

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
CAMPUS II - CAMPINA GRANDE**

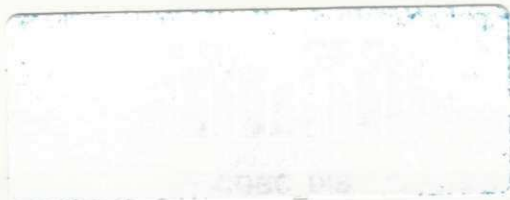
**TEMA:**

**CONFECÇÃO DAS CURVAS CARACTERÍSTICAS  
HIDRODINÂMICAS PARA POÇOS DE GRANDES  
DIÂMETROS (TIPO AMAZONAS) EM TRÊS  
ÁREAS DO SERTÃO PARAIBANO.**

**SONIAÉLI PIRES DE CARVALHO SÁ  
ORIENTANDA**

**SARMA KAMESWARA VENKATA SEEMANAPALLI  
ORIENTADOR**

**AGOSTO / 1998**



**SONIAÉLI PIRES DE CARVALHO SÁ**

**CONFECÇÃO DAS CURVAS CARACTERÍSTICAS HIDROINÂMICAS  
PARA POÇOS DE GRANDES DIÂMETROS (TIPO AMAZONAS) EM TRÊS  
ÁREAS DO SERTÃO PARAIBANO.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil do  
Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, em  
cumprimento as exigências para obtenção do grau de mestre em Ciências.

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS**

**SARMA KAMESWARA VENKATA SEEMANAPALLI**

**ORIENTADOR**

**CAMPINA GRANDE, PARAÍBA**

**AGOSTO DE 1998**



S111c Sá, Soniaéli Pires de Carvalho.  
Confecção das curvas características hidrodinâmicas para poços de grandes diâmetros (tipo Amazonas) em três áreas do sertão paraibano / Soniaéli Pires de Carvalho Sá. - Campina Grande, 1998.  
117 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1998.  
"Orientação : Prof. Dr. Seemanapalli Venkata Kameswara Sarma".  
Referências.

1. Poços - Paraíba. 2. Poços de Grandes Diâmetros. 3. Poços Amazonas. 4. Poços Tubulares. 5. Dissertação - Engenharia Civil. I. Sarma, Seemanapalli Venkata Kameswara. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

CDU 628.112(813.3)(043)

Dissertação de Mestrado aprovada em 21/08/1998

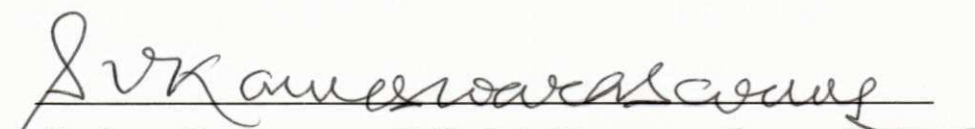
**Confecção das Curvas Características Hidrodinâmicas para Poços de Grandes**

**Diâmetros (Tipo Amazonas) em Três Áreas do Sertão Paraibano.**


**Soniaéli Pires de Carvalho Sá**


**AUTORA**

**COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:**

  
**Professor Dr. Seemanapalli Venkata Kameswara Sarma - Ph.D.**

**ORIENTADOR**

  
**Professor Dr. Hans Dieter Max Schuster – Dr. Ing**  
**EXAMINADOR**

  
**Professor Dr. Tunkur Rajarao Gopinath – Ph.D.**  
**EXAMINADOR**

**Campina Grande, Paraíba**

**Agosto de 1998**



## AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Sarma Kameswara Venkata Seemanapalli, Ph.D., Orientador e Professor da Área de Engenharia de Recursos Hídricos, pela orientação objetiva, programas computacionais, ensinamentos, ativa participação na interpretação dos resultados, e principalmente por toda compreensão pelas dificuldades que passei, sem as quais, não poderia ter sido realizado este trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Civil da UFPb, Campus II - Campina Grande e, a Coordenação da Área de Engenharia de Recursos Hídricos, representada pela Coordenadora Prof. Gledsneli Maria de Lima Lins, pelo apoio concedido e estímulo a conclusão deste empreendimento.

Aos Professores, Colegas do Curso de Mestrado, e amigos, pela atenção incentivo, e troca de conhecimentos necessários.

Ao colega Alex Neyves Mariane Alves, pelos programas computacionais utilizados nesta pesquisa.

Ao CDRM pelos trabalhos e publicações postos a nossa disposição.

Aos técnicos e funcionários do Laboratório de Hidráulica do C.C.T.- Campus II, pela capacidade demonstrada e valioso espírito comunitário.

Ao CNPq e ao CAPES, pelo apoio financeiro recebido.

A meus pais, Aurênia e Valdemiro Pires de Carvalho, a meu filho Paulo Dácio Pires de Carvalho Sá, e meu irmão Antonio Carlos Pires de Carvalho, que com paciência redobram minhas forças para conclusão deste trabalho.

E sobretudo, agradeço à Deus, pela determinação à mim fornecida, para a conclusão deste trabalho.

**DEDICATÓRIA**

A meus pais, Valdemiro  
e Aurênia e ao meu filho  
Paulo Dácio, para eles e  
por eles, com todo meu  
amor.

## HOMENAGEM PÓSTUMA

A meu esposo, Paulo  
Dácio de Sá, que partiu  
durante a execução  
deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Página
AGRADECIMENTO.....	II
DEDICATÓRIA.....	III
HOMENAGEM PÓSTUMA.....	IV
SUMÁRIO .....	V
LISTA DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE TABELAS .....	XV
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XXI
RESUMO .....	XXIII
ABSTRACT.....	XXIV

### CAPÍTULO 1

#### "INTRODUÇÃO"

1 - INTRODUÇÃO.....	1
---------------------	---

### CAPÍTULO 2

#### "REVISÃO BIBLIOGRÁFICA"

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 - Tipos de poços.....	3
2.1.1 - Retrospectiva do poço de grande diâmetro.....	3
2.2 - A realidade no Nordeste.....	4
2.3 - As pesquisas mundiais sobre poços de grandes diâmetros.....	4

2.4 - Teoria sobre o fluxo da água nos meios porosos.....	5
2.4.1 - Teoria sobre o fluxo horizontal.....	5
2.4.2 - Teoria sobre o fluxo radial.....	7
2.5 - Componentes das Perdas Totais Perdas Localizadas.....	11
2.6 - Diferenças Finitas e Elementos Finitos.....	15

### **CAPÍTULO 3**

#### **"ESTUDO DAS ÁREAS SELECIONADAS PARA A PESQUISA"**

3- ÁREAS UTILIZADAS NA PESQUISA.....	18
--------------------------------------	----

### **CAPÍTULO 4**

#### **"DADOS NECESSÁRIOS PARA A MODELAGEM"**

4 - DADOS NECESSÁRIOS PARA A MODELAGEM.....	23
4.1 - Dados técnicos do poço amazonas na Área I - Ibiara.....	23
4.2 - Dados técnicos do poço tubular raso na Área I - Ibiara.....	24
4.3 - Dados técnicos do poço amazonas na Área II - Jericó.....	26
4.4 - Dados técnicos do poço tubular raso na Área II - Jericó.....	26
4.5 - Dados técnicos do poço amazonas na Área III - Santa Cruz.....	27

### **CAPÍTULO 5**

#### **"OS MODELOS MATEMÁTICOS E PROGRAMAS UTILIZADOS"**

5 - OS MODELOS MATEMÁTICOS E PROGRAMAS UTILIZADOS.....	29
--	----

5.1 - Modelo para Simulação de Poços de Grandes	
Diâmetros (MSPGD).....	29
5.1.1 - Relação entre o fator de ajuste da permeabilidade ( $f_k$ )	
e o fator de filtro ( $f_f$ ).....	31
5.2 - Modelo para Simulação de Poços Tubulares (MSPT).....	33
5.2.1 - A simulação de dois poços numa mesma área -	
Programa MSPT.....	34
5.3 - As condições de contorno existentes nos Programas	
MSPGD e MSPT.....	35
5.4 - Programa PERDAS.....	36
5.5 - Programa ISONOVO5.....	36

## CAPÍTULO 6

### "RESULTADOS DOS MODELOS MSPGD E MSPT"

6 - RESULTADOS DOS MODELOS MSPGD E MSPT.....	37
6.1 - Calibragem do Modelo MSPGD para as três áreas de Jericó	
pesquisa: Ibiara, Jericó e Santa Cruz.....	37
6.1.1 - Calibragem para a região de Ibiara.....	38
6.1.2 - Calibragem para a região de Jericó.....	41
6.1.3 - Calibragem para a região de Santa Cruz.....	43
6.2 - Simulações realizadas no modelo MSPGD para as três	
áreas de pesquisa.....	44
6.2.1 - Dados utilizados para simulação das três áreas .....	44
6.2.2 - Resultados obtidos com a simulação das três áreas.....	48
6.2.2.1 - Resultados da simulação de Ibiara.....	48
6.2.2.2 - Resultados da simulação de Jericó.....	51

6.2.2.3 - Resultados da simulação de Santa Cruz.....	53
6.3 - Calibragem do Modelo MSPT para duas áreas de pesquisa: Ibiara e Jericó.....	56
6.3.1 - Calibragem para a região de Ibiara.....	56
6.3.2 - Calibragem para a região de Jericó.....	57
6.4 - Simulações realizadas no modelo MSPT para as áreas de pesquisa.....	59
6.4.1 - Dados utilizados nas simulações das duas áreas .....	59
6.4.2 - Resultados obtidos com a simulação das duas áreas.....	59
6.4.2.1 - Resultados da simulação de Ibiara.....	59
6.4.2.2 - Resultados da simulação de Jericó.....	60
6.5- Simulação de dois poços no modelo MSPT para as duas áreas de pesquisa: Ibiara e Jericó.....	60
6.5.1 - Dados utilizados para simulação das duas áreas .....	61
6.5.2 - Resultados obtidos com a simulação das duas áreas.....	61
6.5.2.1 - Resultados da simulação de Ibiara.....	62
6.5.2.2 - Resultados da simulação de Jericó.....	63

## CAPÍTULO 7

### "UTILIZAÇÃO DOS PROGRAMAS PERDAS E ISONOVOS"

7 - UTILIZAÇÃO DOS PROGRAMAS PERDAS E ISONOVOS.....	65
7.1 - Utilização do programa PERDAS.....	65
7.1.1 - Dados de PGD das três áreas de pesquisa: Ibiara Jericó e Santa Cruz.....	65
7.1.2 - Dados de PT das duas áreas de pesquisa: Ibiara e Jericó.....	67
7.1.3 - Resultados obtidos com o programa PERDAS	



para as três áreas de PGD pesquisadas.....	68
7.1.4 - Resultados obtidos com o programa PERDAS	
para as duas áreas de PT pesquisadas.....	72
7.2 - A utilização do programa ISONOVO5.....	73
7.2.1 - Traçado das linhas PHI para PGD e PT de duas áreas - Ibiara e Jericó.....	73
7.2.2 - Traçado das linhas PHI para dois poços tubulares, inseridos na mesma área pesquisada: Ibiara e Jericó.....	76

## CAPÍTULO 8

### "AS CURVAS CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS (CCH)"

8 - AS CURVAS CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS.....	80
8.1 - A Construção das Curvas Características Hidrodinâmicas (CCH).....	80
8.2 - A Construção das Curvas Características Hidrodinâmicas (CCH) utilizando a regressão dos pontos pertencentes as curvas.....	89
8.3 - Curvas confeccionadas para PGD, considerando o diâmetro de referência, para as três áreas pesquisadas.....	102
8.4 - Gráficos da Eficiência calculada para poço tubular em Jericó.....	104
8.5 - Aplicabilidade das Curvas Características.....	105

## CAPÍTULO 9

### "DISCUSSÃO DOS RESULTADOS"

9 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	106
9.1 - Discussão dos resultados dos modelos MSPGD e MSPT.....	106

9.2 - Discussão dos resultados dos programas PERDAS e ISONOVO5.....	107
9.3 - Discussão dos resultados das Curvas Características Hidrodinâmicas (CCH) construídas.....	108

## **CAPÍTULO 10**

### **"CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES"**

10 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	111
10.1 - Conclusões.....	111
10.2 - Recomendações.....	112

## **CAPÍTULO 11**

### **"BIBLIOGRAFIA"**

11 - BIBLIOGRAFIA.....	113
------------------------	-----

## **CAPÍTULO 12**

### **"ANEXOS"**

12 - ANEXOS.....	117
------------------	-----

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1 - Representação do Fluxo em meios porosos conforme Dupuit. (Fonte: Bear, 1979).....	7
Figura 2.2 - Fluxo Radial para um aquífero confinado horizontal. (Fonte: Freeze & Cherry, 1979).....	8
Figura 2.3 - Fluxo Radial para um poço penetrando em um aquífero não-confinado. (Fonte: Todd, 1959).....	11
Figura 2.4 - Representação esquemática das considerações de perdas.....	12
Figura 2.5 - Gráfico de Bouwer utilizado para encontrar os parâmetros de $C_f$ . (Fonte: Bouwer, 1978).....	15
Figura 2.6 - Malha de Diferenças Finitas.....	16
Figura 2.7 - Malha de Elementos Finitos.....	17
Figura 3.1 - Mapa Político do Estado da Paraíba.....	20
Figura 3.2 - Mapa das Bacias Hidrográficas do Estado da Paraíba.....	21
Figura 3.3 - Mapa das Micro-regiões Homogêneas do Estado da Paraíba.....	22
Figura 5.1 - Malha (14,16), utilizada pelo MSPGD. Quatro pontos centrais representando o poço amazonas, em Aquífero Homogêneo Não-confinado( $D_x=D_y$ ).....	30
Figura 5.2 - Esquematização da influência do Fator de Filtro ( $f_f$ ).....	32
Figura 5.3 - Malha (13,15), utilizada no MSPT. Nó central da Malha representando poço tubular, Aquífero Não-confinado Homogêneo Não-confinado( $D_x=D_y$ ).....	33
Figura 5.4 - Posição dos poços, para a simulação de dois poços na mesma área.....	34
Figura 5.5 - Malha quadrada (13,15) com Cargas Variáveis na forma	

	circular, consideração para poço tubular, observadas as condições de contorno do modelo matemático.....	35
Figura 6.1 -	Malha (14,16) com poço amazonas centralizado, caracterizando a consideração da atuação do raio de influência na malha discretizada.....	38
Figura 7.1 -	Traçado das linhas PHI para poço amazonas de calibragem de Ibiara.....	74
Figura 7.2 -	Traçado das linhas PHI para poço amazonas de calibragem de Jericó.....	74
Figura 7.3 -	Traçado das linhas PHI para PT de calibragem da Cidade Ibiara.....	75
Figura 7.4 -	Traçado das linhas PHI para PT de calibragem da Cidade Jericó.....	75
Figura 7.5 -	Traçado das linhas PHI para dois poços PT situado em mesma área na Posição 1 - Cidade Ibiara.....	76
Figura 7.6 -	Traçado das linhas PHI para dois poços PT situado em mesma área na Posição 2 - Cidade Ibiara.....	77
Figura 7.7 -	Traçado das linhas PHI para dois poços PT situado em mesma área na Posição 3 - Cidade Ibiara.....	77
Figura 7.8 -	Traçado das linhas PHI para dois poços PT situado em mesma área na Posição 1 - Cidade Jericó.....	78
Figura 7.9 -	Traçado das linhas PHI para dois poços PT situado em mesma área na Posição 2 - Cidade Jericó.....	78
Figura 7.10 -	Traçado das linhas PHI para dois poços PT situado em mesma área na Posição 3 - Cidade Jericó.....	79
Figura 8.1 -	CCH 1 para PGD de Ibiara.....	81
Figura 8.2 -	CCH 2 para PGD de Ibiara.....	82
Figura 8.3 -	CCH 3 para PGD de Ibiara.....	82

