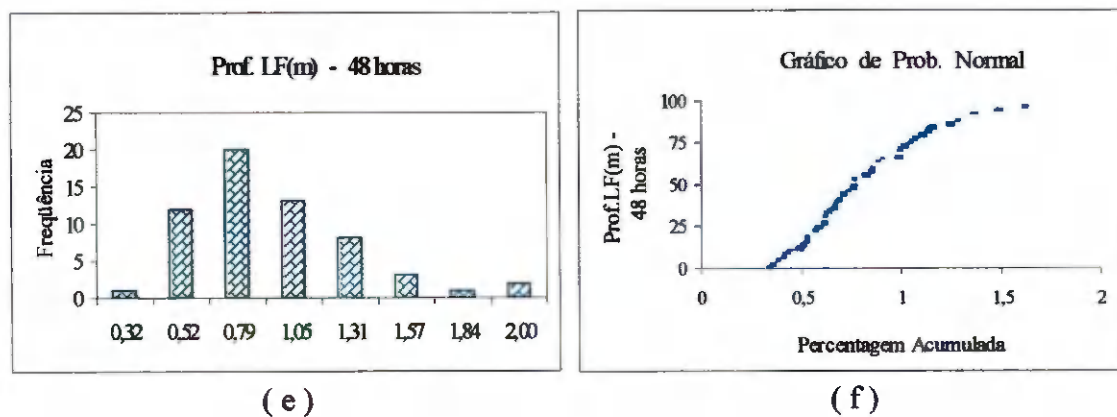


Figura 14. Histogramas e gráficos de probabilidade normal para profundidade do lençol freático 48 horas após evento de irrigação, sub – área II

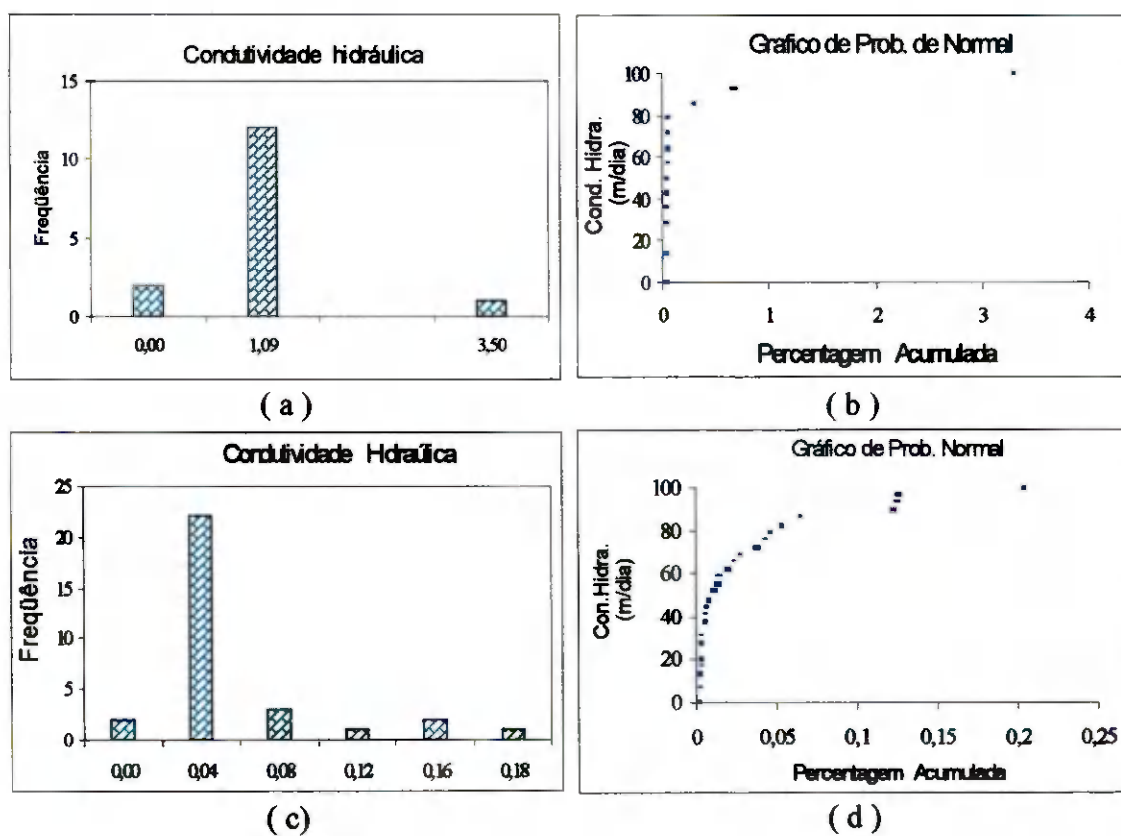


Figura 15. Histogramas e gráficos de probabilidade normal para condutividade hidráulica
($K - m / dia$), sub - áreas I e II.

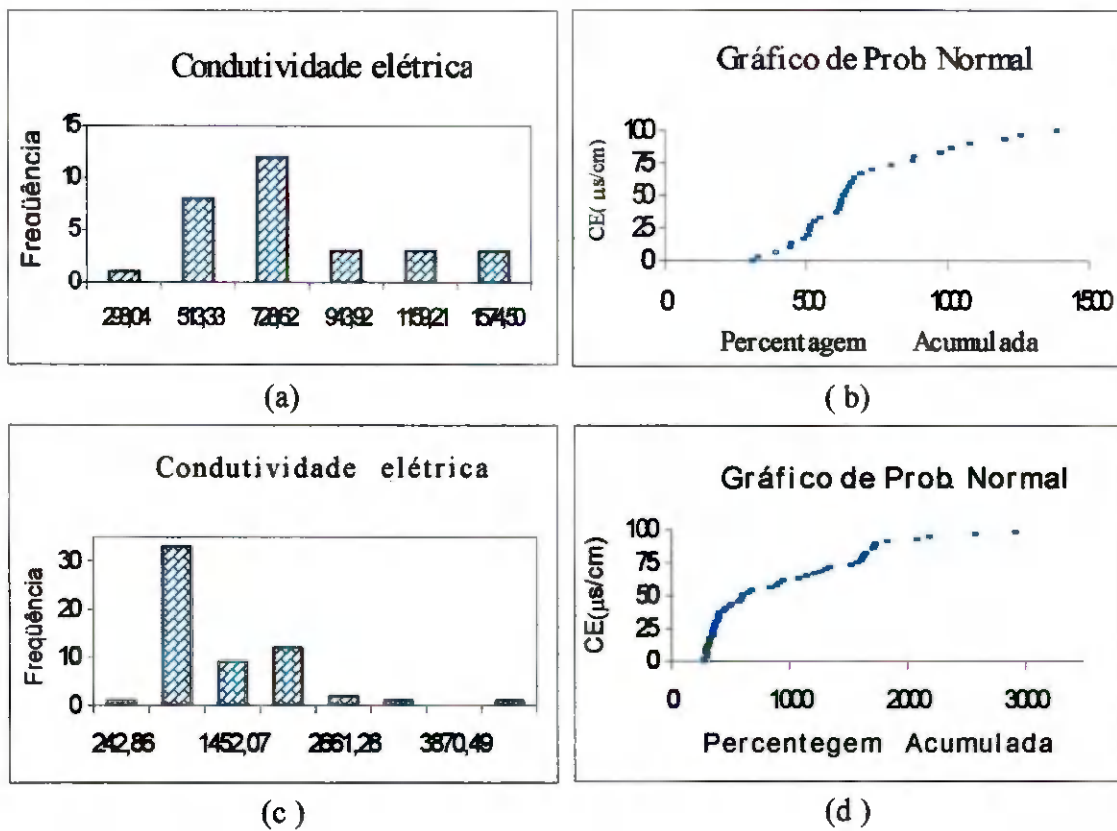


Figura 16. Histogramas e gráficos de probabilidade normal para condutividade elétrica da água do lençol freático (CE $\mu\text{s/cm}$), sub-áreas I e II.

4.3 – Análise geoestatísticas

4.3.1 – Semivariogramas experimentais

A análise da variância espacial ou estrutural procura quantificar o grau de correlação entre valores da variável tomados em pontos distintos. Para isso utiliza-se do semivariograma o qual estabelece o alcance máximo de dependência espacial entre os valores.

Nas Figuras 17 e 18, constam os semivariogramas experimentais para a profundidade do lençol freático, condutividade elétrica da água do lençol freático e condutividade hidráulica, construídos a partir de valores de semivariâncias (Apêndice 3, 4 e 5).

Uma análise dos semivariogramas experimentais (Figura 17), deixa claro que as semivariâncias para profundidade do lençol freático quando analisado com chuva e irrigação, tem magnitude semelhantes, o que está de acordo com os valores de variâncias, cujos valores são próximos. (Tabelas 1, 2 e 3). Observa-se também uma maior dispersão dos pontos dos semivariogramas quando analisados com eventos de irrigação em relação a eventos de chuva, o que pode ser explicado pelo fato de que a lâmina de irrigação é controlada, o que não ocorre com a precipitação.

4.3.2. O ajuste dos modelos

O processo de seleção do modelo foi feito visualmente procurando-se o melhor ajuste possível aos pontos iniciais, pois, estes são calculados para distância menores, melhor representando as semivariâncias (Guerra, 1988).

Para profundidade do lençol freático (Figuras 19, 20, 21, 22, 23, 24 e 25) mostram o modelo esférico ajustado aos semivariogramas experimentais. A condutividade hidráulica para as áreas estudadas não revelou estrutura espacial definida (Figura 18). O espaçamento de 60 X60 m pode ter influenciado o comportamento dos dados. Prasher (1997), estudando a variabilidade da condutividade hidráulica, enfatiza a importância de ser utilizada a menor distância possível entre os pontos, para se utilizar a técnica da geoestatística de forma eficiente. Para a condutividade hidráulica não a uma malha ideal a ser utilizada para o solo estudado, visto que, a condutividade hidráulica é um parâmetro de grande variabilidade de um ponto para outro.