Figura 8.4 - CCH 4 para PGD de Ibiara.....	83
Figura 8.5 - CCH 5 para PGD de Ibiara.....	83
Figura 8.6 - CCH 1 para PGD de Jericó.....	84
Figura 8.7 - CCH 2 para PGD de Jericó.....	84
Figura 8.8 - CCH 3 para PGD de Jericó.....	85
Figura 8.9 - CCH 4 para PGD de Jericó.....	85
Figura 8.10 - CCH 5 para PGD de Jericó.....	86
Figura 8.11 - CCH 1 para PGD de Santa Cruz.....	86
Figura 8.12 - CCH 2 para PGD de Santa Cruz.....	87
Figura 8.13 - CCH 3 para PGD de Santa Cruz.....	87
Figura 8.14 - CCH 4 para PGD de Santa Cruz.....	88
Figura 8.15 - CCH 5 para PGD de Santa Cruz.....	88
Figura 8.16 - CCH 1 para PGD de Ibiara, inserido as linhas de tendência dos pontos.....	90
Figura 8.17 - CCH 2 para PGD de Ibiara, inserido as linhas de tendência dos pontos.....	91
Figura 8.18 - CCH 3 para PGD de Ibiara, inserido as linhas de tendência dos pontos.....	92
Figura 8.19 - CCH 4 para PGD de Ibiara, inserido as linhas de tendência dos pontos.....	93
Figura 8.20 - CCH 1 para PGD de Jericó, inserido as linhas de tendência dos pontos.....	94
Figura 8.21 - CCH 2 para PGD de Jericó, inserido as linhas de tendência dos pontos.....	95
Figura 8.22 - CCH 3 para PGD de Jericó, inserido as linhas de tendência dos pontos.....	96
Figura 8.23 - CCH 4 para PGD de Jericó, inserido as linhas de tendência dos pontos.....	97

Figura 8.24 - CCH 1 para PGD de Santa Cruz, inserido as linhas de tendência dos pontos.....	98
Figura 8.25 - CCH 2 para PGD de Santa Cruz, inserido as linhas de tendência dos pontos.....	99
Figura 8.26 - CCH 3 para PGD de Santa Cruz, inserido as linhas de tendência dos pontos.....	100
Figura 8.27 - CCH 4 para PGD de Santa Cruz, inserido as linhas de tendência dos pontos.....	101
Figura 8.28 - Gráfico Vazão vs Rebaixamento para poço de referência - Cidade Ibiara.....	102
Figura 8.29 - Gráfico Vazão vs Rebaixamento para poço de referência - Cidade Jericó.....	103
Figura 8.30 - Gráfico Vazão vs Rebaixamento para poço de referência - Cidade Santa Cruz.....	103
Figura 8.31 - Gráfico Vazão vs Eficiência para poço tubular de Jericó.....	104

## LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 3.1 - Dados Físico-Climatológicos das área de pesquisa.....	19
Tabela 4.1 - Dados de Campo para os poços da cidade de Ibiara.....	25
Tabela 4.2 - Dados de Campo para a cidade de Jericó.....	26
Tabela 4.3 - Dados de Campo para o poço cidade de Santa Cruz.....	28
Tabela 6.1 - Dimensionamento do raio de influência para as três áreas.....	37
Tabela 6.2 - Valores de raios de influência e redes que representam um poço de $\phi$ 3,00 m, e podem ser utilizadas na calibragem do MSPG para Ibiara.....	39
Tabela 6.3 - Cargas observadas na linha 13 (linha central).....	40
Tabela 6.4 - Comparação entre os rebaixamentos de campo e calibrado para a Cidade de Ibiara com rebaixamentos ( $S_c$ ) em metros.....	40
Tabela 6.5 - Valores de raios de influência e redes que representam um poço de $\phi$ 3,80 m, e podem ser utilizadas na calibragem do MSPG para Jericó.....	41
Tabela 6.6 - Comparação entre os rebaixamentos de campo e calibrado para a Cidade de Jericó com rebaixamentos ( $S_c$ ) em metros.....	42
Tabela 6.7 - Valores de raios de influência e redes que representam um poço de $\phi$ 2,00 m, e podem ser utilizadas na calibragem do MSPG para Santa Cruz.....	43
Tabela 6.8 - Cálculo das redes utilizadas nas simulações de Ibiara.....	45
Tabela 6.9 - Cálculo das redes utilizadas nas simulações de Jericó.....	45
Tabela 6.10 - Cálculo das redes utilizadas nas simulações de Santa Cruz.....	45
Tabela 6.11 - Vazões ( $m^3/h$ ) utilizadas nas simulações das três áreas de pesquisa.....	46



Tabela 6.12 - Valores de $f_k$ e correspondentes $f_f$ utilizados nas simulações de Ibiara.....	46
Tabela 6.13 - Valores de $f_k$ e correspondentes $f_f$ utilizados nas simulações de Jericó.....	47
Tabela 6.14 - Valores de $f_k$ e correspondentes $f_f$ utilizados nas simulações de Santa Cruz.....	47
Tabela 6.15 - Cargas [ $h_w$ (m) ] simuladas no MSPGD para Ibiara com vazão constante.....	48
Tabela 6.16 - Rebaixamentos [ $S_t$ (m) ] simulados no MSPGD para Ibiara com vazão constante.....	49
Tabela 6.17 - Cargas [ $h_w$ (m) ] simuladas no MSPGD para Ibiara com vazão variável.....	49
Tabela 6.18 - Rebaixamentos [ $S_t$ (m) ] simulados no MSPGD para Ibiara com vazão variável.....	50
Tabela 6.19 - Vazões ( $m^3/h$ ) simuladas no MSPGD para Ibiara resultando o mesmo rebaixamento $S_t = 0,39$ m.....	50
Tabela 6.20 - Cargas [ $h_w$ (m) ] simuladas no MSPGD para Jericó com vazão constante.....	51
Tabela 6.21 - Rebaixamentos [ $S_t$ (m) ] simulados no MSPGD para Jericó com vazão constante.....	51
Tabela 6.22 - Cargas [ $h_w$ (m) ] simuladas no MSPGD para Jericó com vazão variável.....	52
Tabela 6.23 - Rebaixamentos [ $S_t$ (m) ] simulados no MSPGD para Jericó com vazão variável.....	52
Tabela 6.24 - Vazões ( $m^3/h$ ) simulada no MSPGD para Jericó resultando o mesmo rebaixamento $S_w = 0,91$ m.....	53
Tabela 6.25 - Cargas [ $h_w$ (m) ] simuladas no MSPGD para Santa Cruz com vazão constante.....	54

Tabela 6.26 - Rebaixamentos [ $S_t$ (m) ] simulados no MSPGD para Santa Cruz com vazão constante.....	54
Tabela 6.27 - Cargas [ $hw$ (m) ] simuladas no MSPGD para Santa Cruz com vazão variável.....	55
Tabela 6.28 - Rebaixamentos [ $S_t$ (m) ] simulados no MSPGD para Santa Cruz com vazão variável.....	55
Tabela 6.29 - Vazões (m <sup>3</sup> /h) simuladas no MSPGD para Santa Cruz resultando o mesmo rebaixamento $S_t = 1,12$ m.....	56
Tabela 6.30 - Vazões (m <sup>3</sup> /h) utilizadas nas simulações de PT para Ibiara e Jericó.....	59
Tabela 6.31 - Cargas (m) obtidas das simulações de diversas vazões para PT cidade Ibiara.....	59
Tabela 6.32 - Rebaixamentos (m) obtidos das simulações de diversas vazões para PT cidade Ibiara.....	60
Tabela 6.33 - Cargas (m) obtidas das simulações de diversas vazões para PT cidade Jericó.....	60
Tabela 6.34 - Rebaixamentos (m) obtidos das simulações de diversas vazões para PT cidade Jericó.....	60
Tabela 6.35 - Cargas (m) obtidas da simulação de dois poços PT cidade Ibiara - Posição 1.....	62
Tabela 6.36 - Cargas (m) obtidas da simulação de dois poços PT cidade Ibiara - Posição 2.....	62
Tabela 6.37 - Cargas (m) obtidas da simulação de dois poços PT cidade Ibiara - Posição 3.....	63
Tabela 6.38 - Cargas (m) obtidas da simulação de dois poços PT cidade Jericó - Posição 1.....	63
Tabela 6.39 - Cargas (m) obtidas da simulação de dois poços PT cidade Jericó - Posição 2.....	64

Tabela 6.40 - Cargas (m) obtidas da simulação de dois poços PT cidade Jericó - Posição 3.....	64
Tabela 7.1 - Dados de $S_t$ x Q para poço amazonas de Ibiara.....	66
Tabela 7.2 - Dados de $S_t$ x Q para poço amazonas de Jericó.....	66
Tabela 7.3 - Dados de $S_t$ x Q para poço amazonas de Santa Cruz.....	66
Tabela 7.4 - Dados de $S_t$ x Q para poço tubular de Ibiara.....	67
Tabela 7.5 - Dados de $S_t$ x Q para poço tubular de Jericó.....	67
Tabela 7.6 - Resultado da eficiência para poço amazonas de $\phi$ 1,97 m - Ibiara.....	68
Tabela 7.7 - Resultado da eficiência para poço amazonas de $\phi$ 4,06 m - Ibiara.....	69
Tabela 7.8 - Resultado da eficiência para poço amazonas de $\phi$ 6,27 m - Ibiara.....	69
Tabela 7.9 - Resultado da eficiência para poço amazonas de $\phi$ 7,67 m - Ibiara.....	69
Tabela 7.10 - Resultado da eficiência para poço amazonas de $\phi$ 9,86 m - Ibiara.....	69
Tabela 7.11 - Resultado da eficiência para poço amazonas de $\phi$ 1,98 m - Jericó.....	70
Tabela 7.12 - Resultado da eficiência para poço amazonas de $\phi$ 3,80 m - Jericó.....	70
Tabela 7.13 - Resultado da eficiência para poço amazonas de $\phi$ 5,49 m - Jericó.....	70
Tabela 7.14 - Resultado da eficiência para poço amazonas de $\phi$ 7,06 m - Jericó.....	70
Tabela 7.15 - Resultado da eficiência para poço amazonas de $\phi$ 9,88 m - Jericó.....	71
Tabela 7.16 - Resultado da eficiência para poço amazonas de $\phi$ 2,00 m	

- Santa Cruz.....	71
Tabela 7.17 - Resultado da eficiência para poço amazonas de $\phi$ 4,13 m	
- Santa Cruz.....	71
Tabela 7.18 - Resultado da eficiência para poço amazonas de $\phi$ 5,64 m	
- Santa Cruz.....	71
Tabela 7.19 - Resultado da eficiência para poço amazonas de $\phi$ 8,86 m	
- Santa Cruz.....	72
Tabela 7.20 - Resultado da eficiência para poço amazonas de $\phi$ 12,40 m	
- Santa Cruz.....	72
Tabela 7.21 - Resultado da eficiência para PT de Ibiara.....	72
Tabela 7.22 - Resultado da eficiência para PT de Jericó.....	73
Tabela 8.1 - Origem dos dados para a construção da CCH para cada área pesquisada.....	81
Tabela 8.2 - Equações das linhas de tendência para CCH 1 de Ibiara.....	90
Tabela 8.3 - Equações das linhas de tendência para CCH 2 de Ibiara.....	91
Tabela 8.4 - Equações das linhas de tendência para CCH 3 de Ibiara.....	92
Tabela 8.5 - Equações das linhas de tendência para CCH 4 de Ibiara.....	93
Tabela 8.6 - Equações das linhas de tendência para CCH 1 de Jericó.....	94
Tabela 8.7 - Equações das linhas de tendência para CCH 2 de Jericó.....	95
Tabela 8.8 - Equações das linhas de tendência para CCH 3 de Jericó.....	96
Tabela 8.9- Equações das linhas de tendência para CCH 4 de	

Jerico.....	97
Tabela 8.10- Equações das linhas de tendência para CCH 1 de Santa Cruz.....	98
Tabela 8.11 - Equações das linhas de tendência para CCH 2 de Santa Cruz.....	99
Tabela 8.12 - Equações das linhas de tendência para CCH 3 de Santa Cruz.....	100
Tabela 8.13 - Equações das linhas de tendência para CCH 4 de Santa Cruz.....	101

## LISTA DE SÍMBOLOS

- C -** Constante de formação,  $C_f$  e do poço,  $C_p$ , dimensionais
- Índice de correlação do programa perdas, C.C., dimensional
- Coefficiente angular da equação de PERDAS, C.A., dimensional
- D -** Afastamento entre poços ou afastamento entre nós da malha usada para representação do aquífero,  $D_x$ ,  $D_y$ , m
- E -** Eficiência do poço,  $E\%$ , dimensional
- f -** Fator de ajuste da permeabilidade,  $f_k$  ou Fator de Filtro,  $f_f$ , dimensionais
- h -** Cargas hidráulicas do nível dinâmico no cone de rebaixamento,  $h_w$ ,  
Espessura da camada saturada,  $h_o$ , m
- i -** Gradiente hidráulico na equação de Darcy,  $V = K \cdot i$ , dimensional
- i . j -** As duas direções tratadas na malha do computador para representar um determinado aquífero
- K -** Permeabilidade do meio poroso do aquífero,  $K_m$ , Permeabilidade do material do poço,  $K_{material}$ , m/s
- L -** Extensão da secção filtrante,  $L$ , m
- n -** Expoente da vazão na equação da eficiência. Números de nós da malha utilizada na simulação dos dados, dimensional
- m -** Números de quadriculas utilizadas na malha de simulação

- $\pi$  - Razão entre perímetro e diâmetro do círculo, 3.14159
- PGD - Poço de grande diâmetro/ amazonas
- PT - Poço tubular
- Pz - Piezômetro ou poço de observação, Pz<sub>1</sub>, Pz<sub>2</sub>, Pz<sub>3</sub>
- Q - Vazão do poço Amazonas/tubular, m<sup>3</sup>/h , m<sup>3</sup>/dia
- Q/S - Vazão específica de um poço tubular/amazonas, m<sup>3</sup>/s/s
- R - Raio de influência do caso tratado, m , r<sub>i</sub>
- Raio do poço , m , r<sub>w</sub>
- Coefficiente de correlação das planilhas, R<sup>2</sup>, adimensional
- S - Rebaixamento no cone desenvolvido, S<sub>t</sub> , m
- Perda no poço, S<sub>p</sub>, Perda de formação, S<sub>f</sub> , Perda total (rebaixamento), S<sub>t</sub> , m
- Coefficiente de armazenamento, m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, S ,adimensional
- T - Transmissividade do aquífero, produto da permeabilidade e espessura do aquífero, m<sup>2</sup>/s
- $\phi$  - Diâmetro do poço, m
- $\Delta x$  - Dimensão da malha de diferenças finitas, horizontal
- $\Delta y$  - Dimensão da malha de diferenças finitas, Vertical



## RESUMO

A necessidade desta dissertação surgiu devido a popularidade dos Poços de Grandes Diâmetros, melhor chamado como Poços Amazonas no semi-árido mundial.

Este trabalho, foi realizado utilizando-se dados realísticos de campo de poços de grandes diâmetros e poços tubulares, localizados em três áreas do sertão paraibano - Ibiara, Jericó e Santa Cruz, para confeccionar "Curvas Características Hidrodinâmicas", que envolvem: Vazão(Q), Rebaixamento( $S_r$ ), Diâmetro ( $\phi$ ) e Eficiência do Poço(E%) e o Fator de Filtro ( $f_r$ ) .

Para este fim, foram desenvolvidos e utilizados modelos matemáticos de simulação de Poços de Grandes Diâmetros e Poços Tubulares, na calibração e simulação dos dados. Foi inserido no Modelo para Simulação de Poços de Grandes Diâmetros, o conceito de Fator de Filtro( $f_r$ ) que é função do material de construção do poço amazonas: tijolos e argamassa. A partir disto, foram elaboradas tabelas que serviram de dados para a confecção das Curvas. Também foram plotadas as curvas de isolineas equipotenciais (com as cargas hidráulicas obtidas nos nós da malha simulada) (PHI ( $\phi$ )), apenas como demonstração, não sendo aprofundada neste aspecto.

Obtidas as Curvas Características, foi utilizada a interpolação para encontrar a equação de regressão dos pontos, de forma que resultou não só nas curvas, mas na equação que caracteriza a exploração do poço de grande diâmetro nas áreas de pesquisa.

Estas informações poderão ser utilizadas por agrônomos ou agricultores, destas áreas pesquisadas, para encontrar o diâmetro correto do poço Amazonas, a ser escavado num determinado local, visto a necessidade de vazão para a localidade requerida, sem causar danos nem ao aquífero nem ao poço de produção, assim se restringindo os rebaixamentos dentro do limites aceitáveis.

## ABSTRACT

The necessity of this thesis arose because of the fact that Large Diameter Wells - otherwise called Amazons Wells - are becoming more and more popular in all over the semi-arid world.

This work was realized using the realistic field data on large diameter and tubular wells, located in the interior of Paraíba State namely at Ibiara, Jericó and Santa Cruz in order to construct "Hydrodynamic Characteristic Curves" that involve: Discharge (Q), Drawdown ( $S_t$ ), Diameter ( $\phi$ ) and Efficiency of Wells (E %) and Filter Factor ( $f_f$ ).

With this in view, simulation models were developed and utilized for Large Diameter Wells and Tubular wells, in the calibration and simulation of the data. In the Large Diameter Wells mathematical simulation model is inserted the Concept of Filter Factor ( $f_f$ ) which is a function of the construction material of Amazons Wells, namely bricks and cement mortar. From then onwards, tables were prepared which serve for constructing such curves. Further, the equipotential (curves were plotted with the hydraulic heads obtained at the respective nodes of the simulated network) ( $\text{PHI}(\phi)$ ), to serve as an example.

Once such characteristic curves were obtained, the interpolation was used to obtain the regression equation for the points in question, in such a form as to result in not only obtaining curves but also in the respective equations that describe these curves to facilitate exploration of Large Diameter Wells in the study areas.

This information may be utilized by agronomers or agriculturists of the respective areas of study, to arrive at the correct diameter to be adopted for the Amazons wells in the given locality, as per the well discharge needed in the given locality, without causing prejudice, neither for the aquifer, nor to the production well, thus restricting the drawdown in the well within the acceptable limits.

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUÇÃO**

## 1 - INTRODUÇÃO

O Nordeste brasileiro possui uma área de 1.640.000 km<sup>2</sup>, abrangendo nove estados, registrando-se climas que vão desde o super-úmido ao semi-árido (Silva, 1982).

O Trópico Semi-árido (TSA) brasileiro corresponde a cerca de 75% do nordeste e compreende os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, a região setentrional do Estado de Minas Gerais (vértice meridional do "Polígono das Secas") e a Ilha de Fernando de Noronha (PE).

O sertão nordestino de característica semi-árida, foi amplamente pesquisado principalmente pela SUDENE (Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste) e DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas) no que se refere a poços e construção de açudes, que servissem de reserva durante o período de secas, porém os altos índices de evaporação, ocasiona grandes perdas da água acumulada superficialmente, necessitando desta forma de grandes obras, que são também onerosas.

Apesar do conhecimento público da existência de água subterrânea local, a exploração, deste recurso hídrico, pode ser considerada de forma tímida, devendo ser ampliada para a melhoria das condições de vida da população existente nessa região.

Observando essas informações, procuramos elaborar um trabalho que pudesse auxiliar na exploração da água subterrânea existente nessa área, estimulando desta forma a exploração de poços de grandes diâmetros (PGD), mais conhecidos como amazonas ou cacimba, por apresentarem as seguintes características:

- Custo de construção de poços geralmente menor que o custo das obras de captação de água superficial, tais como represas, diques e estações de tratamento;
- Na maioria das vezes, sua qualidade é adequada ao consumo humano, sem a necessidade de tratamento salvo em casos de contaminação natural e/ou artificial;
- É uma alternativa de abastecimento muito conveniente no caso de pequenas e médias populações urbanas ou em comunidades rurais.

Desta forma, procuramos pesquisar sobre a exploração de poços de grandes diâmetros (tipo amazonas) em três áreas do Sertão Paraibano, áreas localizadas nas cidades de Ibiara, Jericó e Santa Cruz - PB (detalhes em capítulos posteriores).

Para este fim convencionamos confeccionar para os poços de grandes diâmetros, pesquisados para as três áreas, o que denominamos de Curvas Características Hidrodinâmicas (CCH), as quais foram classificadas da seguinte forma:

- a) CCH 1 - Curva diâmetro vs vazão, para um dado rebaixamento (consideração do fator  $f$ );
- b) CCH 2 - Curva diâmetro vs rebaixamento, para cada vazão (consideração do fator de filtro);
- c) CCH 3 - Curva diâmetro vs rebaixamento , para várias vazões: a real , vazões inferior simulada e vazões superior simulada.
- d) CCH 4 - Curva fator de filtro vs rebaixamento , para vários diâmetros possíveis.
- e) CCH 5 - Curva diâmetro vs eficiência do poço;

Nas curvas mencionadas acima podemos encontrar o fator de filtro, que é um fator relacionado com o material de construção do poço amazonas, desta forma, pôr tratar-se de um conceito novo será explicado em capítulos posteriores.

## **CAPÍTULO 2**

# **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

## 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1- Tipos de poços

Para utilizar as águas subterrâneas, o homem dispõe de fontes ou mananciais (de onde a água brota espontaneamente) e, principalmente, de poços que são perfurados. Os tipos de poços mais comuns são:

Poços escavados: apresentam grandes diâmetros com profundidades geralmente inferiores a 25 metros e normalmente revestidos com cimento, ladrilhos ou pedras. A água é geralmente extraída com baldes, bombas de pequena potência e cataventos.

Poços tubulares: apresentam pequenos diâmetros e profundidades que variam de dezenas a centenas de metros, muitas vezes revestidos com tubos intercalados com filtros. A água é geralmente extraída com bombas elétricas e compressores. São denominados de poços artesianos quando exploram aquíferos confinados.

#### 2.1.1 - Retrospectiva do poço de grande diâmetro

Desde tempos antigos, o homem vem usando os poços de grande diâmetro, seja numa forma primitiva, aproveitando na maioria das vezes a parte freática ou às vezes até a camada confinada. Estes poços continuam sendo fontes primárias da água subterrânea.

Poços de grande diâmetro (tipo amazonas) estão sendo usados extensivamente em várias partes do mundo para fins domésticos e agro-pecuários. A simplicidade e baixo custo da construção e operação destes poços, são as bases primeiras para o emprego dessa técnica. A mais importante vantagem é que o poço amazonas é adequado e apropriado para aquíferos de baixa transmissibilidade, devido a que após cessação de extração da água, a água subterrânea tende recuperar no poço com rapidez.



O manejo eficiente e desenvolvimento de tais poços em áreas rurais exigem todavia, um conhecimento profundo e amplo dos fatores físicos que governam a hidráulica e hidrologia dos poços, para a otimização do uso dos recursos subsuperficiais.

## 2.2 - A realidade do Nordeste

As perspectivas de aproveitamento da água subterrânea do Nordeste datam do século passado, quando estudiosos sugeriram a construção de poços, como meio de combate ao fenômeno das seca (Egito, 1989).

A partir de 1919, com a criação do IFOCS (atual DNOCS), intensificou-se o programa de construção de poços tubulares, com ênfase especial, para as regiões cristalinas mais pobres em recursos hídricos superficiais.

Já em 1959, com a criação da SUDENE, novo impulso e amplas perspectivas eram abertas sobre a captação e uso das reservas hídricas profundas, implementando bases mais consistentes, acerca do aproveitamento sistemático desse recurso. Além das pesquisas básicas desenvolvidas, procurou-se, somar os esforços de outros órgãos, firmando-se convênios ou então, capacitando-se bancos oficiais e privados a repassarem recursos, mediante contratos de financiamento para construção de poços particulares.

## 2.3 - As pesquisas mundiais sobre poços de grandes diâmetros

Papadopulos e Cooper (1967), analisando os poços de grande diâmetro, disseram que a determinação da transmissibilidade não é tão sensível, quer dizer, não oferece resposta imediata ao impulso. De acordo com eles, o armazenamento acompanha a curva Tempo vs Rebaixamento até  $T = 25 r_w^2 / t$ , onde  $r_w$  é o raio do poço de bombeamento,  $T$  a transmissividade do aquífero e  $t$  o tempo de bombeamento.

Rushton e Holt (1981), usaram métodos numéricos para analisar o fluxo em poços de grande diâmetro.

Podemos citar vários pesquisadores que mais se destacaram nesta área do conhecimento (poços amazonas) e tiveram seus trabalhos publicados na Revista Ground Water, e que tem relação direta com os assuntos discutidos neste trabalho: Patel & Mishra(1983), Mishra & Chachadi(1986) e Chachadi & Mishra(1992). Além desta revista podemos citar a Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS) com Sarma e Silva(1987) entre outros.

Muitos pesquisadores contribuíram para o desenvolvimento das teorias ligadas ao estudo de poços de grande diâmetro, entretanto as maiores pesquisas sobre este tipo de poço são encontradas em publicações dos Estados Unidos, já que no Brasil foram poucas as pesquisas nessa área, a maioria dos estudos sobre poços no Brasil são de poços do tipo tubular.

## **2.4 - Teoria sobre o fluxo da água nos meios porosos**

### **2.4.1 - Teoria sobre o fluxo horizontal**

Em aquíferos freáticos a água é armazenada em espaços vazios, isto é, naquela porção do espaço vazio já não ocupada por água e em que o ar pode ser substituído. Pela definição, o armazenamento do aquífero,  $S$ , é o volume de água adicionado por água unitária horizontal do aquífero por ascensão unitária na elevação do lençol freático. Sobre uma área  $A$ , o volume  $V$  armazenado no aquífero causará uma elevação no lençol freático de  $\Delta h$ . Assim:

$$V = S \cdot A \cdot \Delta h \quad (2.1)$$

No entanto, para achar o fluxo num aquífero não-confinado horizontal, a solução direta analítica usando a equação de Laplace não é possível, a dificuldade é que a linha

freática em duas dimensões representa uma linha de fluxo. Para fluxo unidimensional a vazão para largura unitária  $q$  em qualquer solução vertical é dada por (Todd, 1959):

$$q = -Kh \frac{dh}{dx} \quad (2.2)$$

onde  $K$  é a permeabilidade hidráulica,  $h$  é a altura da linha freática acima da base impermeável e  $x$  é a direção do fluxo. Integrando,

$$qx = -\frac{K}{2} h^2 + C \quad (2.3)$$

e, se  $h = h_0$  com  $x=0$  a equação resultante será a equação de Dupuit. A curva de Dupuit é parabólica.

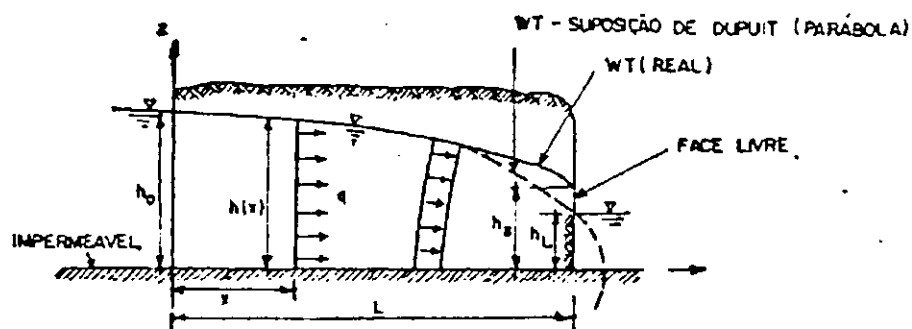


Figura 2.1 - Representação do Fluxo em meios porosos conforme Dupuit.

(Fonte: Bear, 1979)

$$q = \frac{K}{2x} (h_0^2 - h^2) \quad (2.4)$$

Para as distâncias  $x > 1.5$  a 2 vezes a altura de domínio do fluxo, a solução baseada na suposição de Dupuit é suficientemente precisa para a maior parte dos cálculos encontrados normalmente (Fig. 2.1).

## 2.4.2 - Teoria sobre o fluxo radial

### Fluxo Radial em um aquífero confinado

Supondo que um poço está sendo bombeado com uma vazão constante  $Q$ , e com carga constante, como a condição de contorno. O rebaixamento da carga hidráulica  $h$  têm a mesma distribuição em qualquer seção vertical pelo eixo do poço. Isto significa que o fluxo têm simetria radial (isto é, é independente do ângulo em coordenadas polares) e que a carga deve ser constante ao longo do perímetro de qualquer círculo que esteja concêntrico com o poço. Atualmente, tais exigências são atendidos por um poço que esteja centrada numa ilha circular e penetrando num aquífero homogêneo e isotrópico. Se penetração completa do aquífero pelo poço é suposto, então o fluxo é paralela totalmente na rocha sã' e segue as linhas de fluxo numa direção oposta ao raios  $r$ , emanando do centro do poço, tomado como uma região de coordenadas planas e polares (Figura 2.2). Assim,  $Q$  será igual a taxa do fluxo através de um cilindro com um raio  $r$  e um altura  $b$ , espessura do aquífero, tal que a diferença  $H - h$  entre a elevação da superfície inicial piezométrica e a elevação deste superfície após de  $Q$  seja bombeado é chamado 'rebaixamento', amplamente designada pelo símbolo  $S_r$ . A medida que nosso interesse fica no rebaixamento, ao invés do valor absoluto de  $H$ , e a medida que o aquífero é confinado, nenhuma atenção especial tem sido dado ao nível de referência ou datum. O produto  $K \cdot b = T$  é chamado a transmissividade do aquífero, o qual têm as dimensões de  $(L^2/T)$ .

A equação parcial diferencial que descreve fluxo saturado bidimensional:  $(x,y)$  num aquífero confinado com transmissividade  $T$  e armazenamento  $S$ , foi desenvolvido a partir das Equações de Laplace, e tem o seguinte formato :

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.5)$$

Uma vez que os rebaixamentos próximos ao poço possuam simetria radial num sistema ideal, é vantajoso converter equação 2.5 na forma de coordenada radiais. A

conversão é feita usando a relação  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$  e a equação torna-se Jacob apud Freeze & Cherry (1979, p.316)

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.6)$$

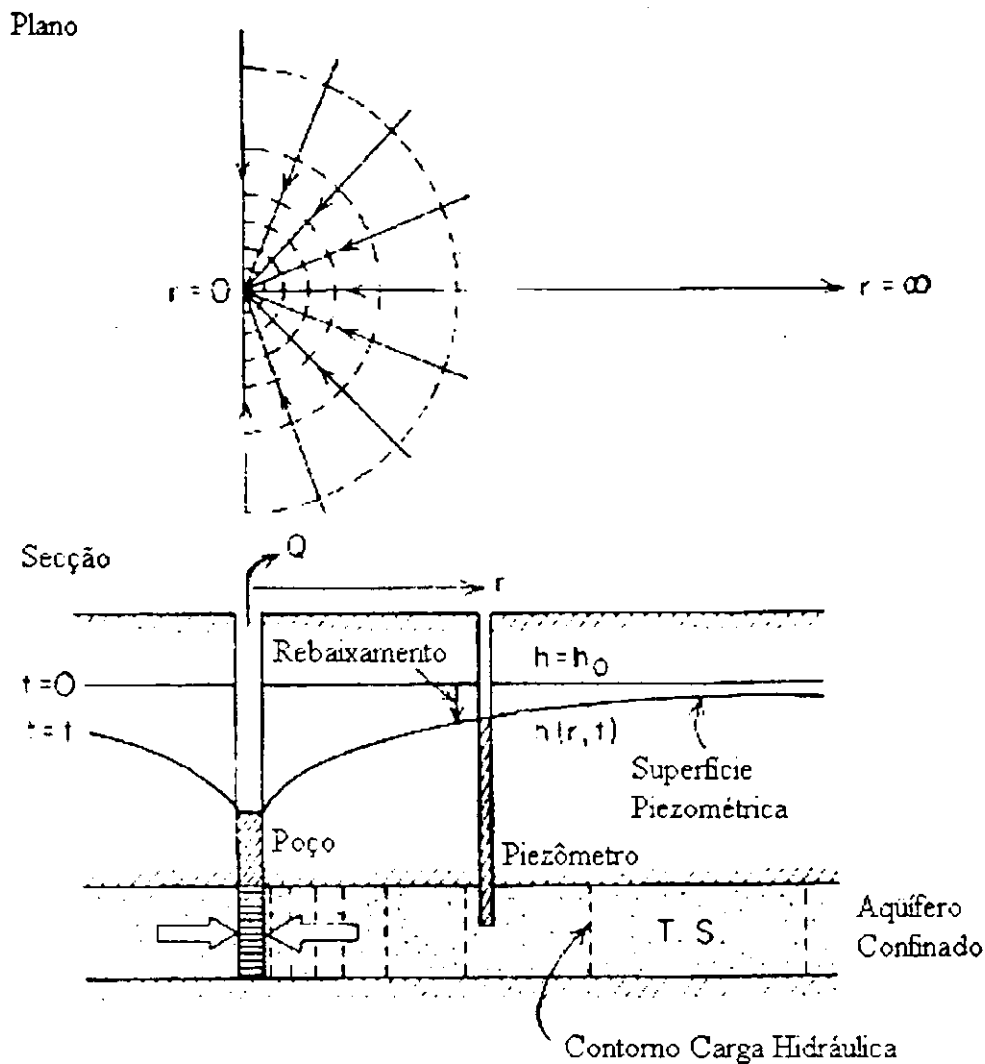


Figura 2.2 – Fluxo Radial em um poço para um aquífero confinado horizontal.