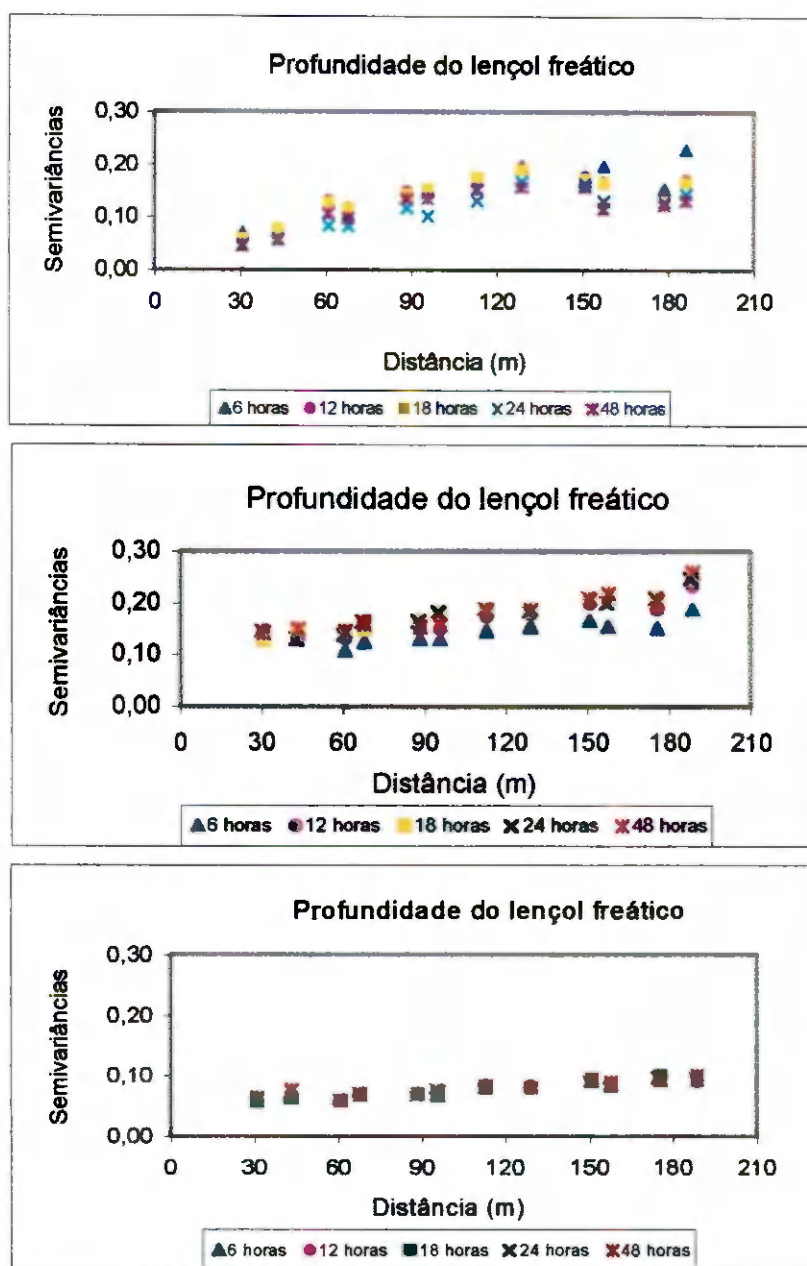


Figura 17 – Semivariogramas experimentais para profundidade do lençol freático 6, 12, 18, 24 e 48 horas após evento de chuva, sub – áreas I e II (a ,b) e após cada evento de irrigação sub- área II (c).

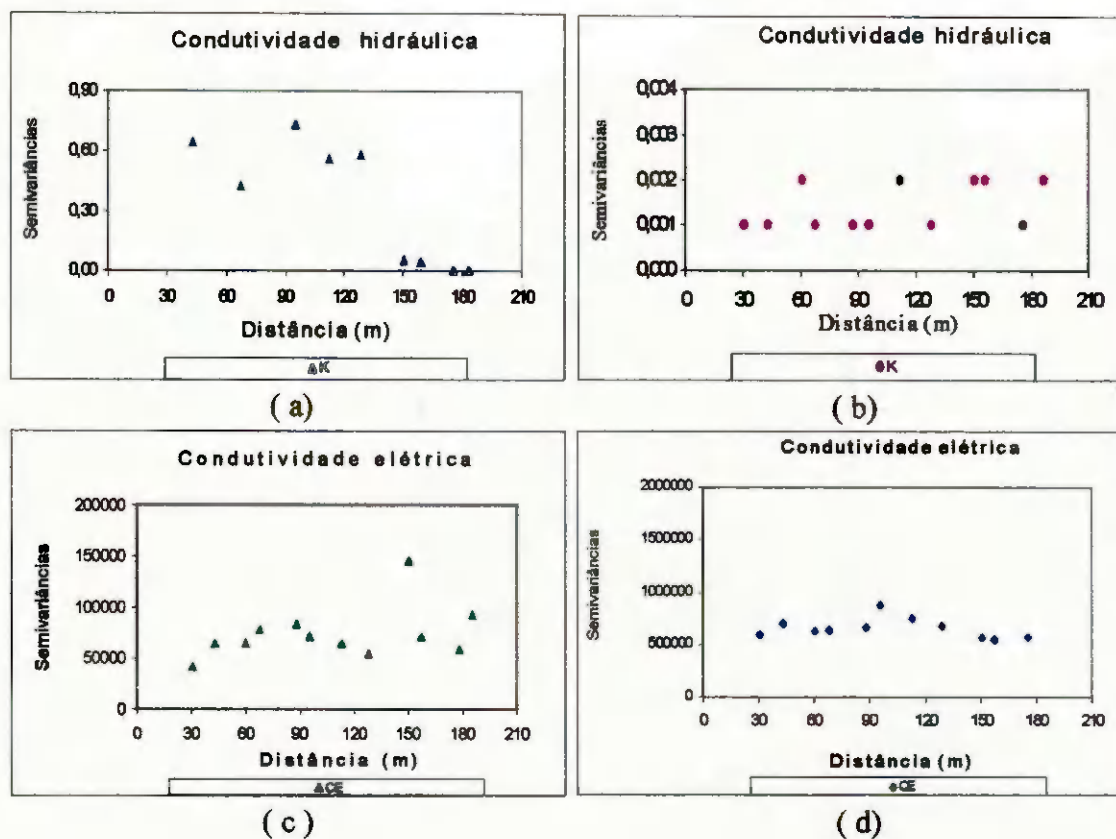


Figura 18 – Semivariogramas experimentais para condutividade hidráulica (a, b) e condutividade elétrica (c, d), sub – áreas I e II.

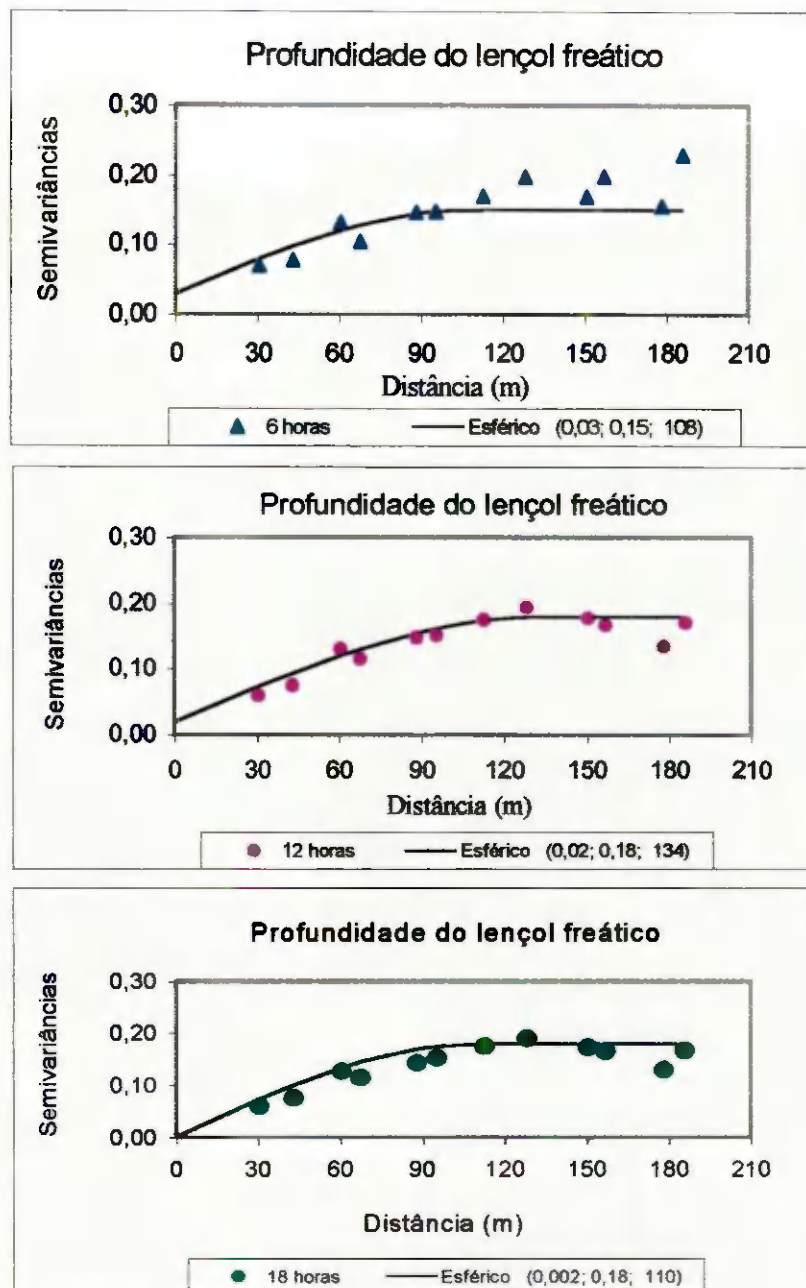


Figura 19 – Semivariogramas da profundidade do lençol freático 6, 12 e 18 horas após evento de chuva sub - área I, modelo ajustado e as estimativas dos parâmetros C_0 , $C_0 + C1$ e a .