(Fonte: Freeze & Cherry, 1979)

O fluxo regional matematicamente foi ilustrado num visto de plano na figura 2.2, e é horizontal na forma de linha reta unidimensional, ao longo do aquífero e  $r=0$  no poço até  $r=$  infinito na extremidade, como foi mostrada na figura 2.2.

Desta forma condição inicial é

$$h(r,0) = h_0 \quad \text{para todo } r \quad (2.7)$$

onde  $h_0$  é a carga hidráulica inicial constante.

A condição de contorno supõe que não ocorre rebaixamento da carga hidráulica na margem infinita:

$$h(\infty, t) = h_0 \quad \text{para todo } t \quad (2.8)$$

e a taxa constante de bombeamento  $Q$  ( $L^3/T$ ) no poço:

$$\lim_{r \rightarrow 0} \left( r \frac{\partial h}{\partial r} \right) = \frac{Q}{2\pi T} \quad \text{para } t > 0 \quad (2.9)$$

A condição 2.9 é o resultado da aplicação direta da lei de Darcy na face do poço.

A solução  $h(r,t)$  descreve a carga hidráulica numa distância radial  $r$  num tempo qualquer após início do bombeamento. As soluções geralmente serão apresentadas em termos de carga hidráulica ( $h_0 - h(r, t)$ ). Reagrupando e integrando dentro dos limites do poço  $h = h_w$  e  $r = r_w$  e no extremo,  $h = h_0$  e  $r = r_0$ , tem-se:

$$h_0 - h_w = \frac{Q}{2\pi Kb} \ln \frac{r_0}{r_w} \quad (2.10)$$

ou

$$Q = 2\pi Kb \frac{h - h_w}{\ln(r_0/r_w)} \quad (2.11)$$

No caso mais geral de um poço que penetre um aquífero confinado, extenso como na Fig 2.2, não existe limite externo para  $r$ . Da dedução acima (Todd, 1959), para qualquer valor de  $r$ , teremos:

$$Q = 2\pi Kb \frac{h - h_w}{\ln(r/r_w)} \quad (2.12)$$

sendo conhecida como a equação de equilíbrio, ou de Thiem, podendo através de dois pontos determinar a permeabilidade de um aquífero. O coeficiente de permeabilidade é dado por:

$$K = \frac{Q}{2\pi b(h_2 - h_1)} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (2.13)$$

### Fluxo radial em um aquífero não-confinado

A equação para fluxo radial sob condições permanentes num poço colocado num aquífero não-confinado pode ser desenvolvida com as suposições de Dupuit. Como é mostrado na Fig. 2.3, o poço penetra completamente no aquífero e na margem do raio de influência a carga hidráulica permanece constante. A vazão do poço é

$$Q = -2\pi rKh \frac{dh}{dr} \quad (2.14)$$

a qual, quando integrada entre os limites  $h = h_w$  a  $r = r_w$  e  $h = h_0$  a  $r = r_0$  resultará

$$Q = \pi K \frac{h_0^2 - h_w^2}{\ln(r_0/r_w)} \quad (2.15)$$

Convertendo as cargas e raios a dois poços de observação (ver Fig. 2.3)

$$Q = \pi K \frac{h_2^2 - h_1^2}{\ln(r_2/r_1)} \quad (2.16)$$

e reorganizando para encontrar a expressão para K, condutividade hidráulica

$$K = \frac{Q}{\pi(h_2^2 - h_1^2)} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (2.17)$$

Essa equação porém, não é suficientemente precisa para descrever a curva de rebaixamento próximo ao poço uma vez que os componentes do fluxo contradizem as suposições de Dupuit. Porém, as estimativas de condutividade hidráulica para determinadas

cargas são razoavelmente aceitáveis. Na prática, os rebaixamentos devem ser pequenos em relação a espessura saturada do aquífero não-confinado.

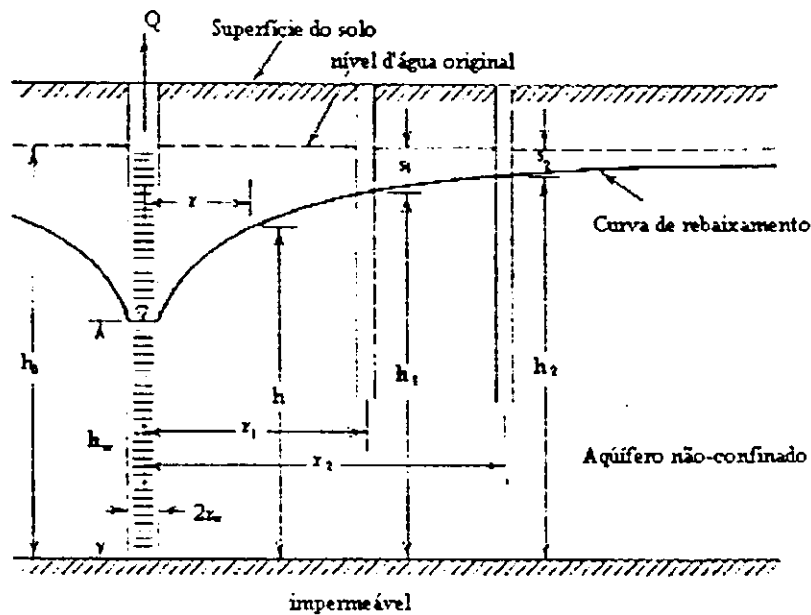


Figura 2.3 – Fluxo radial para um poço penetrando em um aquífero não-confinado.  
(Fonte: Todd, 1959)

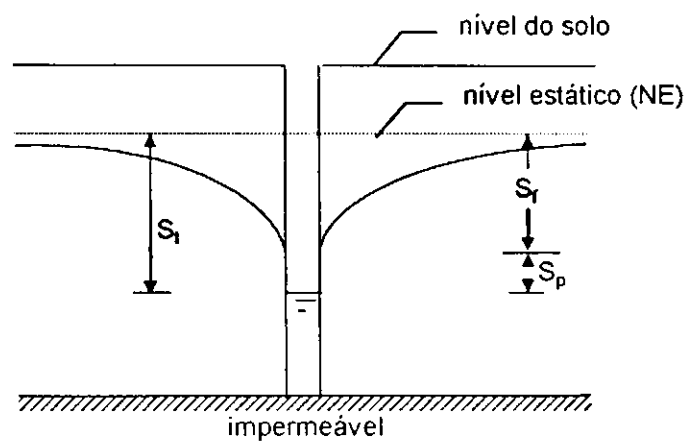
## 2.5 - Componentes das Perdas Totais - Perdas Localizadas

Para determinar a carga total a ser bombeada por um poço, a distância  $S_t$  entre a superfície piezométrica estática ou a superfície freática d'água e o nível de água no poço (Fig. 2.4) devem ser conhecidos. O valor de  $S_t$  normalmente é tratado como soma do rebaixamento  $S_r$  do aquífero ao poço, quando água move-se no poço pela zona desenvolvida ou a zona de cascalhos que engloba o filtro, e a perda da carga  $S_p$  ocorrido nas aberturas no poço. A perda  $S_r$  é chamado perda de formação porque esta perda ocorre no aquífero, enquanto  $S_p$  é chamado perda no poço (Bouwer, 1978).

$$S_t = S_r + S_p \quad (2.18)$$



Já que o fluxo no aquífero é laminar,  $S_f$  varia linearmente com  $Q$ . Porém  $S_f$  também varia com o tempo, mas se bombeamento é continuado por um tempo longo tal que  $S_f$  varia somente por um pequeno valor, o  $S_f$  'final' será diretamente proporcional à uma taxa de bombeamento (ignorando o efeito do rebaixamento sobre a transmissividade, se o aquífero não for confinado). O fluxo no filtro de cascalhos ou zona desenvolvida fora da parte desenvolvida do poço e pelo filtro ou outras aberturas na parte desenvolvida, bem como o fluxo no interior do poço, todavia, será usualmente turbulento.



**Figura 2.4 – Representação esquemática das considerações de Perdas.**

Portanto, pode se esperar que  $S_p$  varia com alguma potência de  $Q$ , e a perda total da carga  $S_t$  pode ser expresso como:

$$S_t = C_f \cdot Q + C_p \cdot Q^n \quad (2.19)$$

onde  $C_f$  é a constante de formação relacionando  $Q$  ao  $S_f$ ,  $C_p$  sendo a constante da perda do poço relacionando  $Q^n$  a  $S_p$ , e  $n$  é o expoente atribuindo a turbulência.

Jacob apud Bouwer(1978, p.83) sugeriu que  $n=2$ , enquanto Rorabaugh apud Bouwer(1978, p.83) concluiu que um valor de 2.5 deve ser mais apropriado. Em testes atuais, Lennox apud Bouwer(1978, p.83) encontrou valores de  $n$  tão altos quanto 3.5. Valores de  $n$  menores que 2 podem também ocorrer, por exemplo, se  $Q$  é relativamente baixo e a turbulência total não tem se desenvolvido no fluxo de entrada dos poços. Para valores muito baixos de  $Q$ , o fluxo pode também ser laminar pelo sistema inteiramente, em

qual caso  $C_p$  será zero. O valor de  $C_f$  poderia ser calculado de uma das equações de fluxo radial nos poços.

A melhor maneira pelo qual se determina  $C_f$ ,  $C_p$ , e  $n$  para um dado poço é pela experiência. Isto pode ser feito com o teste de rebaixamentos por degraus, onde  $S_t$  pode ser medido para valores sucessivos de aumento de  $Q$ . O poço é bombeado num certo  $Q$  até  $S_t$  muda relativamente pouco  $Q$  é então aumentado e  $S_t$  é medido depois do mesmo intervalo de tempo usado para isto, a primeira taxa de fluxo. O processo é repetido até que  $S_t$  seja conhecido para quatro ou cinco valores diferentes de  $Q$ . A profundidade do nível da água no poço durante bombeamento é usualmente medida com a técnica de bolhas no tubo de ar.

Jacob apud Bouwer(1978, p.83) desenvolveu equações para avaliar  $C_f$  e  $C_p$  a partir dos incrementos em  $S_t$  devido a um aumento em  $Q$ , assumindo  $n=2$ .

Rorabaugh apud Bouwer(1978, p.83) sugeriu um procedimento gráfico, onde  $n$  é avaliado dos resultados de teste em si mesmo, como são  $C_f$  e  $C_p$ . Para este propósito, Eq. (2.19) é escrito como:

$$S_t/Q - C_f = C_p \cdot Q^{n-1} \quad (2.20)$$

Considerando o logaritmo em ambos os lados, esta equação torna-se:

$$\log(S_t/Q - C_f) = \log C_p + (n-1) \log Q \quad (2.21)$$

o que mostra que um gráfico de  $S_t/Q - C_f$  versus  $Q$  em papel bi-logaritmico deve fornecer uma linha reta com declividade de  $n-1$  e com intercepto de  $C_p$  quando  $S_t/Q - C_f = 1$ . Uma vez que  $C_f$  não é conhecido, tal gráfico não pode ser construído. O procedimento então consiste em atribuir valores diferentes de  $C_f$  e plotando  $S_t/Q - C_f$  versus  $Q$ , no papel bi-logaritmico, até que uma linha reta seja obtida. Geralmente, o primeiro valor de  $C_f$  é tomado como sendo zero, que nos dá uma curva côncava como mostrado na Fig. 2.5. Então,  $C_f$  é sucessivamente aumentado até que uma linha reta é obtida (se  $C_f$  é muito grande, então uma curva côncava no outro lado da linha reta é obtida, ver figura 2.5. A declividade da linha reta é igual a  $n-1$ , que fornece  $n$  para avaliar  $C_p$ , a linha poderá ser estendida até que  $S_t/Q - C_f = 1$  ou  $C_p$  pode ser calculado pela substituição de  $C_f$ ,  $n$ , e uma certa combinação do  $S_t$

medido e  $Q$  em Eq.(2.19). Baseado nestes dados,  $Q/S_1 - C_f$  é plotado vs  $Q$  em papel bi-logaritmico primeiramente tomando  $C_f = 0$  e depois valores maiores para  $C_f$ , até que uma linha reta for obtida.

Como mostrado em Fig. 2.5, este é o caso, se  $C_f$  é igual a 0.004. A declividade da linha resultante é 1.3, que significa que  $n=2.3$ . Tratando com uma combinação arbitrária de  $Q$  e  $S_1$  (como exemplo,  $4000\text{m}^3/\text{dia}$  e  $29.48\text{ m}$ ) e substituindo estes valores junto com  $n=2.3$  e  $C_f=0.004$  na Eq. (2.19), o valor de  $C_p$  será  $7.10^{-8}$ . Usando estes valores de  $C_f$ ,  $C_p$  e  $n$ , as perdas de formação e as perdas do poço para valores de  $Q$  neste exemplo são calculados como:

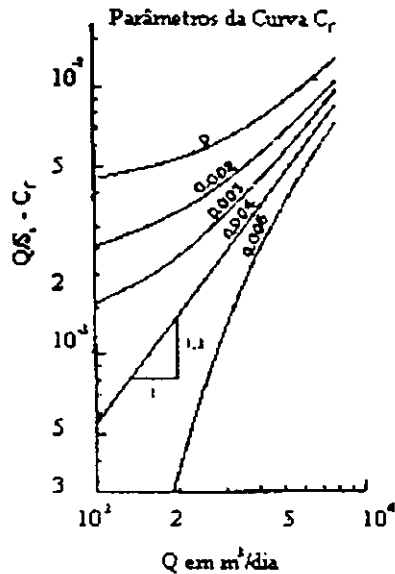


Figura 2.5 – Gráfico de Bouwer utilizado para encontrar os parâmetros de  $C_f$ .

(Fonte: Bouwer, 1978).

Devido ao fato que as perdas do poço variam com  $Q$  elevado a uma potência de 2 a  $S_p$  aumenta rapidamente com aumento em  $Q$  até altos valores de  $Q$ , a maioria dos valores  $S_1$  pode consistir de perdas em poços. Isso mostra a importância de construir poços com raios apropriados, onde a área das aberturas sejam suficientes e raio  $r_w$  adequado para obter as perdas mínimas nos poços. Enquanto  $r_w$  tem um efeito muito pequeno sobre a taxa de formação, isto tem um efeito muito significativo em perdas de entrada de poços,  $S_p$ , onde uma grande  $r_w$  resultará em baixas velocidades de entrada. A medida que  $S_p$  varia

com a n-ésima potência da velocidade da entrada, uma redução considerável em  $S_p$  pode acontecer devido ao aumento no valor de  $r_w$ . Por exemplo, dobrando  $r_w$  vai reduzir a velocidade de entrada por 50%, o que reduz as perdas de entrada por 75%, se o valor  $n$  for 2, e por 87.5% se for 3.

A informação a respeito da relação entre  $Q$  e  $S_t$  de um dado poço é importante para selecionar a bomba ótima e o rebaixamento máximo no aquífero. As perdas excessivas dos poços indicam um projeto e construção de poços da baixa qualidade, baixo desenvolvimento do poço, ou deterioração do filtro. O valor do  $C_f$  obtido pelo teste pode ser usado na estimativa do valor de  $T$  do aquífero, usando a equação apropriada do fluxo de poço, relacionando  $S_p$  com  $Q$ .

Após o cálculo da perdas localizadas é possível encontrar, o que se denomina de rendimento do poço  $E(\%)$ , que é definida como a razão entre perda de formação e a perda total do poço, expresso sob a forma de porcentagem, assim:

$$E \% = ( S_f / S_t ) \cdot 100 \quad (2.22)$$

Esta equação de eficiência do poço será utilizada para calcularmos os poços a serem pesquisados neste trabalho.

## 2.6 – Diferenças Finitas e Elementos Finitos

Entre os métodos numéricos mais usados atualmente para se resolver equações diferenciais, diferenças finitas é o mais antigo, o mais divulgado, e provavelmente o mais bem entendido pelos engenheiros em geral (Cirillo & Cabral, 1987).

Geralmente, neste método, a região é aproximada de uma malha uniformemente espaçadas de nós. Os espaços quase sempre são constantes em cada eixo, embora possam variar de um eixo para outro.

Em cada nó, cada derivada da expressão matemática do problema é aproximada por uma expressão algébrica com referência aos nós adjacentes.

Em cada nó, cada derivada da expressão algébrica utilizada para representar a variação em cada eixo pode ser do tipo diferença progressiva ( a derivada é calculada usando um ponto em estudo e um ponto à frente), diferença regressiva (usa o ponto em estudo e um ponto à frente), e diferença central(usa um ponto na metade do intervalo à frente e outro na metade do intervalo atrás).

$$\left. \frac{dh}{dx} \right|_i \approx \frac{h_{i+1} - h_i}{\Delta x} \quad \text{Diferença Progressiva} \quad (2.23)$$

$$\left. \frac{dh}{dx} \right|_i \approx \frac{h_i - h_{i-1}}{\Delta x} \quad \text{Diferença Regressiva} \quad (2.24)$$

$$\left. \frac{dh}{dx} \right|_i \approx \frac{h_{i+1/2} - h_{i-1/2}}{\Delta x} \quad \text{Diferença Central} \quad (2.25)$$

De acordo com a posição onde se colocam os pontos a serem utilizados na análise numérica, a malha pode ser centrada no meio da célula ou centrada nas esquinas das células.

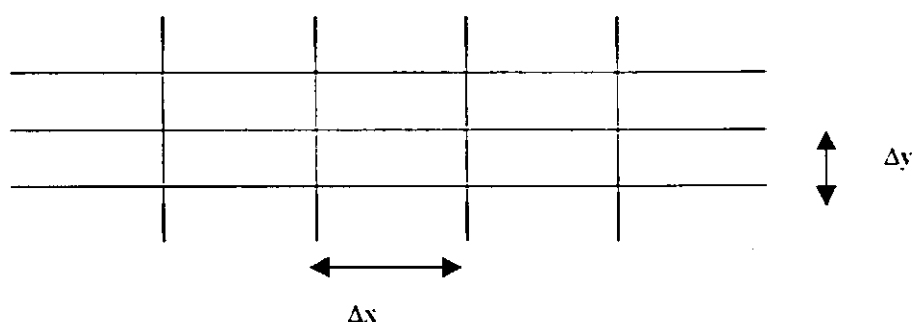
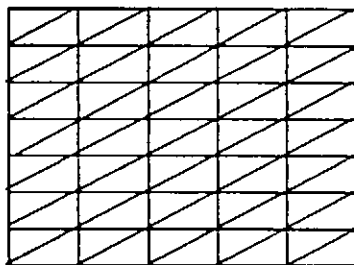


Figura 2.6 - Malha de Diferenças Finitas

Na prática, em relação ao estudo de água subterrânea, a malha centrada no meio da célula é geralmente preferida porque a programação pode ser feita de maneira mais eficiente(Kinzelbach, 1986). Além disso, a conceituação física fica melhor representada quando se usa o nó do meio para quantificar as características médias de cada quadricula.

Já o método dos elementos finitos (MEF) consiste em se dividir a região que está sendo estudada num certo número número de pequenos elementos (não infinitesimais) que são conectados a um conjunto de nós, geralmente colocados nos vértices ou nas arestas dos elementos.



**Figura 2.7 – Malha de Elementos Finitos**

No caso unidimensional, estes elementos são segmentos; no caso bidimensional, os elementos podem ter a forma de qualquer tipo de polígono, embora o mais difundido seja o elemento triangular; no caso tridimensional pode ser usado qualquer tipo de poliedro.

Na figura 2.7 foram utilizados elementos triangulares, dentro de cada elemento, a variável depende, geralmente a carga hidráulica, é aproximada por uma função de interpolação que pode ser de diversos tipos, sendo que os mais usados são de funções lineares ou quadráticas. Esta função de interpolação é definida em relação aos valores que a carga hidráulica assume nos nós associados com cada elemento.

O problema original é então transformado numa integração onde todos os elementos são combinado, formando-se um sistema de equações onde as incógnitas são os valores de carga hidráulica nos nós.

A formulação composta por integrais, característica do MEF, pode ser obtida através de cálculos variacionais ou através do método de resíduos ponderados.

Apesar de se poder chegar à mesma equação final por qualquer dos métodos, geralmente no caso de água subterrânea e de outros problemas do tipo da teoria do potencial, tem-se utilizado mais o método dos resíduos ponderados

## **CAPÍTULO 3**

### **ESTUDO DAS ÁREAS SELECIONADAS PARA A PESQUISA**

### 3 - ÁREAS UTILIZADAS NA PESQUISA

Para a realização deste trabalho, foram selecionados poços localizados em três áreas, todas pertencentes ao semi-árido paraibano, nas cidades de Ibiara, Jericó e Santa Cruz. A escolha dessas áreas ocorreu ao acaso, conforme relatórios cedidos pela CDRM-PB (Companhia de Desenvolvimento dos Recursos Minerais da Paraíba) com os dados de campo necessários para a realização da pesquisa, relatórios estes das cidades já mencionadas.

Os dados da CDRM foram considerados consistentes, devido ao renome que a mesma possui na construção dos poços tubulares e amazonas aqui pesquisados.

#### Área I - Ibiara (Figura 3.1)

Localizada na Bacia do Piancó (Figura 3.2), microrregião homogênea 94 do Estado, no Sertão de Cajazeiras (Figura 3.3), extremo oeste paraibano, apresentando altitude 360 m, longitude  $38^{\circ} - 25'$ , na latitude  $7^{\circ} - 30'$ , pluviometria total média anual 800 mm, temperatura média anual  $24^{\circ} C$ , evapotranspiração potencial 1332 mm, deficiência hídrica total 562 mm, distribuição anual meses março - abril.

#### Área II - Jericó (Figura 3.1)

As margens do rio de mesmo nome, na Bacia do Médio Piranhas (Figura 3.2), microrregião homogênea 89 do Estado, em Catolé do Rocha (Figura 3.3), apresentando altitude 215 m, longitude  $37^{\circ} - 49'$ , na latitude  $6^{\circ} - 33'$ , índice agroclimático 56%, pluviometria total média anual 874 mm, temperatura média anual  $25.7^{\circ} C$ , evapotranspiração potencial 1497 mm / real 815 mm, deficiência hídrica total 682 mm, distribuição anual meses março - abril.



### Área III - Santa Cruz (Figura 3.1)

Localizada na Bacia do Rio do Peixe (Figura 3.2), microrregião homogênea 95 do Estado, Depressão do Alto Piranhas (Figura 3.3), apresentando altitude 360 m, longitude 38° - 25' , na latitude 7° - 30', pluviometria total média anual 800 mm, temperatura média anual 25° C , evapotranspiração potencial 1455 mm, deficiência hídrica total 684 mm, distribuição anual meses março - abril.

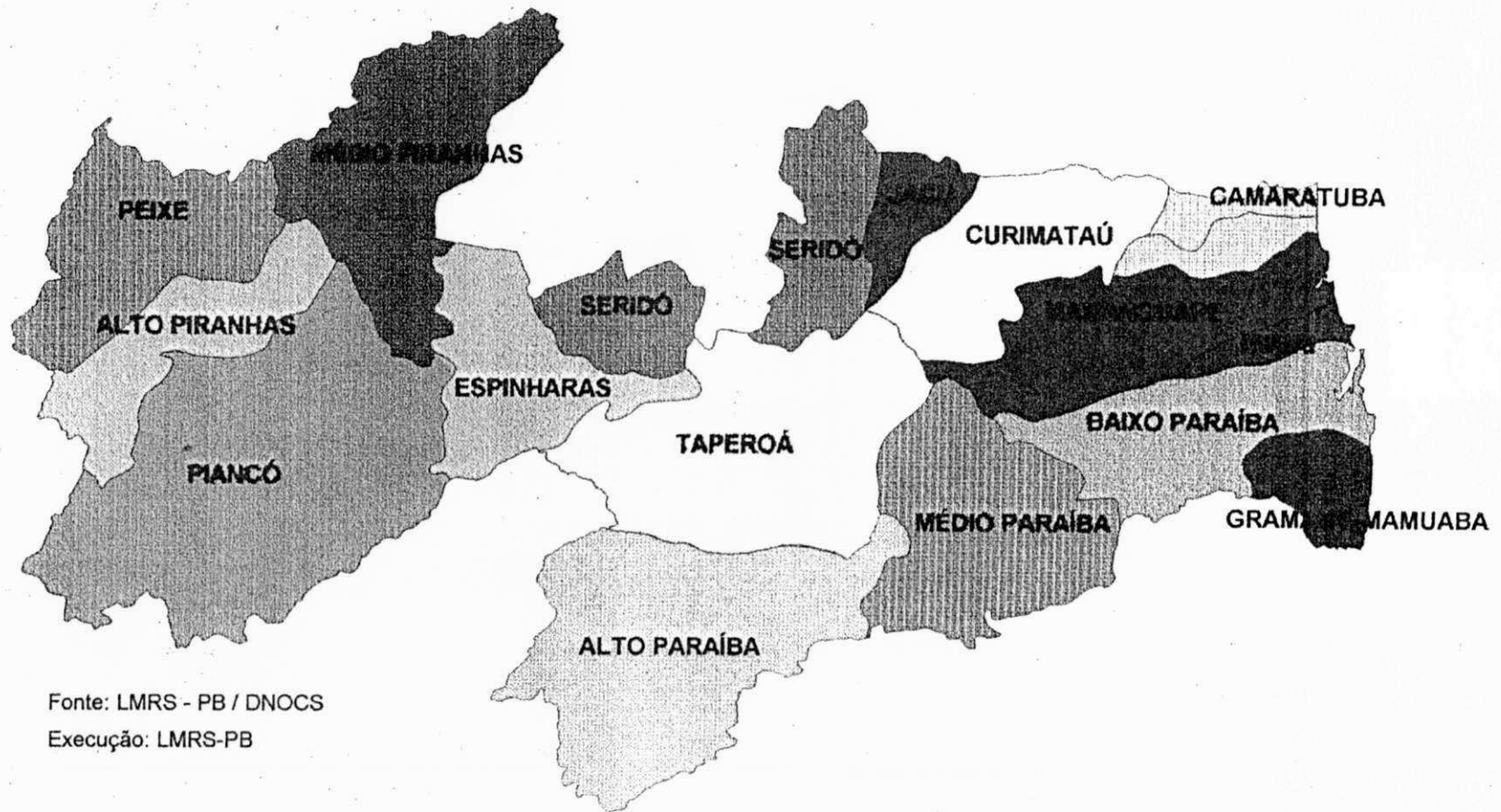
**TABELA 3.1**

Dados Físico-Climatológicos das áreas de pesquisa

DADOS	IBIARA	JERICO	SANTA CRUZ
• Bacia hidrográfica	Bacia do Piancó	Bacia do Médio Piranhas	Bacia do Rio do Peixe
• Microrregião homogênea	Sertão de Cajazeiras	Catolé do Rocha	Depressão do Alto Piranhas
• Altitude (m)	360	215	330
• Longitude	38° 25'	37° 49'	33° 3'
• Latitude	7° 30'	6° 33'	6° 32'
• Pluviometria total média anual (mm)	800	874	800
• Temperatura média anual ( °C )	24	25.7	25
• Evapotranspiração Potencial (mm)	1332	1497	1455
• Deficiência hídrica Total anual (mm)	562	682	684
• Distribuição (meses)	Março-abril	Março-abril	Março-abril



Figura 3.1 - Mapa Político do Estado da Paraíba (destacando localização das áreas de pesquisa)



**Figura 3.2 - Mapa das Bacias Hidrográficas do Estado da Paraíba**

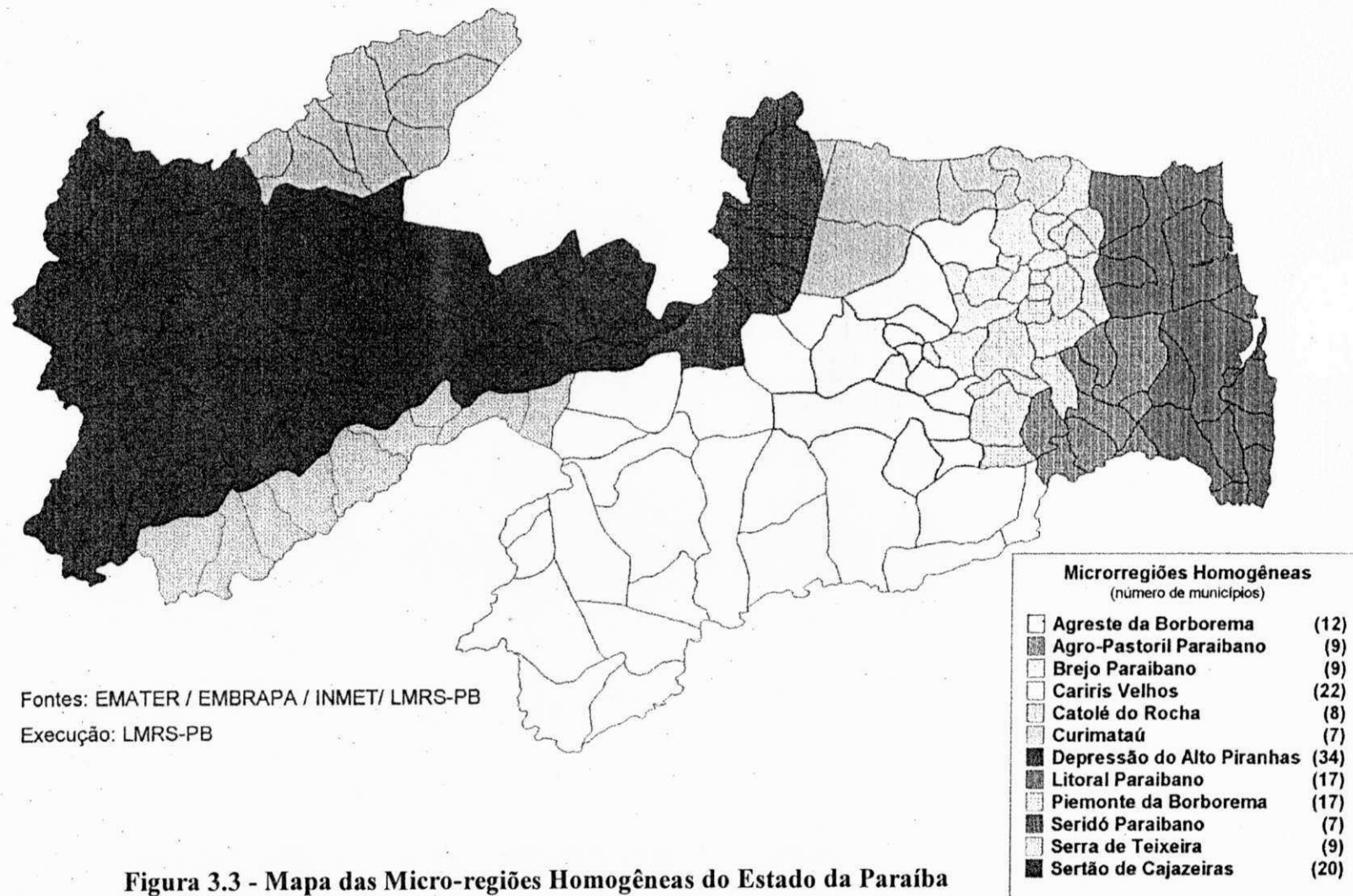


Figura 3.3 - Mapa das Micro-regiões Homogêneas do Estado da Paraíba

## **CAPÍTULO 4**

# **DADOS NECESSÁRIOS PARA A MODELAGEM**

#### 4 – DADOS NECESSÁRIOS PARA A MODELAGEM

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos de relatórios fornecidos pela CDRM, com os respectivos testes de bombeamento, seja, para poço amazonas ou poço tubular, como também o detalhamento de metodologia construtiva e a análise do solo predominante em cada localidade.

Após o conhecimento dessas características foram confeccionadas tabelas envolvendo grandezas pertinentes ao poço, as quais foram inseridas dentro do modelo matemático elaborado para este trabalho, para iniciar o processo de calibragem das áreas e logo em seguida, a simulação dos dados, para finalmente confeccionar as curvas características para cada localidade pesquisada.

Para efetuar a apresentação dos dados fornecidos pelos relatórios do CDRM, utilizados nesta pesquisa, separamos os dados por Cidade para facilitar a procura do mesmo neste trabalho.