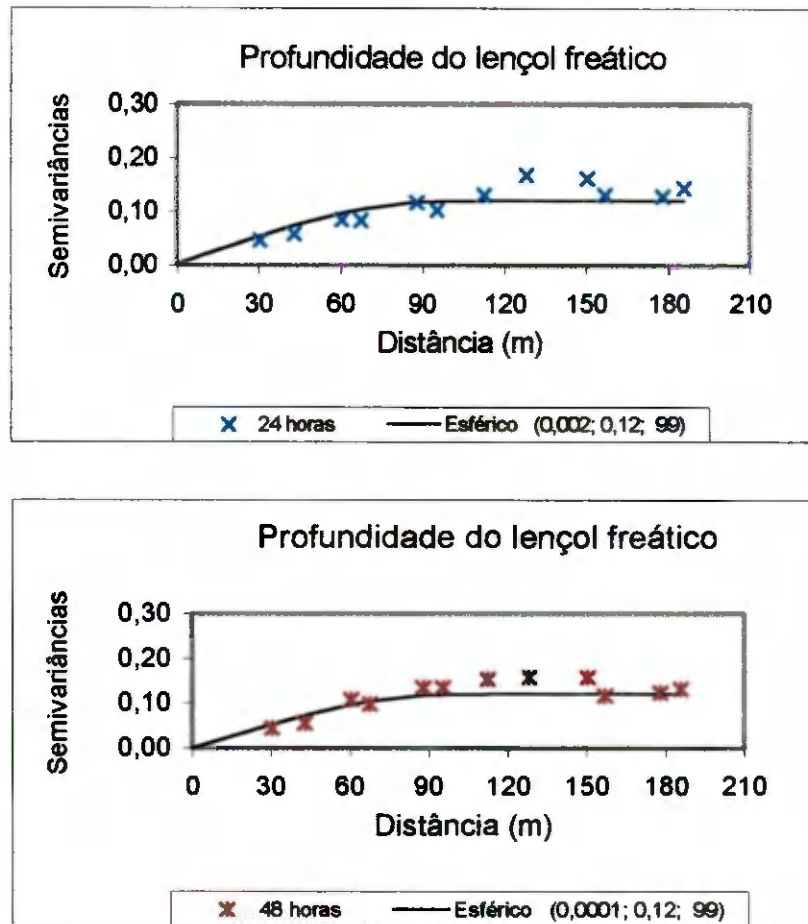


Figura 20 – Semivariogramas da profundidade do lençol freático, 24 e 48 horas após evento de chuva sub - área I, modelo ajustado e as estimativas dos parâmetros C_0 , $C_0 + C1$ e a .

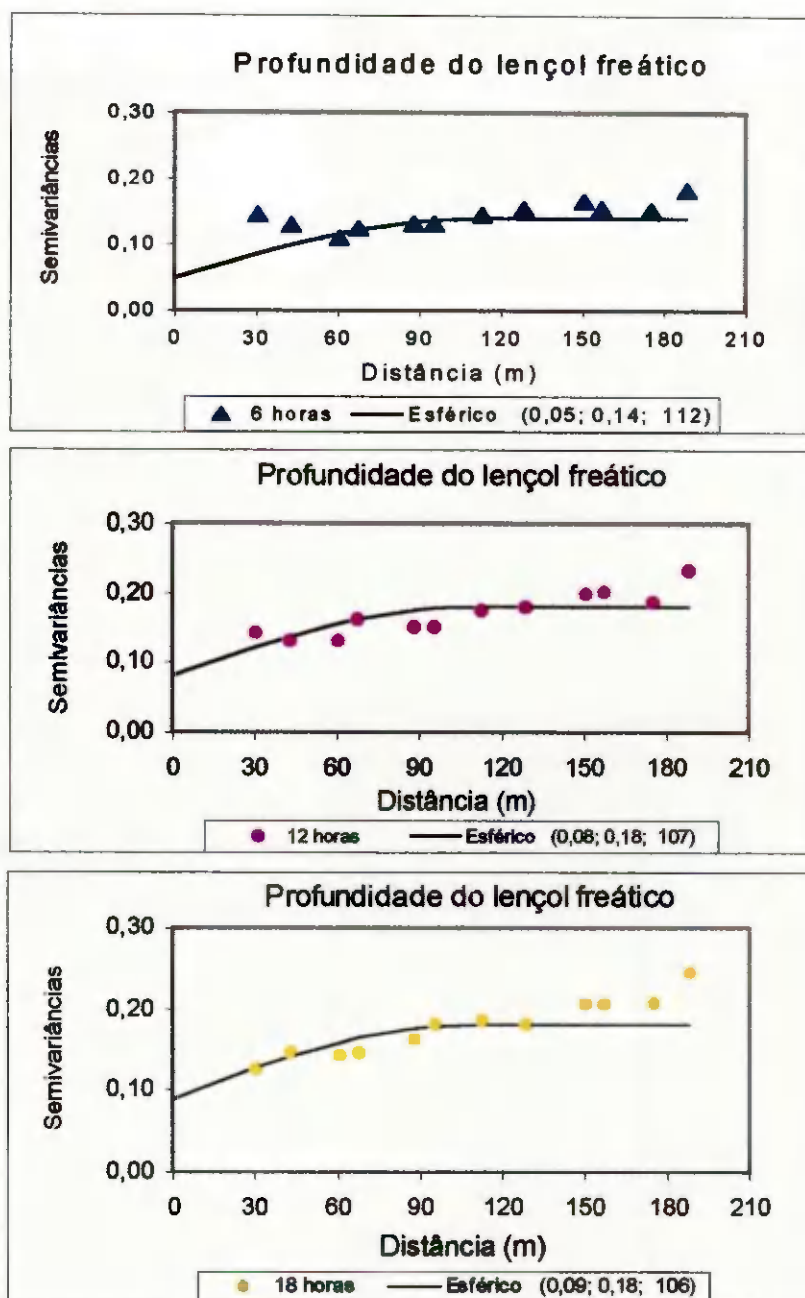


Figura 21 – Semivariogramas da profundidade do lençol freático, 6, 12 e 18 horas após evento de chuva sub - área II, modelo ajustado e as estimativas dos parâmetros C_0 , $C_0 + C_I$ e a .

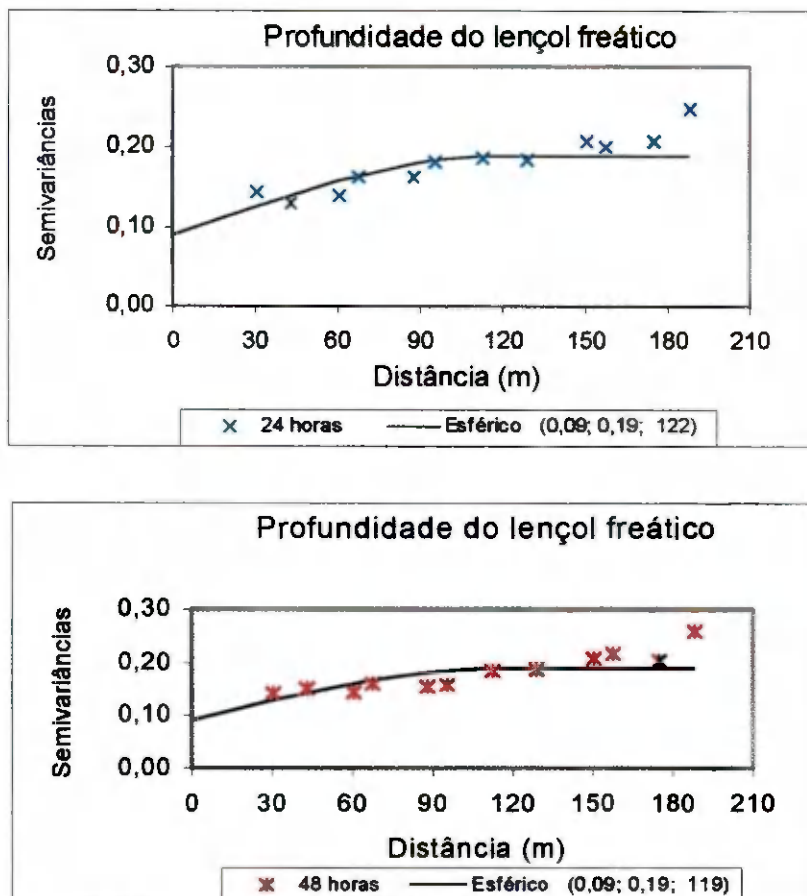


Figura 22 – Semivariogramas da profundidade do lençol freático, 24 e 48 horas após evento de chuva sub - área II, modelo ajustado e as estimativas dos parâmetros C_0 , $C_0 + C_1$ e a .

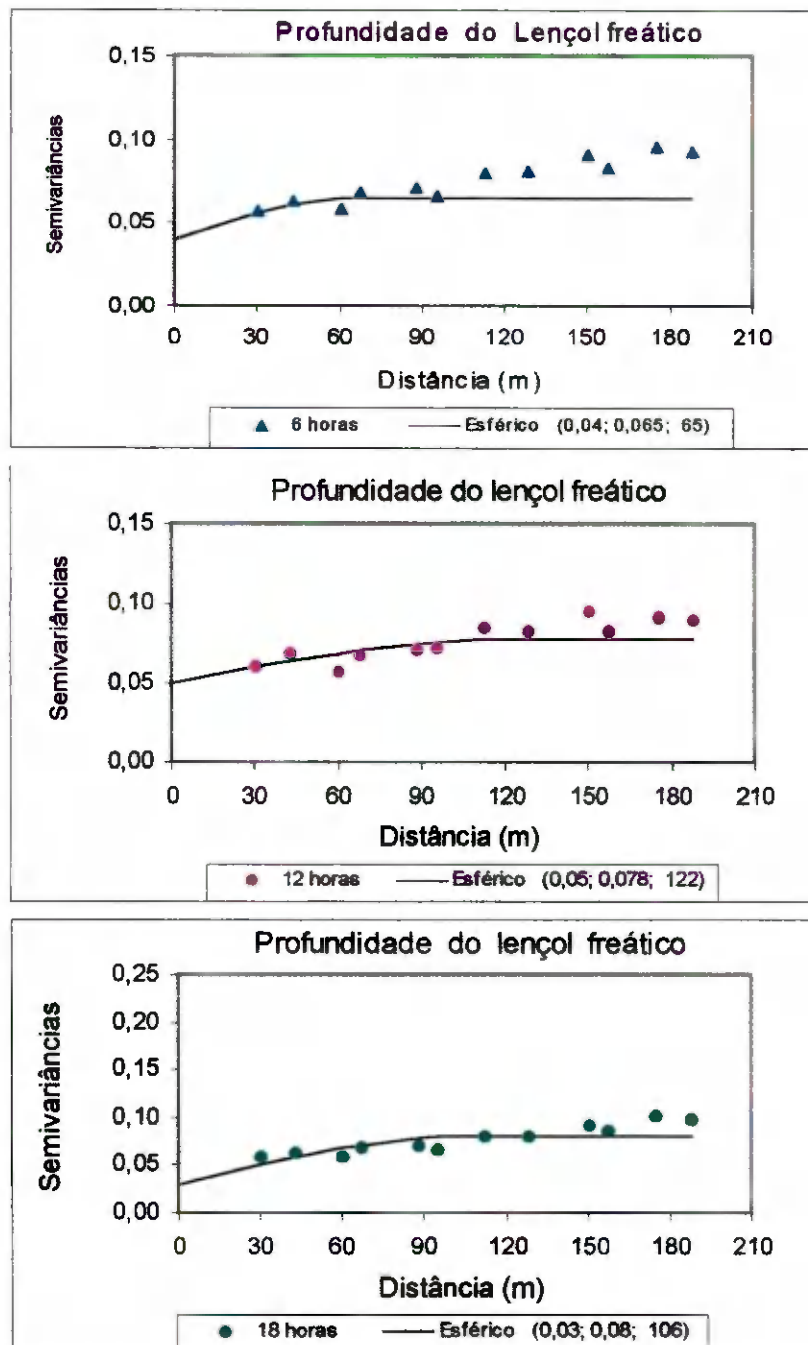


Figura 23 – Semivariogramas da profundidade do lençol freático, 6, 12 e 18 horas após evento de irrigação sub - área II, modelo ajustado e as estimativas dos parâmetros C_0 , $C_0 + C_1$ e a .