##### 4.1 - Dados técnicos do poço amazonas na Área I - Ibiara

Construído em tijolo manual comum, parede uma vez reforçada estruturalmente com colunas e anéis em concreto armado, destacando-se as seguintes características, conforme relatório do CDRM (Ribeiro, 1988):

Diâmetro interno	-	3,0 m
Profundidade total	-	8,5 m
Altura mínima da boca	-	2,5 m

De acordo com o relatório do CDRM foram obtidas as seguintes grandezas:

$$T = 2,3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = 7,73 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$S = 15\%$$

Os dados de permeabilidade mostrados são considerados representativos, porém os mesmos estão inseridos na realidade nas seguintes faixas

- A permeabilidade variando de  $2,03 \times 10^{-3}$  m/s conforme Thiem à  $12,75 \times 10^{-2}$  segundo Jacob.
- A transmissividade variando de  $6,15 \times 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s conforme Thiem à  $3,49 \times 10^{-2}$  segundo Jacob.

A descrição acima foi obtida na íntegra do relatório de campo do CDRM, porém ao comparar-mos o valor da permeabilidade e da transmissividade notamos que estes não estão de acordo com as próprias definições, conforme a equação:

$$T = K \cdot b \quad (4.1)$$

Onde:

T – transmissividade [m<sup>2</sup>/s];

K – permeabilidade [m/s];

b – espessura da camada considerada[m].

Apesar deste erro ser grosseiro, ele foi desconsiderado, já que esses valores simplesmente eram utilizados para comparação com os obtidos no programa de simulação, não alterando desta forma, os resultados finais obtidos.

#### **4.2 - Dados técnicos do poço tubular raso na Área I – Ibiara.**

Construído pelo CDRM, em janeiro de 1986, objetivando a definição de manancial subterrâneo para atender a demanda de água da cidade. Sendo localizado na margem

esquerda do Riacho Humaitá, estando garantida a perenização plena da calha principal, pela Barragem Caldeirão (Barreto, 1989).

O poço apresenta as seguintes características, de acordo com o relatório do CDRM:

Profundidade - 5,80 m

Diâmetro da perfuração - 10"

Diâmetro do revestimento - 6"

**TABELA 4.1**

Dados de campo para os poços da cidade de Ibiara

POÇO	POÇO BOMBEADO					POÇOS OBSERVADOS							
	NE (m)	ND (m)	Q (m <sup>3</sup> h)	S <sub>t</sub> (m)	Q/S <sub>t</sub> (m <sup>3</sup> h m)	Tb (m)	h <sub>o</sub> (m)	PIEZ	NE (m)	ND (m)	S <sub>t</sub> (m)	h <sub>o</sub> (m)	r (m)
TUBULAR	2.2	3.5	23	1.1	17.19	24	3.4	1	1.52	1.76	0.24	3.98	5.00
								2	3.07	3.27	0.20	2.20	10.00
AMAZONAS	2.4	2.8	50	0.39	-	44	4.2						

**Nomenclatura utilizada na tabela 4.1:**

NE - Nível estático;

ND - Nível dinâmico;

Q - Vazão;

S<sub>t</sub> - Rebaixamento total;

Q/S<sub>t</sub> - Vazão específica ou Capacidade específica;

Tb - Tempo de bombeamento;

PIEZ - Piezômetro considerado;

h<sub>o</sub> - Carga total da camada (espessura);

r - Distância do piezômetro ao eixo do poço.

Esta mesma nomenclatura será utilizada em tabelas posteriores.



#### 4.3 - Dados técnicos do poço amazonas na Área II - Jericó

Poço existente construído pela prefeitura local , apresentando as seguintes características (Ribeiro & Albuquerque, 1988):

Profundidade - 8,20 m

Diâmetro interno - 3,80 m

#### 4.4 - Dados técnicos do poço tubular raso na Área II - Jericó

Poço pesquisa feito pelo CDRM, apresentando as seguintes características

Profundidade - 7,80 m

Diâmetro do poço (filtro) - 6"

Os valores considerados característicos do aquífero, na área pesquisada, segundo BOULTON/PRICKETT/JACOB, são os seguintes:

$$T = 9,00 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = 2,00 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

S = indefinido.

**TABELA 4.2**

Dados de Campo para a cidade de Jericó

POÇO	POÇO BOMBEADO					POÇOS OBSERVADOS								
	NE (m)	ND (m)	Q (m <sup>3</sup> h)	S <sub>i</sub> (m)	Q·S <sub>i</sub> (m <sup>3</sup> h m)	T <sub>b</sub> (m)	h <sub>o</sub> (m)	PIEZ	NE (m)	ND (m)	S <sub>i</sub> (m)	h <sub>o</sub> (m)	r (m)	
AMAZONAS	2.69	3.61	65.00	0.91	71.19	20.00	5.30	1	2.27	2.63	0.26	4.60	8.00	
								2	2.50	2.72	0.22	4.60	16.00	
								3	2.35	2.59	0.24	7.00	8.00	
TUBULAR	2.20	3.89	29.00	1.69	17.00	24.00	5.50	1	2.35	2.48	0.49	5.20	8.00	
								2	2.48	2.64	0.16	5.10	16.00	
								3	2.04	2.15	0.11	6.00	20.00	

#### 4.5 - Dados técnicos do poço amazonas na Área III - Santa Cruz

Para Santa Cruz foi utilizado o Poço nº 1, tipo amazonas construído pelo CDRM em 1982, através de convênio com a SUDENE, destinado ao abastecimento d'água da cidade, apresentando as seguintes características (Ribeiro, 1986):

Parâmetros hidrodinâmicos, representativos para os dois períodos de inverno e verão:

$$K = 3,78 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$T = 7,56 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$S = 10 \%$$

Diâmetro interno do poço - 2,00 m

Carga considerada  $h_0$  - 5,00 m ( medido a partir do perfil litológico do poço)

Os dados de permeabilidade mostrados são considerados representativos, porém os mesmos estão inseridos na realidade nas seguintes faixas

- A permeabilidade variando de  $2,12 \times 10^{-4} \text{ m/s}$  à  $8,6 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ , obtidas pela utilização dos gráficos de recuperação dos piezômetros , método de Jacob, e a equação de Thiem (aquífero livre), além de gráficos de rebaixamento de poço.
- A transmissividade variando de  $4,24 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  à  $3,49 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ , obtidos semelhante a permeabilidade.

TABELA 4.3

Dados de campo para o poço cidade Santa Cruz

ETAPAS	POÇO BOMBEADO						POÇOS OBSERVADOS							
	NE	ND	Q	S <sub>t</sub>	Q/S <sub>t</sub>	T <sub>b</sub>	PIEZ	DIST	NE	ND	S <sub>t</sub>	h <sub>c</sub>	r	
	(m)	(m)	(m <sup>3</sup> h)	(m)	(m <sup>3</sup> h/m)	(m)		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	
1	3,1	3,3	2,18	0,2	11,44	8	1	3	2,1	2,3	0,2	2	3,0	
							2	6	2	2,1	0,1	2,3	6,0	
2	3,1	3,5	4	0,4	9,19	24	1	3	2	2,5	0,4	2	3,0	
							2	6	2	2,2	0,2	2,3	6,0	
3	3	3,8	8	0,8	10,66	8	1	3	2	2,7	0,7	2	3,0	
							2	6	1,9	2,2	0,3	2,3	6,0	
4	3,2	4,3	12	1,1	10,7	12	1	3	2,1	3,1	1,1	2	3,0	
							2	6	2	2,5	0,5	2,3	6,0	

Conforme expusemos, os relatórios são bem elaborados e devidamente justificados com relação aos dados hidrodinâmicos do aquífero, desta forma analisando os dados e conhecendo o renome do CDRM, na avaliação e construção de poços, consideramos portanto os dados consistentes, podendo usá-los para iniciar o processo de calibração do modelos utilizados neste trabalho.

## **CAPÍTULO 5**

### **OS MODELOS MATEMÁTICOS E PROGRAMAS UTILIZADOS**

## 5 - OS MODELOS MATEMÁTICOS E PROGRAMAS UTILIZADOS

O modelo matemático que foi utilizado neste trabalho, tem como base dois programas o Modelo para Simulação de Poços Tubulares (MSPT) e o Modelo para Simulação de Poços de Grandes Diâmetros (MSPGD), que vinham sendo desenvolvidos por Prof. Sarma K. V. Seemanapalli, desde 1989.

Os programas, originalmente em linguagem Basic, foram modificados por um aluno de iniciação científica, sob orientação de Prof. Sarma, para a linguagem Pascal, Versão 6.0 turbo pascal, por apresentar melhor resolução gráfica e maior rapidez na simulação dos dados. Nos novos programas, agora em Pascal, foram feitas algumas modificações, tanto na melhor definição de resultados, como também, melhor apresentação dos dados.

Utilizamos também de um programa denominado Perdas para estimar as perdas localizadas de formação e de poço, de forma a calcular a eficiência do poço pesquisado.

Foi utilizado um programa denominado de ISONOVO5, para confeccionar as curvas Phi, ou seja, de mesma carga hidráulica.

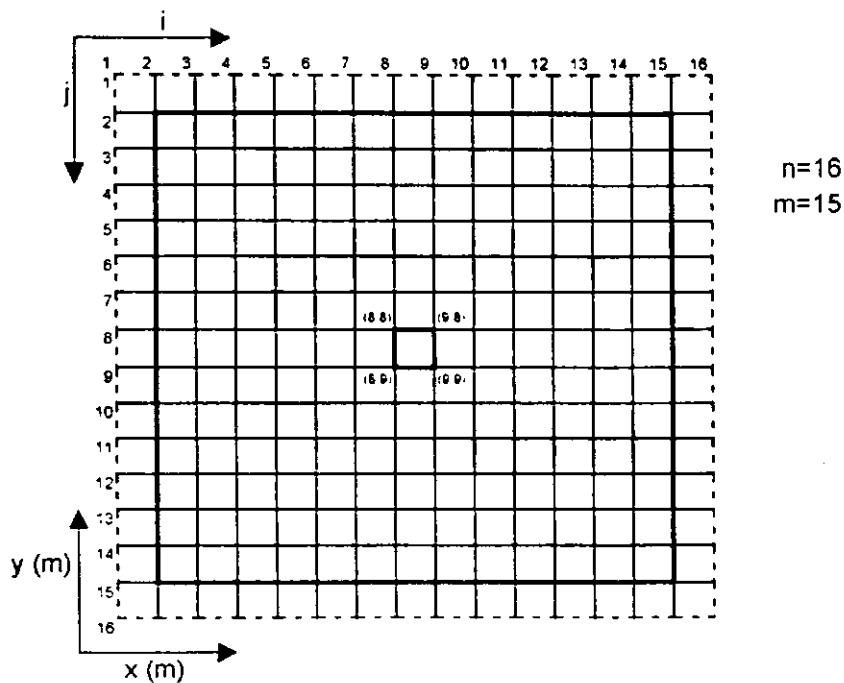
Cada um desses programas serão mostrados detalhadamente, neste capítulo.

### 5.1 - Modelo para Simulação de Poços de Grandes Diâmetros (MSPGD)

O modelo tem como base, a discretização da área de pesquisa, pelo método das diferenças finitas, com método iterativo de Gauss-Seidel, utilizando para isto uma malha quadrada, com  $n$  números de nós pares, nas direções  $x$  e  $y$ , de forma a obter  $m$  números de quadrados de número ímpar, também nas direções  $x$  e  $y$ , desta forma, a quadricula central da malha (entenda-se quatro nós centrais – [ (8,8); (8,9); (9,8); (9,9) ], representará o poço amazonas em nosso modelo (Fig. 5.1), nos anexos pode-se encontrar o programa MSPGD.

Para a simulação do bombeamento dos poços, o modelo utiliza-se das teorias de fluxo radial em aquíferos homogêneos não confinados, de forma a obter no programa, uma simulação mais próxima da realidade.

No nosso trabalho o poço amazonas foi representado pelos quatro nós centrais da malha, por este apresentar um diâmetro relativamente grande ao ser comparado com o diâmetro de um poço tubular, porém o formato quadrado que o modelo confere ao poço amazonas não coincide com a realidade construtiva, já que estes poços na realidade possuem formato circular, o que já prejudica um pouco na qualidade dos dados das simulações.



**Figura 5.1 - Malha (14,16), utilizada pelo MSPGD. Quatro pontos centrais representado o poço amazonas, em Aquífero Homogêneo Não-Confinado ( $D_x = D_y$ ).**

Para um maior refinamento dos dados obtidos, seria necessário que pudessemos representar o poço por uma figura geométrica que se aproximasse mais de um círculo, para isto, seria necessário que houvesse uma maior discretização no local onde está inserido o poço, de forma que em vez desse ser representado apenas por 4 pontos, fosse representado por 8 (octaedro) ou mais pontos, porém este artifício requer uma maior capacidade de simulação do programa, contudo a linguagem T-pascal adotada possui certas limitações, ficando assim estabelecido o formato quadrado apresentado na figura 5.1.

O programa MSPGD utiliza-se da teoria do Fator de Filtro ( $f_f$ ), concebido por Prof. Sarma V. K. Seemanapalli no ano de 1989, não publicado, levando em consideração a permeabilidade do material de construção do poço de grande diâmetro, de forma que este modelo de simulação trabalha com duas permeabilidades a do meio poroso (solo natural) –  $K_{meio}$  - e a do material de construção do poço -  $K_{material}$  – para este trabalho utilizamos, o fator de ajuste da permeabilidade " $f_k$ " que está associado ao fator de filtro " $f_f$ ", estes parâmetros utilizados serão detalhadamente explicados posteriormente.

### 5.1.1 - Relação entre o fator de ajuste da permeabilidade ( $f_k$ ) e o fator de filtro ( $f_f$ ).

Os vários tipos de solos, onde são construídos poços de grandes diâmetros (tipo amazonas), possuem diferentes condutividade hidráulica, por possuírem diferentes estruturas internas entre outras características da mecânica dos solos. Conforme Dupuit-Forchheimer, é possível representar a curva do fluxo que a água faz ao atravessar o meio poroso, por uma equação. Porém ao construirmos um poço tipo amazonas, inserimos um novo material, de características diferentes do meio, para a construção do mesmo. A existência de um novo material, servirá de auxílio ou empecilho na continuidade do fluxo dessa água. No intuito de corrigir a curva a nova realidade foi inserido no modelo MSPGD um fator de ajuste da permeabilidade  $f_k$  que relaciona a permeabilidade do meio e a permeabilidade do material de construção do poço. Desta forma:

$$K_{material} = f_k \cdot K_{meio} \quad (5.1)$$

Onde:

$K_{material}$  - permeabilidade do material de construção do poço;

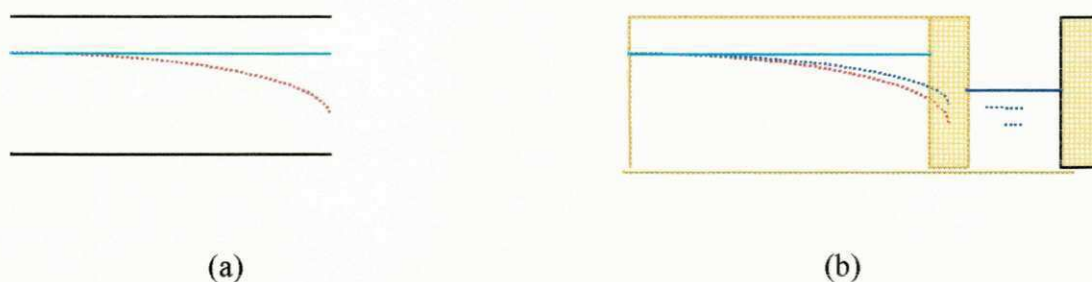
$f_k$  - fator de ajuste da permeabilidade;

$K_{meio}$  - permeabilidade do meio poroso.

Ao fator de ajuste da permeabilidade ( $f_k$ ) que calibra o modelo (dados de campo), foi nomalizado como sendo fator de filtro ( $f_f$ ), de valor unitário e considerado como






referência ou padrão servindo de comparação com outros materiais hipotéticos de construção do poço. Através da simulação de fatores iguais ao de filtro, superiores ou inferiores a 1 (um), obteremos as curvas para diversos materiais de construção hipotéticos, sendo  $f_f$  de valor 1 (unitário), um poço de mesmo material construtivo existente na área de pesquisa. Ao efetuarmos a simulação, um fator de filtro menor que 1 (um) significará que o material do poço tem permeabilidade menor que o meio e assim, dificulta a entrada da água no poço. Se o fator de filtro for maior que 1 (um), o material do poço facilita a entrada da água no poço, aumentando a produtividade do mesmo.

O exposto está esquematizado na Figura 5.2:



(a) representação da curva do fluxo d'água em meio poroso ( conforme Dupuit); (b) representação curvas do fluxo d'água em meio poroso, com e sem presença de um novo material na saída d'água meio.

Legendas:

-  Linha de nível do lençol freático;
-  Curva do fluxo d'água em meio poroso (solo);
-  Curva do fluxo d'água em meio poroso, com influência de novo material ;
-  Nível d'água dentro do poço;
-  Paredes do poço (novo material ).

**Figura 5.2 - Esquematização da influência do Fator de Filtro ( $f_f$ )**



## 5.2 - Modelo para Simulação de Poços Tubulares (MSPT)

O Modelo para Simulação de Poços Tubulares, difere do Modelo para Simulação de Poços Amazonas, por pequenos detalhes:

- A malha  $n$  é de número ímpar, assim o número de quadriculas  $m$  torna-se de número par. Esta diferença ocorre, porque o poço tubular é representado pelo nó central da malha, devido as dimensões dos diâmetros dos poços tubulares serem pequenos tornando-os desprezíveis.
- Na simulação de poços tubulares não utiliza-se o fator de ajuste da permeabilidade " $f_k$ " que está associado ao fator de filtro " $f_r$ ", e intrinsecamente relacionado ao material de construção do poço, já mencionado, estes parâmetros são exclusivos para poços amazonas, de forma que no MSPT só trabalhamos com uma permeabilidade, ou seja, a do meio.

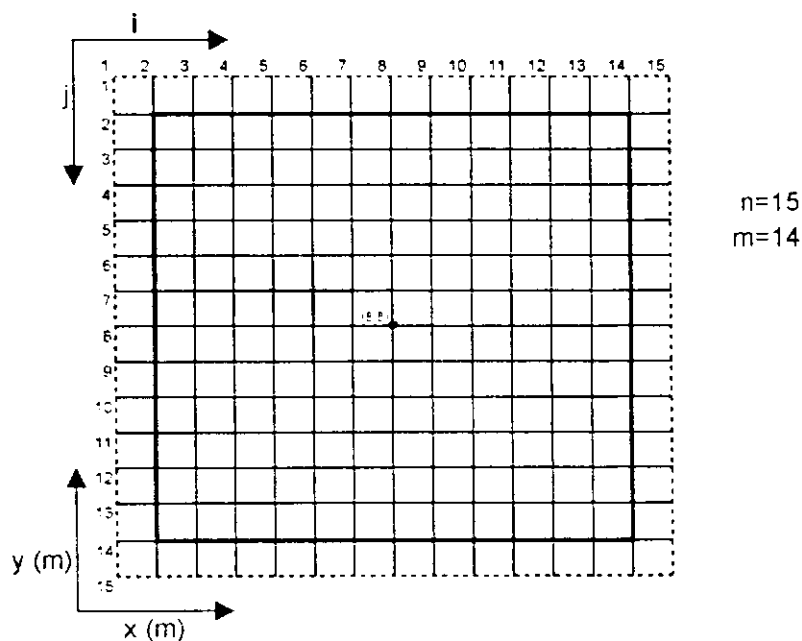


Figura 5.3 - Malha (13,15), utilizada no MSPT. Nó Central da Malha representando poço tubular, Aquífero Não Confinado Homogêneo ( $D_x = D_y$ ).

### 5.2.1 - A Simulação de dois poços numa mesma área - Programa MSPT

O Programa MSPT possui opção de simular dois poços numa mesma área discretizada, de forma a obter em toda a malha, as cargas hidráulicas resultantes da exploração simultânea de dois poços. Assim obtidas as cargas hidráulicas poderemos fazer uso de um programa que plota as curvas PHI, ou seja, curvas equipotenciais ou de mesma carga hidráulica, e então analisar a interferência na exploração de dois poços num mesmo aquífero. A análise é possível através da variação das distâncias entre os poços, como também, a sua vazão, obtendo-se então várias curvas que podem ser comparadas em diversos aspectos.

Neste trabalho utilizou-se de rede (13,15) para simular poços tubulares com 1 e dois poços. De forma que na simulação de dois poços, os mesmos localizaram nos seguintes grupos de nós:

Posição 1: (6,8) - (10,8)

Posição 2: (5,8) - (11,8)

Posição 3: (4,8) - (12,8)

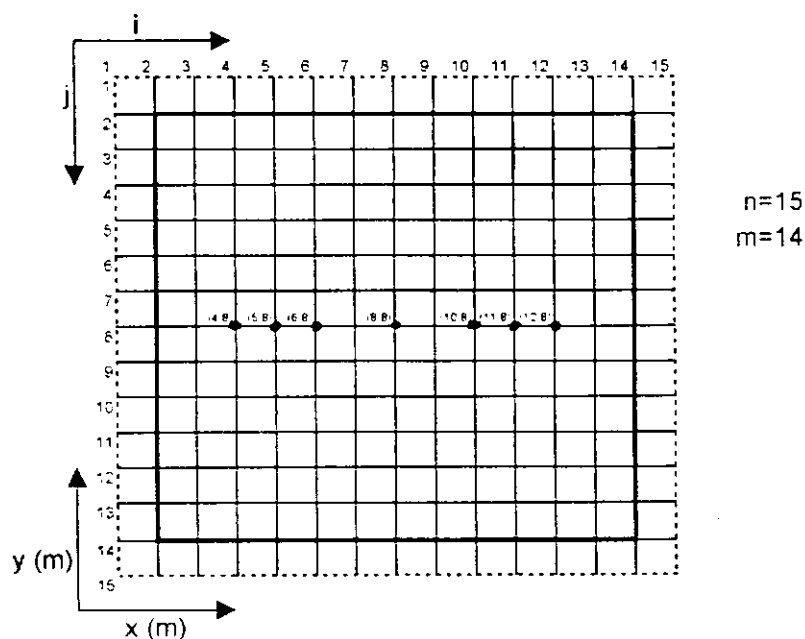


Figura 5.4 - Posição dos Poços, para a Simulação de Dois Poços na Mesma Área.

Ficando equidistantes em relação ao nó central da malha (8,8) local onde fixamos o poço tubular na simulação para um poço (Fig. 5.4).

Da mesma forma, o aquífero é isotrópico com  $Dx = Dy$ , ficando por exemplo os poços (6,8) e (10,8) distantes  $4Dx$ , aumentando mais duas quadriculas para as outras posições, sucessivamente.

### 5.3 - As condições de contorno existente nos Programas MSPGD e MSPT

Ambos programas trabalham designando cada nó com os números 1 (quando a carga é variável) e 4 (quando a carga é constante) de forma a estabelecer as condições de variação dos parâmetros, dentro dos limites impostos.

4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
4	4	4	4	4	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4
4	4	4	4	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	4
4	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4
4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4
4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4
4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4
4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4
4	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4
4	4	4	4	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	4
4	4	4	4	4	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Figura 5.5 - Malha Quadrada (13.15) com Cargas Variáveis na Forma Circular, Consideração para Poço Tubular, observadas as condições de contorno do modelo matemático.

#### 5.4 - Programa PERDAS

O programa Perdas é um programa existente em Basic que utiliza-se das teorias de Bower sobre as perdas de poço ( $S_p$ ) e de formação ( $S_f$ ), tendo como parâmetros de entrada os rebaixamentos [ $S_t$  (m)] e as correspondentes vazões [ $Q$  ( $m^3$ /dia)].

O programa utiliza-se da Eq. 2.21 e através de método iterativo de Jacob, encontra os coeficientes:  $C_p$ ,  $C_f$  e  $n$ , da Eq. 2.19, os quais são obtidos, pelo método de tentativas, através do maior índice de correlação entre a equação que representa a curva e os dados de entrada no programa.

Após obtenção do coeficientes no programa, poderemos efetuar o cálculo da eficiência do poço, utilizando a Eq. 2.22.

#### 5.5 - Programa ISONOVO5

O programa ISONOVO5, elaborado em Turbo Pascal mesma versão dos outros programas, utiliza-se dos bancos de dados gerados pelos Programas MSPGD e MSPT (1 ou 2 poços) para construir as linhas PHI, que se caracterizam por apresentarem mesma carga hidráulica, mostrando o caminho do fluxo d'água para o poço, através da diminuição das cargas hidráulicas no poço.

Para a simulação de dois poços numa mesma área, o programa, através das linhas, mostram a maior ou menor interferência entre dois poços.

## **CAPÍTULO 6**

### **RESULTADOS DOS MODELOS MSPGD E MSPT**

## 6 – RESULTADOS DOS MODELOS MSPGD E MSPT

### 6.1 - Calibragem do modelo MSPGD para as três áreas de pesquisa: Ibiara, Jericó e Santa Cruz.

Para iniciar o processo de calibragem dos dados das áreas é feito anteriormente uma análise de sua consistência e o dimensionamento do raio de influência do poço pesquisado já que este é um dos parâmetros utilizados neste trabalho e não foram fornecido pelos relatórios do CDRM, já mencionados anteriormente.

Para o dimensionamento do raio de influência ( $r_i$ ) das áreas pesquisadas foi utilizada a equação de fluxo radial em aquíferos não-confinados, ou seja, a Eq. 2.17. Porém para podê-la aplicar foi reorganizada e colocada em evidência o raio de influência, o mesmo pode ser calculado já que possuíamos todos os dados de campo necessários para a sua determinação, conforme Tabela 6.1.

**TABELA 6.1**

Dimensionamento do raio de influência para as três áreas

CIDADE	Q (m <sup>3</sup> /h)	K (m/s)	S <sub>t</sub> (m)	h <sub>0</sub> (m)	h <sub>w</sub> (m)	r <sub>w</sub> (m)	ln ( r <sub>i</sub> /r <sub>w</sub> )	r <sub>i</sub> (m)
IBIARA	50.00	0,004500	0.39	4.2	3.810	1.50	3,03842	36.06
JERICÓ	65.00	0,002000	0.91	5.3	4,390	1.90	3,06856	40.87
SANTA CRUZ	12.00	0,000378	1.12	5.00	3.880	1,00	3,54319	34.58

Na tabela acima deveremos considerar:

Q – Vazão real de exploração, do poço amazonas pesquisado;

K – Permeabilidade admitida para o meio poroso, solo natural;

S<sub>t</sub> – Rebaixamento total observado em campo;

h<sub>0</sub> – Carga de contorno admitida, altura entre o nível d'água natural e o nível de referência;

h<sub>w</sub> – altura entre o nível d'água dentro do poço e o nível de referência;

$r_w$  – raio do poço amazonas;

$r_i$  – raio de influência procurado.

Os valores de raio de influência encontrados foram considerados bons, já que para raios de influência muito altos, seria impossível simular poços de diâmetros pequenos, como pôr exemplo o de  $\phi$  2,00 m, pois isso iria aumentar o tamanho da rede necessária para a sua simulação, algo que o programa não conseguiria simular, dada a sua limitação de pontos a serem considerados nos cálculos das sucessivas iterações.

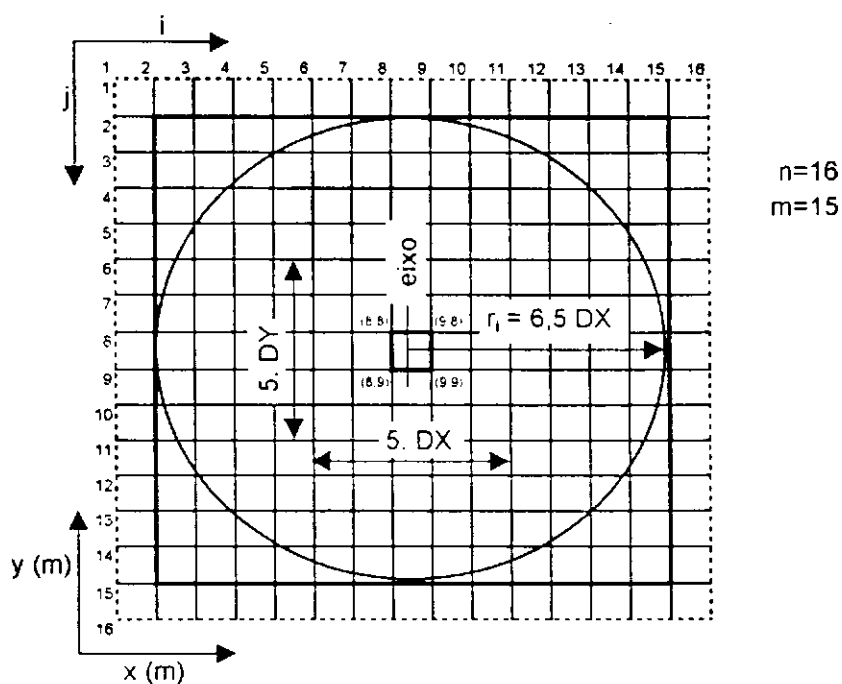


Figura 6.1 - Malha (14,16) com poço amazonas centralizado, caracterizando a consideração da atuação do raio de influência na malha discretizada.

### 6.1.1 - Calibragem para a região de Ibiara

Utilizando-se dos dados do relatório do CDRM para a cidade de Ibiara: vazão de exploração  $Q = 50,00 \text{ m}^3/\text{h}$ , rebaixamento no poço  $S_w = 0,39 \text{ m}$ , raio do poço  $r_w = 1,50 \text{ m}$  e

espessura saturada  $h_0 = 4,20$  m, permeabilidade representativa  $K = 4,5 \cdot 10^{-3}$  m/s, obtidos do relatório de campo, foi calculado o raio de influência (tabela 6.1), cujo valor foi de  $r_i = 36,06$ m. Este, não é o valor final utilizado para as simulações, ele serve apenas como um ponto inicial para que pudesse-mos utilizar vários valores de raios de influência, próximos deste, e respectivas redes que representassem um diâmetro de poço de 3,00 m, existente na área de pesquisa, Tabela 6.2.

Conhecendo-se então, os dados de campo e alguns raios de influência e suas respectivas redes, que melhor representam o poço existente na área pesquisada, foi efetuada a calibragem utilizando-se o método de tentativa e erro, para os vários pares de raios e redes, observados a princípio os que melhor representariam o comportamento dos rebaixamentos respectivos piezômetros ali instalados, foi dada preferência a calibrar primeiro os piezômetros. Realizada esta etapa foi inserido o fator de ajuste da permeabilidade ( $f_k$ ), até que os valores dos rebaixamentos no poço fosse também considerado satisfatórios, ou seja, o programa calibra os piezômetros e depois utilizando o fator de ajuste da permeabilidade calibra o poço, de forma obter os mínimos erros possíveis entre os dados simulados e os observados em campo. Isto se deve ao fato que a inclusão do fator de ajuste da permeabilidade, faz com que o programa trabalhe com as duas permeabilidades: a do meio e a do material de construção do poço, conforme exposto no capítulo 5, item 5.1.1.

Concluída a calibragem, ficou estabelecido que o raio de influência para Ibiara é de  $r_i = 34,50$  m e rede (24,26), na qual  $Dx = Dy = 3,00$  m.

**TABELA 6.2**

Valores de raios de influência e redes, que representam um poço de  $\phi$  3.00 m. e podem ser utilizadas na calibragem do MSPGD para Ibiara.

$r_i$ (m)	31,50	<b>34,50</b>	37,50	40,50	43,50	46,50	49,50
Rede	(22, 24)	<b>(24, 26)</b>	(26, 28)	(28, 30)	(30, 32)	(32, 34)	(34, 36)

Em negrito está o par utilizado para calibrar a área de Ibiara.



Na Tabela 6.3 é possível verificar os valores de cargas simuladas, obtidas da calibragem em Ibiara, correspondendo as cargas que passam pelos pontos centrais, de forma horizontal.

Os dados dos rebaixamentos obtidos com a calibragem do modelo comparados aos de campo podem ser vistos na Tabela 6.4.

**TABELA 6.3**

Cargas observadas na linha 13 (linha central)

4,20	4,19	4,18	4,17	4,15	4,13	4,11	4,08	4,04	3,99	3,91	3,81
3,81	3,91	3,99	4,04	4,08	4,11	4,13	4,15	4,17	4,18	4,19	4,20

**TABELA 6.4**

Comparação entre os rebaixamentos de campo e os da calibragem para a Cidade de Ibiara com rebaixamentos ( $S_t$ ) em metros.

	Poço	P <sub>z-01</sub>	P <sub>z-02</sub>
Campo	0,39	0,15	0,07
Modelo	0,39	0,15	0,06

Foram considerados como parâmetros de calibragem, o conjunto de dados, que nos forneceram as menores diferenças entre os valores observados em campo e os valores simulados. Ficando estabelecido que os valores de calibragem do modelo para Ibiara são:

$$\begin{aligned}
 r_i &= 34,50 \text{ m} \\
 \text{Rede} &= (24,26) \\
 K_{\text{meio}} &= 4,50 \cdot 10^{-3} \text{ m/s} \\
 f_h &= 1,50 [ / ] \\
 Q &= 50,00 \text{ m}^3/\text{h}
 \end{aligned}$$

O valor da permeabilidade do material de construção do poço  $K_{\text{material}}$  é obtido conforme a Eq. 5.1.