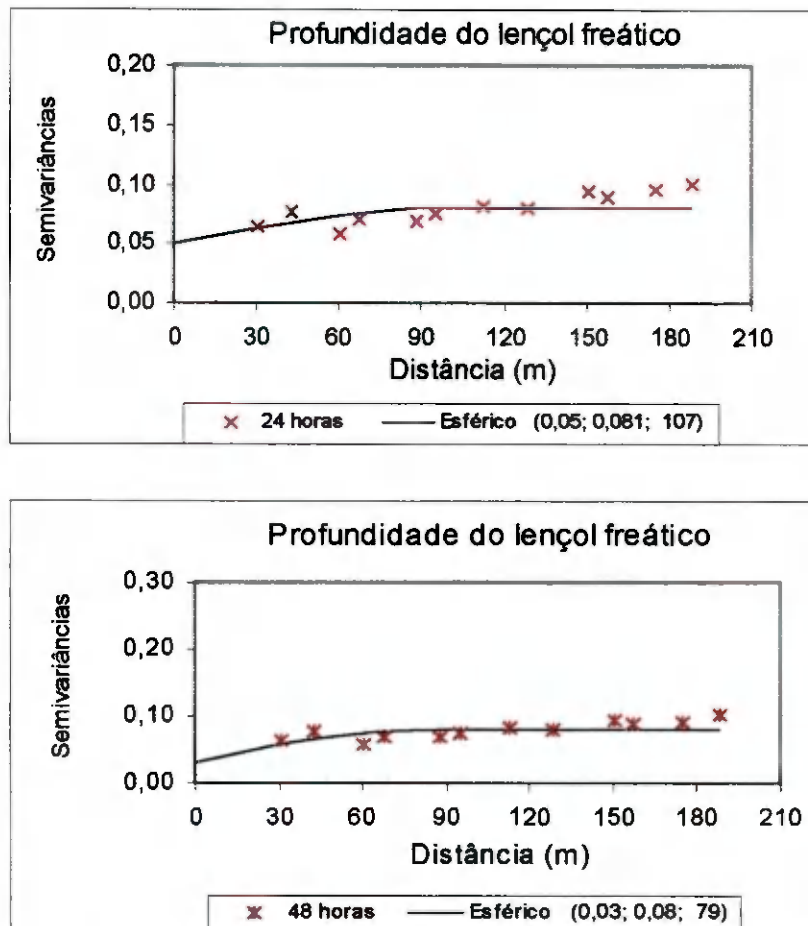
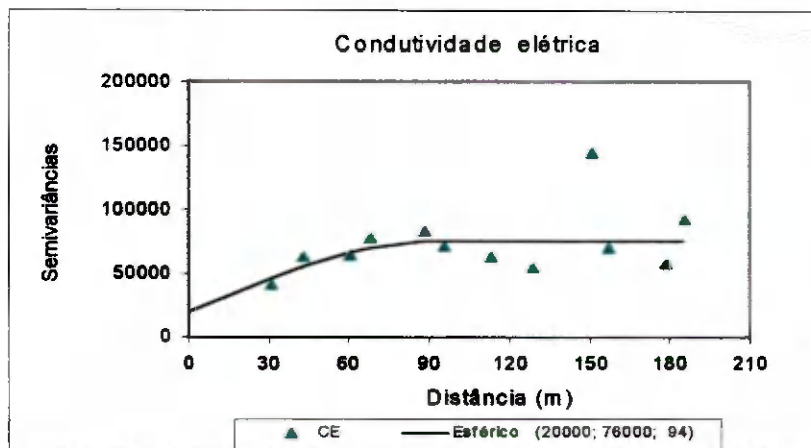
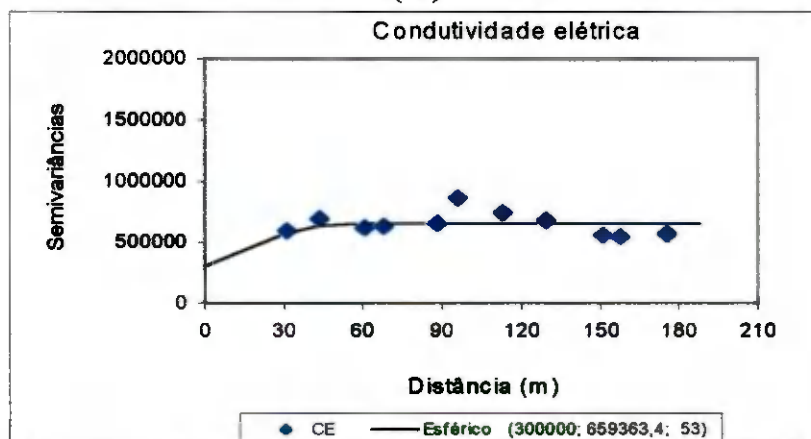


Figura 24 – Semivariogramas da profundidade do lençol freático, 24 e 48 horas após evento de irrigação sub - área II, modelo ajustado e as estimativas dos parâmetros C_0 , $C_0 + C_1$ e a .



(a)



(b)

Figura 25 – Semivariogramas da condutividade elétrica da água do lençol freático, modelo ajustado e as estimativas dos parâmetros C_0 , $C_0 + C1$ e a , para sub – áreas I e II.

A tabela 5 apresenta as estimativas dos parâmetros dos modelos de semivariogramas ajustados, efeito pepita (C_0), patamar (C_0+C1) alcance de dependência (a) e a relação efeito pepita / patamar, para as variáveis profundidade do lençol freático para 6, 12, 18, 24 e 48 horas após evento de chuva sub- áreas I e II, após evento de irrigação sub-área II e condutividade elétrica da água do lençol freático das sub- áreas I e II.

O efeito pepita expresso como percentagem de patamar, tem como finalidade facilitar a comparação do grau de dependência espacial da variável em estudo, pela classificação de Cambardella et al (1994), onde os semivariogramas com relação efeito pepita / patamar $\leq 25\%$, entre 25 e 75 % e $> 75 \%$, são considerados de forte, moderada e fraca respectivamente. Analisando as tabelas 5, pode-se observar que os dados da profundidade do lençol freático apresenta forte dependência, 6 horas após evento de chuva sub-áreas I e II, condutividade elétrica sub-área I, os demais dados apresentaram dependência espacial moderada.

O maior valor do alcance de dependência espacial foi de 122 m para profundidade do lençol freático na 24 horas após chuva, sub – área II e 12 horas após evento de irrigação sub-área II, o menor valor foi 53 m para condutividade elétrica da água do lençol freático irrigação, sub – área II. após chuva sub – área II.

As observações separados por distâncias acima do alcance, não estão correlacionadas entre si, podendo ser tratadas como independentes, não havendo restrição quanto ao uso da estatística clássica na análise de dados.

Tabela 5. Estimativa dos parâmetros do modelo esférico ajustados aos semivariogramas experimentais, efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C1$), alcance de dependência (a) e relação efeito pepita/patamar, expressa em percentagem, para as variáveis estudadas.

Variável	SUB - ÁREA I (CHUVA)			
	C_0	$C_0 + C1$	a (m)	$(C_0 / C_0 + C1) \times 100$
Prof. Lençol freático				
6 horas	0,030	0,15	108	20
12 horas	0,090	0,18	119	50
18 horas	0,090	0,18	110	50
24 horas	0,020	0,12	99	20
48 horas	0,090	0,12	99	75
	SUB - ÁREA II (CHUVA)			
	C_0	$C_0 + C1$	a (m)	$(C_0 / C_0 + C1) \times 100$
Prof. Lençol freático				
6 horas	0,050	0,14	112	36
12 horas	0,080	0,18	107	45
18 horas	0,090	0,18	106	50
24 horas	0,090	0,19	122	47
48 horas	0,090	0,19	112	47
	SUB - ÁREA II (IRRIGAÇÃO)			
	C_0	$C_0 + C1$	a (m)	$(C_0 / C_0 + C1) \times 100$
Prof. Lençol freático				
6 horas	0,04	0,065	65	61
12 horas	0,05	0,078	122	64
18 horas	0,03	0,080	106	38
24 horas	0,03	0,081	107	37
48 horas	0,03	0,080	79	38
CE($\mu\text{s/cm}$)				
Sub - área I	20000	76000	94	26
Sub - área II	300000	659364	53	45

Substituindo os parâmetros C_0 , $C_0 + C1$ e a , da tabela 5, na equação 6 do modelo esférico, obtém-se as equações apresentadas na tabela 6 e 7, para os semivariogramas das variáveis estudadas.

Tabela 6 . Equações do modelo esférico ajustadas aos semivariogramas para a profundidade do lençol freático após evento de chuva, sub -áreas I e II.

		SUB - ÁREA I (CHUVA)	
Variável		Equação	
Prof. Lençol freático			
6 horas	$\gamma (h) = 0,030 + 0,12 [1,5 (h / 108) - 0,5(h / 108)^3]$	$0 < h < 108.$	
	$\gamma (h) = 0,15$		$h \geq 108$
12 horas	$\gamma (h) = 0,090 + 0,09 [1,5 (h / 119) - 0,5(h / 119)^3]$	$0 < h < 119.$	
	$\gamma (h) = 0,18$		$h \geq 119$
18 horas	$\gamma (h) = 0,090 + 0,09 [1,5 (h / 110) - 0,5(h / 110)^3]$	$0 < h < 110.$	
	$\gamma (h) = 0,18$		$h \geq 110$
24 horas	$\gamma (h) = 0,020 + 0,10 [1,5 (h / 99) - 0,5(h / 99)^3]$	$0 < h < 99.$	
	$\gamma (h) = 0,12$		$h \geq 99$
48 horas	$\gamma (h) = 0,090 + 0,03 [1,5 (h / 99) - 0,5(h / 99)^3]$	$0 < h < 99.$	
	$\gamma (h) = 0,12$		$h \geq 99$
		SUB - ÁREA II (CHUVA)	
Prof. Lençol freático		Equação	
6 horas	$\gamma (h) = 0,05 + 0,09 [1,5 (h / 112) - 0,5(h / 112)^3]$	$0 < h < 112.$	
	$\gamma (h) = 0,14$		$h \geq 112$
12 horas	$\gamma (h) = 0,08 + 0,10 [1,5 (h / 107) - 0,5(h / 107)^3]$	$0 < h < 107.$	
	$\gamma (h) = 0,18$		$h \geq 107$
18 horas	$\gamma (h) = 0,090 + 0,090 [1,5 (h / 106) - 0,5(h / 106)^3]$	$0 < h < 106.$	
	$\gamma (h) = 0,18$		$h \geq 106$
24 horas	$\gamma (h) = 0,090 + 0,10 [1,5 (h / 122) - 0,5(h / 122)^3]$	$0 < h < 122.$	
	$\gamma (h) = 0,14$		$h \geq 122$
48 horas	$\gamma (h) = 0,090 + 0,10 [1,5 (h / 79) - 0,5(h / 79)^3]$	$0 < h < 79.$	
	$\gamma (h) = 0,18$		$h \geq 79$

Tabela 7. Equações do modelo esférico ajustadas aos semivariogramas para a profundidade do lençol freático após evento de irrigação, sub- área II e condutividade elétrica da água do lençol freático, sub-área I e II.

SUB - ÁREA I (IRRIGAÇÃO)	
Variável	Equação
Prof. Lençol freático	
6 horas	$\gamma(h) = 0,04 + 0,025 [1,5 (h / 65) - 0,5(h / 65)^3]$ $0 < h < 65.$ $\gamma(h) = 0,065$ $h \geq 65$
12 horas	$\gamma(h) = 0,05 + 0,028 [1,5 (h / 122) - 0,5(h / 122)^3]$ $0 < h < 122.$ $\gamma(h) = 0,078$ $h \geq 122$
18 horas	$\gamma(h) = 0,03 + 0,05 [1,5 (h / 106) - 0,5(h / 106)^3]$ $0 < h < 106.$ $\gamma(h) = 0,080$ $h \geq 106$
24 horas	$\gamma(h) = 0,03 + 0,03 [1,5 (h / 107) - 0,5(h / 107)^3]$ $0 < h < 107.$ $\gamma(h) = 0,081$ $h \geq 107$
48 horas	$\gamma(h) = 0,05 + 0,03 [1,5 (h / 79) - 0,5(h / 79)^3]$ $0 < h < 79.$ $\gamma(h) = 0,080$ $h \geq 79$
Equação	
Condutividade Elétrica	
SUB- ÁREA I	$\gamma(h) = 20000 + 56000 [1,5 (h / 94) - 0,5(h / 94)^3]$ $0 < h < 94.$ $\gamma(h) = 76000$ $h \geq 94$
SUB- ÁREA II	$\gamma(h) = 300000 + 359364 [1,5 (h / 53) - 0,5(h / 53)^3]$ $0 < h < 53.$ $\gamma(h) = 659364$ $h \geq 53$

4. 3. 3 - Mapas do lençol freático

A partir dos parâmetros dos semivariogramas para a profundidade do lençol freático e condutividade elétrica para sub-área I e sub- área II, foi construído o mapa de isolinhas (Figuras 26, 27 e 28), com dados interpolados por Krigagem. Com base em uma malha regular de 30X30m, totalizando 30 poços para sub- área I e 60 poços para sub-área II. Nos mapas de isolinhas a uma representação de cores que neste caso foram, a cor azul representa os valores mínimos e a cor vermelha os valores máximos.

Analisando-se a (Figura 26a), observa-se que na parte direita da área a profundidade do lençol freático apresenta valores próximo a superfície do solo, como indica a tonalidade azul. Pela (Figura 26 b) a profundidade do lençol freático está mais próximo a superfície em toda parte central da área, alcançando valores de efeito danosos para o solo e conseqüentemente afetando o desenvolvimento de cultura com sistemas radiculares mais profundos.

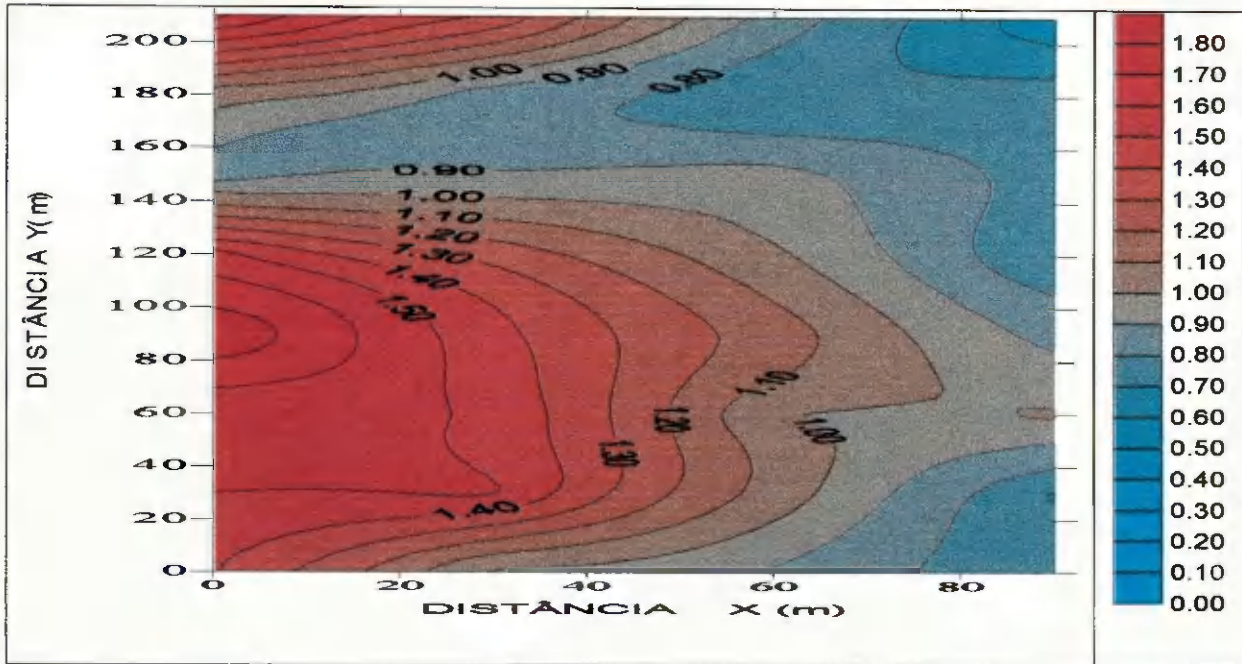
Para análise da profundidade do lençol freático com eventos de irrigação (Figura 27), verifica-se que a maior parte da sub - área II se encontra com o lençol freático próximo a superfície, indicando a necessidade de implantação de um sistema de drenagem para o rebaixamento do lençol freático e controle de salinidade da área.

Os maiores valores de condutividade elétrica da água de irrigação para sub - área I estão localizados no extremo inferior a direita da área e no extremo superior esquerdo da área(Figura 28 a). Para sub - área II observa-se que a uma concentração de valores elevados de CE na parte superior da área e no centro da área (Figura 28 b).

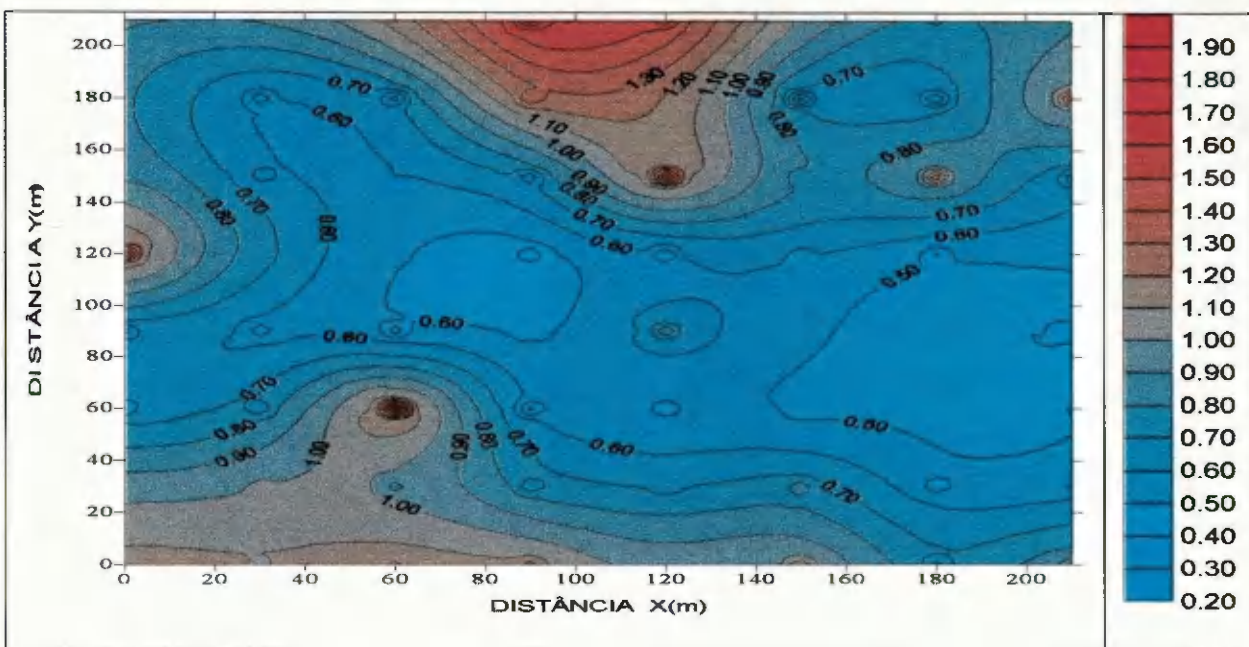
Os mapas de isolinhas , obtidos a partir da profundidade do lençol freático e da condutividade elétrica da água do lençol freático contribuem para um planejamento

adequado da área estudada, indicando sub-áreas onde o manejo do solo deve ser diferenciado, no caso da profundidade do lençol freático, permiti localizar área de recargas, descarga, direção de fluxo e gradiente hidráulico. Em relação a condutividade elétrica da água do lençol freático é possível localizar regiões dos maiores valores de CE, possibilitando um balanço de sais no solo mais eficiente.

É recomendado a implantação do projeto de drenagem por sub-área , evitando altos custos e ineficiência do projeto.



(a)



(b)

Figura 26 – Mapa de isolinhas da profundidade do lençol freático após evento de chuva sub – áreas I (a) e II (b).

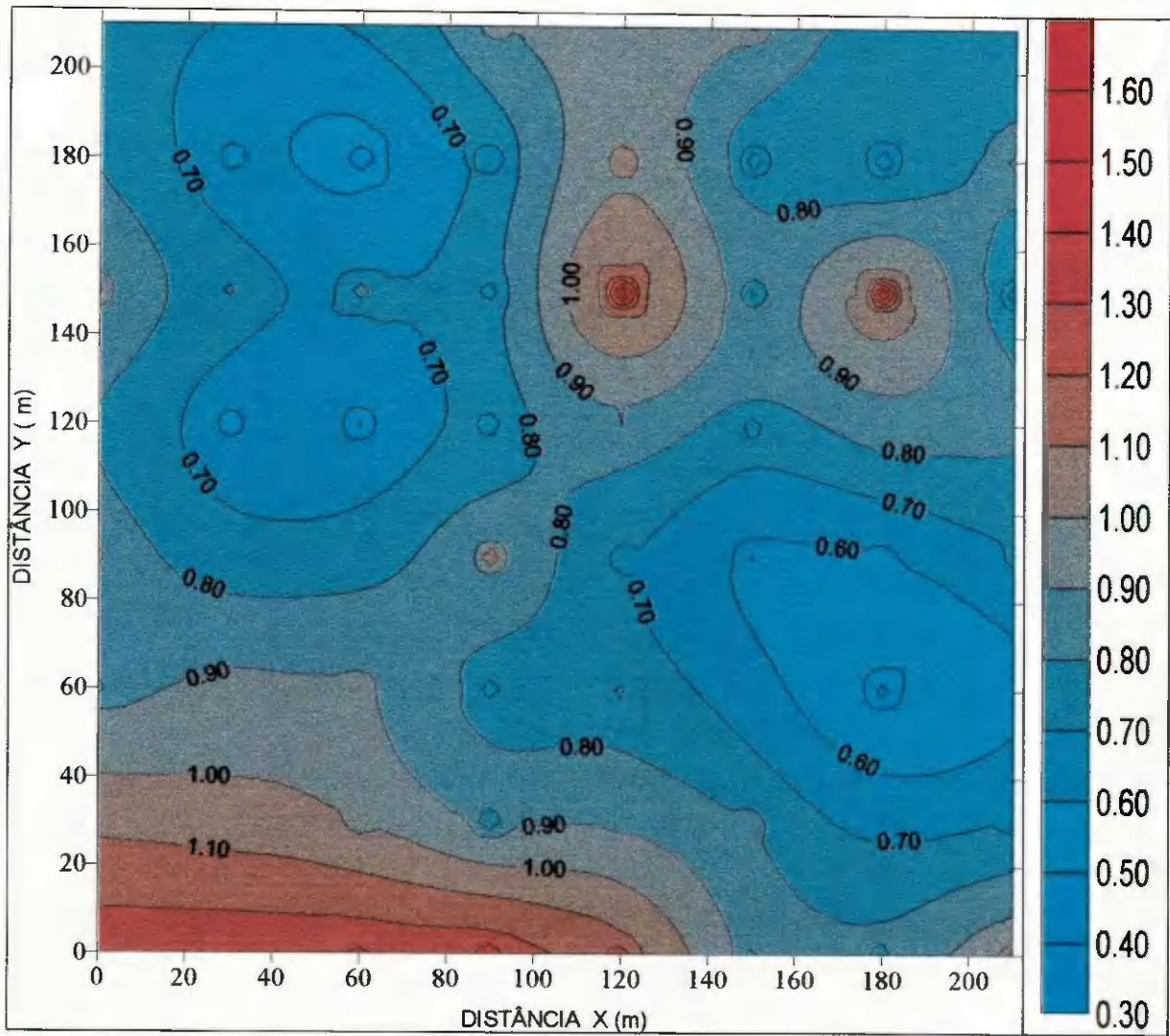
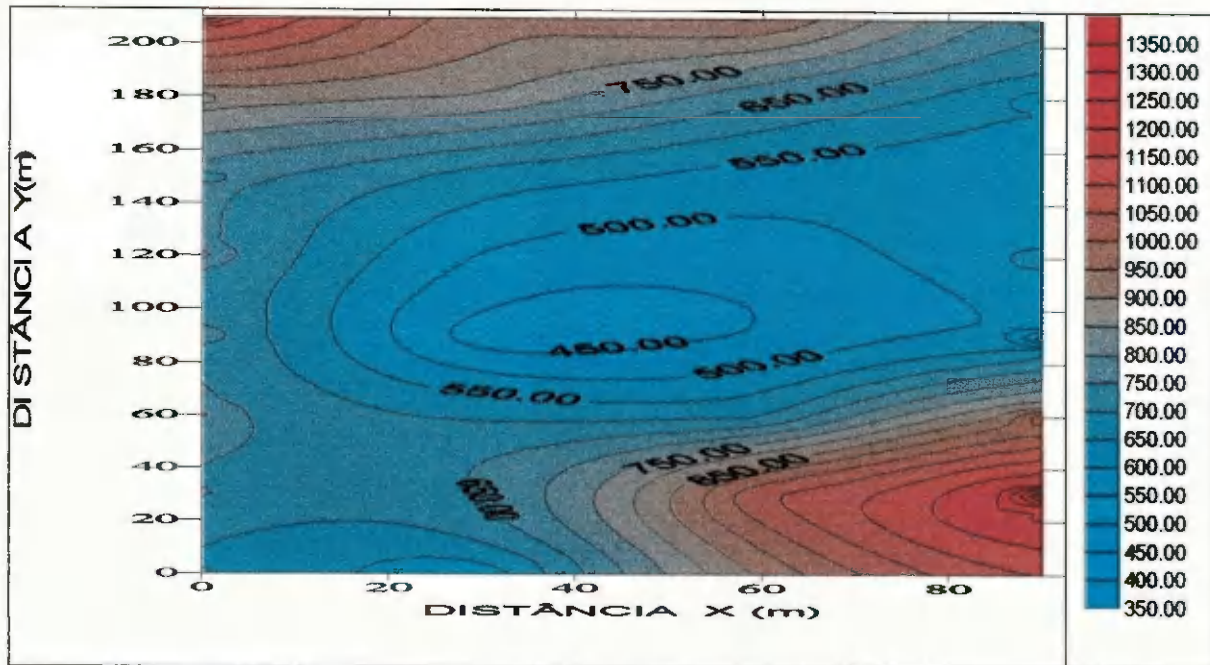
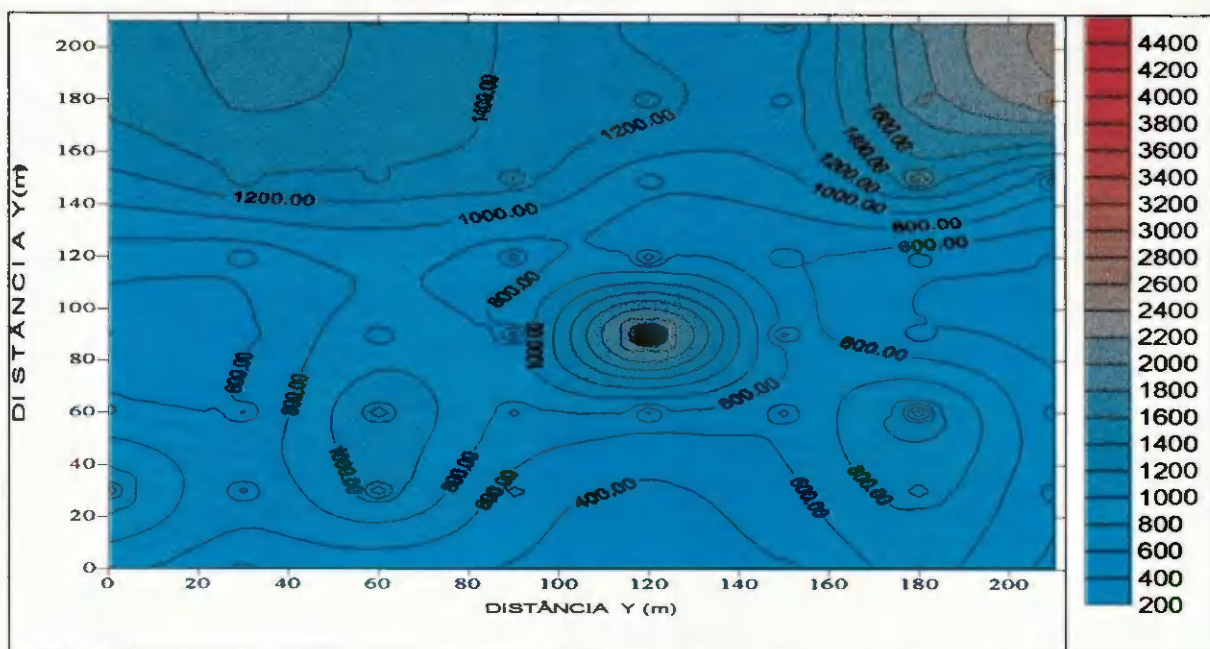


Figura 27 – Mapa de isolinhas profundidade do lençol freático após evento de irrigação, sub - área II.



(a)



(b)

Figura 28 – Mapa de isolinhas da condutividade elétrica da água do lençol freático, sub-
áreas I (a) e II (b).

5. CONCLUSÕES

1. A análise de solo indica que na maior parte da área estudada, o solo é normal do ponto de vista de salinidade.
2. As variáveis estudadas profundidade do lençol freático, condutividade elétrica da água do lençol freático e condutividade hidráulica não obedeceram uma distribuição normal.
3. A profundidade do lençol freático quando analisada após evento de chuva e irrigação apresentou variabilidade média ($30,59 \% < CV < 56,64 \%$) e estrutura de dependência espacial moderada.
4. A condutividade elétrica da água do lençol freático, apresentou variabilidade média com moderada dependência espacial e alcance de 94 e 53 m , para as sub - áreas I e II respectivamente.
5. A condutividade hidráulica apresentou alta variabilidade de 228,92% e 153,54 %, para sub- áreas I e II respectivamente, não apresentou estrutura de dependência espacial definida. Na maior parte da área a condutividade hidráulica é baixa.
6. O mapa de isolinhas das variáveis estudadas, usando a técnica de Krigagem, indicou sub-regiões onde o manejo deverá ser efetuado de forma diferenciada, permitindo o dimensionamento do sistema de drenagem por sub-áreas.
7. A sub – área I apresenta lençol freático nas profundidades recomendadas para as culturas que estão sendo exploradas.

8. A metodologia apresentada, para determinação da variabilidade espacial das variáveis estudadas, é recomendada na utilização do dimensionamento do sistema de drenagem.
9. Recomenda-se a determinação de um maior número de testes de condutividade hidráulica, para que se disponha de uma melhor estimativa desta variável.
10. Com base nos dados apresentados recomenda-se a implantação a curto prazo de um sistema de drenagem para sub – área II.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILAR, T. V. Relação entre a produção relativa e o índice diário de stress para a cultura da cenoura.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa 1995. 43 p. (Dissertação de Mestrado).
- AYRES, R. S.; WESTCOT, D.W. A qualidade da água na agricultura.** Campina Grande: UFPB.Tradução de Gheyi , H.R.; Medeiros, J.F. de & Damasceno, F. A. V. 1991,218p. (Estudos da FAO Irrigação e Drenagem, 29 Revisado)
- AMORIM, B.V. Diagnóstico e avaliação de desempenho drenagem subterrânea no Perímetro Irrigado de Bebedouro - Pe.** Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba 1995. 160p. (Dissertação de Mestrado).
- BELTRÁN M. J. Drenagem agrícola.** Ministério de Agricultura, Pesca y alimentacion. V. 1. 1986. 239 p.(Manual técnico nº 5).
- BUSSAB,O . W.; MORETTIN A . P. Estatística básica. Métodos quantitativos.** 4 ed. São Paulo Atual 1987.
- CAMBARDELLA,C.A.; MOORMAN,T.B.; NOVAK,J.M.;PARKIN, T. B. KARLEN, D.L.;TURRICO, R. F & KONOPKA, A .E. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. Soil Science Society of American Journal,v.58, p.1501-1511,1994.**
- CARVALLO, H. O. Características dos Solos Importantes na Irrigação. Planejamento agrícola a nível de propriedade.** [s. l.]Campina Grande: SUDENE / UFPB, 1982.

- CRUCIANI, D. E. **A drenagem na agricultura**. 2. ed, São Paulo, 1983. 337 p.
- CORDEIRO.G.C. **Caracterização dos Problemas de sais dos Solos Irrigados do Projeto de São Gonçalo**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba 1977.108p. (Dissertação Mestrado).
- COSTA NETO, P.L.O .**Estatística**. 15 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1997.254p.
- DAKER, A. **Irrigação e Drenagem: A água na agricultura**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, v.3, 1988. 543p.
- DAVID, M. **Geostatistical orf reserve estimation**. Amsterdam elsevier, 1977.
- DNOCS. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. Ministério do Meio Ambiente dos recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 2^o Distrito de Engenharia Rural, PISG, 1997(Mimeografado)
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Ver. Rio de Janeiro: EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do solo, 1997.212p.
- ENGLUND, E & SPARKS, A. **Geo – EAS (Geoeastistical Enviromental Assessment Software)**. Las Vegas: U.S. Enviromental Protection Agency, 1988. 100 p.
- FARIAS. M. S. S. **Diagnóstico da Necessidade de Drenagem na Estação Experimental de São Gonçalo**. Campina Grande,1996.30p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal da Paraíba.
- FERREIRA, P.A. Engenharia de irrigação. Brasília, DF: ABES, Viçosa. MG: UFV, Departamento de Engenharia Agrícola, 1988, 87 p.(ABEAS. Curso de Engenharia de irrigação, Módulo 11)
- GALLICHAND, J. B; PRASHER, O S.; BROUGHTON S. R. & MARCOTTE D. Kriging of Hydraulic Conductivity for Subsurfacc e Drainage Design. **Journal of the Irrigation and Drainage Engineering**, v. 117, n.5, p. 667 – 681, 1991.

- GARDNER, W.R. Some steady -state solution of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. *Soil Science.*, v. 85, n.4, p.228-232, 1958.
- GONÇALVES, A. C. A. & FOLEGATTI, M. V. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo, ao longo de uma transição em área irrigada por pivô central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24, 1995, Viçosa. *Anais...* Viçosa. Universidade Federal de Viçosa, 1995. p 190.
- GUERRA, P.A .G. *Geoestatística operacional*. Brasília: Ministério das Minas e Energia, Departamento de Produção Mineral, Brasília, 1988. 145p.
- LEITE, L.M. *Caracterização da qualidade da água superficial da Bacia Capiá-AL para fins de irrigação*. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba 1991. 96p. (Dissertação de Mestrado).
- LESSA, P.A.; ESCALOPPI, E. J. Avaliação do controle do nível freático em sistemas conjugados de irrigação e drenagem subterrânea. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998. *Anais*. Poços de Caldas - Minas Gerais. Lavras UFLA/SBEA.
- LIMA, L.A V. *Efeitos da qualidade da água de irrigação e da fração de lixiviação sobre a cultura do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) em condições de lisímetro de drenagem*. Minas Gerais: Universidade Federal de , 1998. 87p. Tese (Doutorado).
- MILLAR, A. A. *Drenagem de terras agrícolas*. Editerra editorial, São Paulo, 53p, 1988.
- NUGTEREN, F. A . *Crítérios de drenagem agrícola. Principios y aplicaciones del drenaje*. WACENINGEN. Holanda: ILRI. p. 107-134. v.2. 1972.
- OLIVEIRA, J. J. *Variabilidade espacial de características químicas em um solo salino-sódico*. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba. , 1998. 98p. (Dissertação de Mestrado).

- PEREIRA, F. A . **Efeitos de diferentes profundidades do lençol freático sobre a evapotranspiração, o coeficiente de cultura, a produção e os componentes de produção do alface. (Lactuca L.).** Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa, 1994.55p.(Dissertação de Mestrado).
- PIZARRO, F. **Drenage Agrícola e Recuperacion de Suelos Salinos.** Editora agrícola la Espanhola, Madrid, 1978.128p.
- PRASHER, S. O . **Effect of spatial variability in hidraulic conductivity on water table drawdown.** *Transactios of the ASAE*, v.40, n° 2. p 371 – 375.1997.
- PREVEDELLO,B.M.S. **Variabilidade espacial de parâmetros de solo e planta.** Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “ Luiz de Queiroz ” da Universidade de São Paulo, 1987.166p Tese (Doutorado)
- PROGRAMA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO (PRONI). **Curso de Elaboração de Projetos de Irrigação.** Brasília, PNI / Fundação CTH, 1986. p.1-39.
- QUEIROZ.,J.E. **Parâmetros Hidrodinâmicos de um Solo de Várzea para fins de Drenagem Subterrânea.** Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “ Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo,1995. 167 p. Tese (Doutorado).
- RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: Agronômica Ceres, 1991. 343p.
- RICHARDS.L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.**Washington; D.C. : United States Salinity Laboratory,1954,160p. (United States Department of Agriculture Handbook, 60).
- RICHARDS.K. **Variabilidade espacial e (temporal) de solos.**In: **Processos de transferência no sistema solo planta atmosfera.** 4 ed.Campinas: Fundação Cargill, 391-416p.1985.

- SOUZA, J. R.. **Variabilidade espacial de características físico- hídricas e de água disponível em um solo aluvial no semi-árido Paraibano.** Campina Grande: Universidade federal da Paraíba. 1998. 81p.(Dissertação de Mestrado).
- SOUZA, L. C.. **Variabilidade espacial da salinidade de um solo de aluvial no semi-árido paraibano.** Campina Grande: Universidade federal da Paraíba. 1999. 77 p. (Dissertação de Mestrado).
- STAVAREN, J. M.V. Estudios y se cequencia. **Principios e aplicacions del drenage** WACENINGEN. Holanda: ILRI. p.1 -14 v .I.1972
- ULZURRUN, M. D. D.; CASTILLO, F. E.; BELTRAN, J. M. & LASALA, L. C. **Principio y aplicaciones del drenaje.** ILRI, Wageningen, vol I 16p, vol II 33p,1977.
- WARRICK, A .W.; NIELSEN,D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. ed. **Application of soils physics** . New York: Academic Press, 1980. Cap.13, p. 319 -344.

APÊNDICES

Apêndice 1. Caracterização física do solo.

Nº Amostra	U (%)	da (g/cm ³)	dr (g/cm ³)	PT (%)	PMP (%)	CC (%)	μ (%)	Classe
P1(0-30)	2,8	1,4	2,4	40,6	8,9	16,1	24,5	Franco
P1(30-60)	2,0	1,4	2,4	42,6	10,1	22,1	20,5	Franco
P1(60-90)	3,5	1,3	2,3	41,6	11,6	21,0	20,6	Franco
P2(0-30)	1,6	1,5	2,6	43,6	6,2	15,1	28,5	Franco Arenoso
P2(30-60)	1,8	1,5	2,5	40,2	6,1	12,2	28,0	Franco Argilo Arenoso
P2(60-90)	2,9	1,4	2,3	39,5	9,9	29,9	9,6	Franco Arenoso
P3(0-30)	3,4	1,4	2,3	40,0	14,4	29,3	20,7	Franco Siltoso
P3(30-60)	2,6	1,4	2,4	41,0	11,9	25,6	15,5	Franco
P3(60-90)	2,5	1,4	2,3	41,6	9,7	20,4	21,2	Franco Arenoso
P4(0-30)	3,2	1,3	2,3	41,3	13,0	21,5	19,9	Franco Argilo Arenoso
P4(30-60)	5,0	1,4	2,0	32,5	6,4	12,7	19,8	Argiloso
P4(60-90)	1,4	1,4	2,5	44,2	6,5	19,8	24,5	Franco Arenoso
P5(0-30)	1,7	1,5	2,3	37,4	6,8	15,3	22,1	Franco Arenoso
P5(30-60)	1,6	1,5	2,4	37,2	5,7	11,9	25,3	Franco Arenoso
P5(60-90)	0,4	1,4	2,6	46,9	5,4	14,3	32,6	Franco Arenoso
P6(0-30)	2,4	1,3	2,3	43,5	8,8	19,0	24,6	Franco Argilo Arenoso
P6(30-60)	2,6	1,2	2,3	47,2	10,4	16,8	30,4	Franco
P6(60-90)	2,5	1,3	2,4	46,7	8,2	20,1	26,7	Franco Arenoso
P7(0-30)	3,0	1,4	2,3	41,4	7,5	13,5	27,9	Franco Arenoso
P7(30-60)	1,9	1,4	2,4	42,6	7,3	17,9	24,7	Franco Arenoso
P7(60-90)	2,2	1,3	2,4	45,2	13,2	24,2	21,0	Franco Arenoso
P8(0-30)	2,2	1,4	2,4	42,3	12,9	29,5	12,8	Franco Argiloso
P8(30-60)	2,2	1,4	2,4	41,7	13,4	35,0	6,7	Franco Argilo Arenoso
P8(60-90)	2,5	1,4	2,4	41,5	9,1	30,9	10,5	Franco Argilo Arenoso
P9(0-30)	1,2	1,4	2,5	42,5	6,7	13,8	28,7	Franco Argilo Arenoso
P9(30-60)	2,8	1,3	2,2	41,7	6,3	13,3	28,4	Franco Arenoso
P9(60-90)	1,0	1,4	2,5	44,6	6,5	13,7	30,9	Franco Arenoso
P10(0-30)	3,5	1,4	2,2	38,1	12,5	24,6	13,4	Franco Argiloso
P10(30-60)	8,8	1,3	1,5	38,8	11,0	13,7	25,1	Argiloso
P10(60-90)	1,2	1,3	2,5	47,0	12,2	32,5	14,5	Franco Argilo Arenoso

Onde:

U = Percentagem de umidade do solo

da = Densidade aparente

dr = Densidade real

PT = Porosidade total

PMP = Ponto de murcha

CC = capacidade de campo

μ = Porosidade drenável

Apêndice 2. Caracterização química do solo

Amostra	pH	CE ds/cm	RAS	PST	Classificação Salinidade	Classificação Sodicidade	Classificação GERAL
P1(0-30)	7,55	0,69	0,17	1,02	normal	normal	normal
P1(30-60)	7,87	0,49	0,21	0,96	normal	normal	normal
P1(60-90)	8,25	0,60	0,24	0,92	normal	normal	normal
P2(0-30)	6,54	0,58	0,09	1,14	normal	normal	normal
P2(30-60)	6,81	0,48	0,10	1,13	normal	normal	normal
P2(60-90)	7,29	0,48	0,12	1,10	normal	normal	normal
P3(0-30)	8,90	1,21	1,12	0,39	normal	normal	normal
P3(30-60)	8,74	0,86	0,70	0,23	normal	normal	normal
P3(60-90)	8,60	0,48	0,20	0,97	normal	normal	normal
P4(0-30)	8,34	0,98	0,25	0,90	normal	normal	normal
P4(30-60)	8,01	0,67	0,52	0,50	normal	normal	normal
P4(60-90)	7,06	0,66	0,11	1,11	normal	normal	normal
P5(0-30)	7,32	0,94	0,10	1,13	normal	normal	normal
P5(30-60)	7,37	0,52	0,12	1,10	normal	normal	normal
P5(60-90)	7,76	0,52	0,12	1,10	normal	normal	normal
P6(0-30)	8,12	1,47	0,24	0,92	normal	normal	normal
P6(30-60)	7,40	2,58	0,19	0,99	normal	normal	normal
P6(60-90)	8,40	4,57	0,17	1,03	salino	normal	salino
P7(0-30)	7,94	0,63	0,17	1,01	normal	normal	normal
P7(30-60)	7,47	0,82	0,11	1,11	normal	normal	normal
P7(60-90)	7,53	0,48	0,12	1,10	normal	normal	normal
P8(0-30)	8,83	1,74	1,08	0,33	normal	normal	normal
P8(30-60)	9,57	1,64	1,60	1,08	normal	normal	normal
P8(60-90)	9,56	1,40	1,30	0,65	normal	normal	normal
P9(0-30)	8,95	1,25	0,32	0,80	normal	normal	normal
P9(30-60)	8,51	0,65	4,39	4,96	normal	normal	normal
P9(60-90)	7,87	2,04	0,28	0,85	normal	normal	normal
P10(0-30)	8,17	19,99	3,91	4,32	salino	normal	salino
P10(30-60)	9,33	5,96	4,80	5,50	salino	normal	salino
P10(60-90)	7,84	3,68	4,65	5,30	normal	normal	normal

Onde:

CE = condutividade elétrica do solo

RAS = razão de adsorção de sódio

PST = percentagem de sódio trocável.

Apêndice 3. Semivariâncias experimentais para profundidade do lençol freático, após evento de chuva, sub- áreas I e II. São Gonçalo – Pb. 1998.

SUB - ÁREA I							
Lag	Pares	Distância	Semivariâncias				
			6 horas	12 horas	18 horas	24 horas	48 horas
1	48	30,000	0,070	0,141	0,060	0,047	0,045
2	39	42,426	0,077	0,130	0,076	0,059	0,056
3	36	60,000	0,131	0,131	0,127	0,114	0,107
4	59	67,082	0,104	0,116	0,115	0,105	0,098
5	47	87,591	0,146	0,148	0,143	0,142	0,135
6	40	94,868	0,147	0,152	0,153	0,143	0,135
7	43	112,019	0,170	0,175	0,175	0,162	0,153
8	44	127,758	0,197	0,194	0,190	0,169	0,158
9	17	150,000	0,169	0,178	0,173	0,163	0,158
10	25	156,404	0,198	0,167	0,166	0,131	0,116
11	11	177,695	0,155	0,135	0,130	0,129	0,123
12	15	185,384	0,229	0,171	0,167	0,145	0,132
13	5	204,748	0,205	0,248	0,256	0,277	0,269
14	5	214,641	0,259	0,141	0,140	0,111	0,107

SUB - ÁREA II							
Lag	Pares	Distância	6 horas	12 horas	18 horas	24 horas	48 horas
1	104	30,000	0,145	0,141	0,126	0,144	0,141
2	92	42,426	0,129	0,130	0,146	0,131	0,150
3	88	60,000	0,109	0,131	0,143	0,139	0,143
4	157	67,082	0,124	0,161	0,146	0,162	0,159
5	139	87,519	0,131	0,151	0,163	0,164	0,153
6	129	94,868	0,131	0,150	0,180	0,181	0,157
7	167	112,135	0,145	0,174	0,185	0,187	0,184
8	234	128,291	0,154	0,179	0,182	0,184	0,187
9	112	150,000	0,166	0,199	0,207	0,209	0,208
10	136	156,947	0,155	0,202	0,207	0,200	0,218
11	105	174,743	0,152	0,187	0,209	0,209	0,203
12	126	187,837	0,183	0,233	0,245	0,247	0,259
13	44	203,435	0,209	0,229	0,210	0,211	0,241
14	77	214,962	0,189	0,207	0,218	0,220	0,228
15	32	231,573	0,209	0,246	0,233	0,236	0,276
16	16	245,834	0,189	0,243	0,196	0,198	0,262
17	7	258,070	0,195	0,199	0,159	0,160	0,223
18	4	276,586	0,136	0,155	0,101	0,105	0,153
19	1	296,985	0,276	0,176	0,117	0,108	0,119

Apêndice 4. Semivariâncias experimentais para profundidade do lençol freático, após evento de irrigação, sub- área II. São Gonçalo – Pb.1998.

Lag	Pares	Distância	Semivariâncias				
			6 horas	12 horas	18 horas	24 horas	48horas
1	104	30,000	0,057	0,060	0,058	0,065	0,065
2	92	42,426	0,063	0,069	0,062	0,077	0,076
3	88	60,000	0,058	0,057	0,059	0,059	0,058
4	157	67,082	0,068	0,067	0,069	0,071	0,070
5	139	87,519	0,071	0,071	0,070	0,069	0,070
6	129	94,868	0,066	0,072	0,067	0,076	0,075
7	167	112,135	0,080	0,085	0,081	0,082	0,083
8	234	128,291	0,081	0,083	0,080	0,080	0,081
9	112	150,000	0,091	0,095	0,092	0,094	0,095
10	136	156,947	0,083	0,082	0,085	0,090	0,091
11	105	174,743	0,096	0,092	0,101	0,096	0,092
12	126	187,837	0,093	0,090	0,098	0,101	0,102
13	44	203,435	0,075	0,071	0,085	0,081	0,078
14	77	214,962	0,087	0,080	0,097	0,087	0,086
15	32	231,573	0,097	0,091	0,113	0,106	0,105
16	16	245,834	0,093	0,084	0,113	0,097	0,090
17	7	258,070	0,159	0,157	0,180	0,161	0,161
18	4	276,586	0,102	0,094	0,120	0,097	0,096
19	1	296,985	0,157	0,174	0,218	0,186	0,185

Apêndice 5. Semivariâncias experimentais para condutividade elétrica da água do lençol freático- (A1e AII). São Gonçalo – Pb.1998.

SUB- ÁREA I			
Lag	Pares	Distância	Semivariâncias
1	27	30,00	41218,18
2	31	42,42	63604,77
3	22	60,00	64399,92
4	44	67,08	77397,91
5	31	87,67	83139,27
6	28	94,86	70656,05
7	31	112,36	63688,44
8	32	128,07	53902,64
9	14	150,00	144664,10
10	21	156,67	70377,07
11	7	177,82	58257,68
12	9	184,90	92073,86
13	4	205,62	91482,74
14	5	214,64	178044,30
SUB- ÁREA II			
1	100	30,00	593241,00
2	88	42,42	700542,10
3	85	60,00	625481,60
4	151	67,08	638698,60
5	134	87,50	662764,70
6	123	94,86	871755,00
7	161	112,34	742400,50
8	225	128,07	679115,40
9	108	150,00	566355,30
10	132	156,93	542963,00
11	102	174,73	570551,30
12	123	187,83	537510,50
13	43	203,48	688105,80
14	76	214,94	562267,80
15	32	213,57	876741,30
17	16	245,83	1129727,00
18	7	258,07	850799,300
18	4	276,58	1421778,00
19	1	296,98	1983395,00

Apêndice 6. Valores obtidos da condutividade hidráulica do solo para os 45 testes

Teste Nº	Profundidade (cm)	Condutividade Hidráulica K (m/dia)	Teste Nº	Profundidade (cm)	Condutividade Hidráulica K (m/dia)
1	200	0,0019	26	150	0,0257
2	200	0,0012	27	160	0,0106
3	200	0,0284	28	120	0,0405
4	200	0,0297	29	160	0,0065
5	200	0,0127	30	200	0,2020
6	200	0,0267	31	200	0,1238
7	200	0,0249	32	180	0,1207
8	200	0,2780	33	144	0,0088
9	200	3,2806	34	137	0,0003
10	200	0,0019	35	177	0,0014
11	200	0,6421	36	160	0,0443
12	182	0,0024	37	160	0,0017
13	136	0,0021	38	160	0,0518
14	136	0,0104	39	114	0,0175
15	185	0,0012	40	137	0,0012
16	155	0,1229	41	150	0,0003
17	155	0,0116	42	137	0,0632
18	160	0,0004	43	200	0,0037
19	200	0,0004	44	185	0,0018
20	200	0,0014	45	185	0,0045
21	185	0,0039			
22	200	0,0018			
23	168	0,0351			
24	168	0,0005			
25	160	0,0217			