### 6.1.2 - Calibragem para a região de Jericó

Da mesma forma que foi realizada a calibragem de Ibiara, foram também realizadas, semelhantemente a calibragem das outras duas áreas.

Inicialmente, utilizando-se dos valores da permeabilidade representativa  $K = 2 \cdot 10^{-3}$  m/s, vazão de exploração  $Q = 65,00 \text{ m}^3/\text{h}$ , rebaixamento de campo  $S_t = 0,91$  m, raio do poço  $r_w = 1,90$  m e da espessura saturada  $h_0 = 5,30$  m, obtidos do relatório de campo, foi calculado o raio de influência (Tabela 6.1), utilizando-se a equação de fluxo radial em aquíferos não-confinados ou livres, obtendo o valor de  $r_i = 40,87$  m.

Após o cálculo do raio de influência, foi elaborada a Tabela 6.5, na qual utilizando os raios de influência próximos ao calculado, foi possível encontrar as redes ou malhas, que representassem o poço de  $\phi 3,80$  m, existente em Jericó.

A princípio variamos as redes e os raios de influência calculados, de forma a encontrar o par que melhor represente o poço real.

**TABELA 6.5**

Valores de raios de influência e redes que representam um poço de  $\phi 3,80$  m, e podem ser utilizadas na calibragem do MSPGD para Jericó

$r_i$ (m)	32,30	28,50	<b>24,70</b>	20,90	17,10	13,30	9,50
Rede	(18, 20)	(16, 18)	<b>(14, 16)</b>	(12, 14)	(10, 12)	(8, 10)	(6, 8)

Em negrito está o par utilizado para calibrar a área de Jericó.

Em seguida fixamos o raio de influência e a rede discretizada utilizada na calibragem, então faz-se a variação do valor da permeabilidade para obter um maior refinamento dos dados de rebaixamento e por final a inclusão do fator de ajuste da permeabilidade,  $f_k$ , que serve para modificar o valor da permeabilidade, estritamente nos pontos de contorno do local representado pelo poço, por ser o poço, uma construção de estrutura diferente do solo que a comporta, ficando assim, estabelecida duas permeabilidades a do meio e a dos pontos de atuação do poço.

A alternância de todos esses dados pelo método de tentativa e erro resultará nas menores diferenças entre os valores dos rebaixamentos observados no campo e o do modelo, considerando finalmente o modelo calibrado para Jericó.

**TABELA 6.6**

Comparação entre os rebaixamentos de campo e calibrado para cidade de Jericó, os rebaixamentos em metros.

	Poço	P <sub>z-01</sub>	P <sub>z-02</sub>
Campo	0,91	0,36	0,22
Modelo	0,91	0,36	0,12

Como podemos observar pela Tabela 6.6, os valores de rebaixamento foram observados no poço e no P<sub>z-01</sub>. Já no P<sub>z-02</sub>, podemos verificar uma pequena distorção do resultado, estes resultados finais apesar da pequena distorção foram considerados satisfatórios.

Concluída a fase de calibragem, ficou estabelecido que os valores de calibragem do modelo para Jericó são:

$$\begin{aligned}
 r_i &= 24,70 \text{ m} \\
 \text{Rede} &= (14, 16) \\
 K_{\text{meio}} &= 1,35 \cdot 10^{-3} \text{ m/s} \\
 f_k &= 1,20 \text{ [ / ]} \\
 Q &= 65,00 \text{ m}^3/\text{h}
 \end{aligned}$$

Da mesma forma, que Ibiara, a permeabilidade do material de construção do poço  $K_{\text{material}}$  é obtido conforme Eq. 5.1.

### 6.1.3 - Calibragem para a região de Santa Cruz

Da mesma forma que foi realizada a calibragem das duas primeiras áreas, realizou-se a calibragem de Santa Cruz. Assim, utilizando-se da permeabilidade representativa  $K = 3,78 \cdot 10^{-4}$  m/s, vazão de exploração  $Q = 12,00$  m<sup>3</sup>/h, rebaixamento no poço  $S_1 = 1,12$  m, raio do poço  $r_w = 1,00$  m e da espessura da camada  $h_0 = 5,00$  m, obtidos do relatório de campo, foi calculado o raio de influência, utilizando-se a equação do fluxo radial em aquíferos não-confinados ou livres, cujo valor foi de  $r_i = 34,58$  m, conforme Tabela 6.1. O valor calculado para o raio de influência de Santa Cruz serve simplesmente como um parâmetro para iniciar a calibragem dos dados. Baseado no valor calculado estimam-se vários raios próximos a este que possa nos representar um poço de 2,00 m de diâmetro, poço real existente em Santa Cruz e suas respectivas redes que possam representá-los, Tabela 6.7..

**TABELA 6.7**

Valores de raios de influência e redes, que representam um poço de  $\phi$  2,00 m, e podem ser utilizadas na calibragem do MSPGD para Santa Cruz.

$r_i$ (m)	37,00	35,00	33,00	<b>31,00</b>	29,00	27,00	25,00
Rede	(38, 40)	(36, 38)	(34, 36)	<b>(32, 34)</b>	(30, 32)	(28, 30)	(26, 28)

Em negrito está o par utilizado para calibrar a área de Santa Cruz

Conhecendo-se os dados de campo, raios de influência e suas respectivas redes, efetua-se a calibragem do modelo, pelo método de tentativa e erro, observando qual dos pares de raios e redes que nos fornecem as menores diferenças entre os rebaixamentos observados em campo e os simulados pelo modelo. Realizada esta etapa ficou estabelecido que o raio de influência de calibragem para Santa Cruz é de 31,00 m e rede (32,34), na qual  $D_x = D_y = 2,00$  m.

Escolhida a rede e o raio de influência, calibra-se o valor do  $f_k$  para promover um maior refinamento e ajuste dos dados, ao final da calibragem, ficou estabelecido um  $f_k = 1,30$  [ / ].

Foram considerados como parâmetros de calibragem, o conjunto de dados, que nos forneceram as menores diferenças entre os valores observados em campo e os valores simulados. Ficando estabelecido que os valores de calibragem do modelo para Santa Cruz são:

$$\begin{aligned}r_i &= 31,00 \text{ m} \\ \text{Rede} &= (32,34) \\ K &= 3,00 \cdot 10^{-4} \text{ m/s} \\ f_k &= 1,30 [ / ] \\ Q &= 12,00 \text{ m}^3/\text{h}\end{aligned}$$

## 6.2 - Simulações realizadas no modelo MSPGD para as três áreas de pesquisa

### 6.2.1 - Dados utilizados para simulação das três áreas

Inicialmente planejávamos simular poços com diâmetros variando de 2 em 2 metros, da seguinte forma: diâmetros de 2, 4, 6, 8 e 10 metros, porém ao trabalhar com um modelo matemático que simula poços de grandes diâmetros, verificamos que o mesmo necessitava de uma rede de ordem par, para que o nosso poço ficasse centralizado na malha em estudo. Por conseguinte utilizamos os raios de influências adotados em cada área para dimensionar as redes que seriam utilizadas nas simulações e os diâmetros reais simulados, que notadamente foram diferentes dos planejados, mas próximos a estes.

As tabelas seguintes, confeccionadas para as três áreas, mostram os dados de raio de influência e as redes que foram utilizados para realizar as simulações para as três áreas: Ibiara, Jericó e Santa Cruz.

TABELA 6.8

Cálculo das redes utilizadas nas simulações de Ibiara.

$r_i$ (m)	Dx Procurado(m)	Rede Calculada	Rede externa	Dx real Simulado(m)	Rede Selecionada
34,50	2,00	37,50	<b>38</b>	1,97	(36, 38)
	4,00	20,30	<b>20</b>	4,06	(18, 20)
	6,00	14,50	<b>14</b>	6,27	(12, 14)
	8,00	11,60	<b>12</b>	7,67	(10, 12)
	10,00	9,90	10	9,86	(8, 10)

TABELA 6.9

Cálculo das redes utilizadas nas simulações de Jericó.

$r_i$ (m)	Dx Procurado(m)	Rede Calculada	Rede Externa	Dx real Simulado(m)	Rede Selecionada
24,70	2,00	27,70	28	1,98	(26, 28)
	4,00	15,35	16	3,80	(14, 16)
	6,00	11,23	<b>12</b>	5,49	(10, 12)
	8,00	9,18	<b>10</b>	7,06	(8, 10)
	10,00	7,94	8	9,88	(6, 8)

TABELA 6.10

Cálculo das redes utilizadas nas simulações de Santa Cruz.

$r_i$ (m)	Dx Procurado(m)	Rede Calculada	Rede Externa	Dx real Simulado(m)	Rede Selecionada
31,00	2,00	34,00	34	2,00	(32, 34)
	4,00	18,50	<b>18</b>	4,13	(16, 18)
	6,00	13,33	<b>14</b>	5,64	(12, 14)
	8,00	10,75	<b>10</b>	8,86	(8, 10)
	10,00	9,20	8	12,4	(6, 8)

Além de calcularmos as redes (malhas) que seriam utilizadas, também foram padronizadas as variações das vazões de simulação para as três áreas, as quais variaram conforme uma porcentagem de 50 a 150% sobre o valor da vazão que realmente estava sendo explorada para o poço em pesquisa, como podemos verificar pela Tabela 6.11.

**TABELA 6.11**

Vazões (m<sup>3</sup>/h) utilizadas nas simulações das três áreas de pesquisa  
Como podemos verificar, os números em negrito representam a vazão real explorada.

%	Jericó	Ibiara	Santa Cruz
50%	32,50	25,00	6,00
60%	39,00	30,00	7,20
70%	45,50	35,00	8,40
80%	52,00	40,00	9,60
90%	58,50	45,00	10,80
<b>100%</b>	<b>65,00</b>	<b>50,00</b>	<b>12,00</b>
110%	71,50	55,00	13,20
120%	78,00	60,00	14,40
130%	84,50	65,00	15,60
140%	91,00	70,00	16,80
150%	97,50	75,00	18,00

Da mesma forma foram calculados os vários valores do fator de ajuste da permeabilidade  $f_k$  e seu correspondente fator de filtro  $f_f$  que foram utilizados nas simulações das três áreas de pesquisa, Tabelas 6.12 à 6.14.

**TABELA 6.12**

Valores de  $f_k$  e correspondente  $f_f$  utilizados nas simulações de Ibiara

$f_k$	0,750	1,125	<b>1,500</b>	1,875	2,250	2,600	3,000	4,500	6,000
$f_f$	0,500	0,750	<b>1,000</b>	1,250	1,500	2,000	3,000	4,000	5,000

Os valores em negrito, correspondem ao fator de ajuste de calibragem para Ibiara e o seu respectivo fator de filtro de valor unitário.

TABELA 6.13

Valores de  $f_k$  e correspondente  $f_r$  utilizados nas simulações de Jericó

$f_k$	0,60	0,90	<b>1,20</b>	1,50	1,80	2,40	3,60	4,80	6,00
$f_r$	0,50	0,75	<b>1,00</b>	1,25	1,50	2,00	3,00	4,00	5,00

\* Os valores em negrito, correspondem ao fator de ajuste de calibragem para Jericó e o seu respectivo fator de filtro de valor unitário.

TABELA 6.14

Valores de  $f_k$  e correspondente  $f_r$  utilizados nas simulações de Santa Cruz

$f_k$	0,650	0,975	<b>1,300</b>	1,625	1,950	2,600	3,900	5,200	6,500
$f_r$	0,500	0,750	<b>1,000</b>	1,250	1,500	2,000	3,000	4,000	5,000

Os valores em negrito, correspondem ao fator de ajuste de calibragem para Santa Cruz e o seu respectivo fator de filtro de valor unitário.

Após calcularmos todos os dados que seriam necessários para efetuarmos as simulações, estas foram realizadas, utilizando-se de todos os dados mostrados para cada uma das três áreas.

Durante as simulações inserimos no programa a espessura da camada saturada, como a carga de contorno, para que o programa pudesse simular seus dados, os resultados das simulações são dados em cargas e destas subtraídas a carga de contorno, assim foi possível encontrar os rebaixamentos nos vários nós na rede, principalmente no próprio poço parâmetro principal de comparação entre as várias vazões, diâmetros e fatores de filtros utilizados na pesquisa.



## 6.2.2 - Resultados obtidos com a simulação das três áreas

### 6.2.2.1 – Resultados da simulação de Ibiara

Conforme exposto anteriormente, a simulação dos dados nos fornecem cargas e destas encontramos os nossos rebaixamentos, para que isto fosse possível foi realizada a anotação do valor da carga observada em cada simulação e construídas tabelas com as cargas observadas nas várias situações de simulação. Através das tabelas de cargas foi elaborada uma outra tabela, sendo esta agora dos rebaixamentos observados, o qual é encontrado subtraindo a carga observada no nó da malha de simulação da carga de contorno, ou seja, da espessura da camada saturada.

A seguir estão colocadas todas as tabelas construídas com os resultados obtidos das várias simulações, resultados estes que foram utilizados nas construções das curvas Características da área de Ibiara.

**TABELA 6.15**

Cargas [  $h_w$  (m) ] simuladas no MSPGD para Ibiara com vazão constante

$f_r$	$f_k$	Diâmetro do poço (m)				
		1,97	4,06	6,27	7,67	9,86
0,50	0,750	3,70	3,81	3,87	3,89	3,93
0,75	1,125	3,73	3,84	3,90	3,92	3,96
1,00	1,500	3,74	3,85	3,91	3,94	3,97
1,25	1,875	3,75	3,86	3,92	3,95	3,98
1,50	2,250	3,76	3,86	3,92	3,95	3,98
2,00	3,000	3,77	3,87	3,93	3,96	3,99
3,00	4,500	3,77	3,88	3,94	3,96	4,00
4,00	6,000	3,78	3,88	3,94	3,97	4,00
5,00	7,500	3,78	3,88	3,94	3,97	4,00

Dados:  $r_i = 34,50$  m     $K = 0,0035$  m/s     $f_k = 1,50$  [ / ]     $f_r = 1,00$  [ / ]     $h_0 = 4,2$  m

TABELA 6.16

Rebaixamentos [  $S_t$  (m) ] simulados no MSPGD para Ibiara com vazão constante

$f_r$ [ / ]	$f_k$ [ / ]	Diâmetro do poço (m)				
		1,97	4,06	6,27	7,67	9,86
0,50	0,750	0,50	0,39	0,33	0,31	0,27
0,75	1,125	0,47	0,36	0,30	0,28	0,24
1,00	1,500	0,46	0,35	0,29	0,26	0,23
1,25	1,875	0,45	0,34	0,28	0,25	0,22
1,50	2,250	0,44	0,34	0,28	0,25	0,22
2,00	3,000	0,43	0,33	0,27	0,24	0,21
3,00	4,500	0,43	0,32	0,26	0,24	0,20
4,00	6,000	0,42	0,32	0,26	0,23	0,20
5,00	7,500	0,42	0,32	0,26	0,23	0,20

Dados:  $r_i = 34.50$  m     $K = 0.0035$  m/s     $f_k = 1.50$  [ / ]     $f_r = 1.00$  [ / ]     $h_0 = 4.2$  m

TABELA 6.17

Cargas [  $h_u$  (m) ] simuladas no MSPGD para Ibiara com vazão variável

Diâmetro do Poço (m)	Vazões (m <sup>3</sup> /h)										
	25,00	30,00	35,00	40,00	45,00	50,00	55,00	60,00	65,00	70,00	75,00
1,97	3,98	3,93	3,89	3,84	3,79	3,74	3,69	3,64	3,59	3,54	3,49
4,06	4,03	3,99	3,96	3,92	3,89	3,85	3,81	3,78	3,74	3,70	3,66
6,27	4,06	4,03	4,00	3,97	3,94	3,91	3,88	3,85	3,82	3,79	3,76
7,67	4,07	4,04	4,02	3,99	3,96	3,94	3,91	3,88	3,85	3,83	3,80
9,86	4,09	4,06	4,04	4,02	3,99	3,97	3,95	3,92	3,90	3,88	3,85

Dados:  $r_i = 34.50$  m     $K = 0.0035$  m/s     $f_k = 1.50$  [ / ]     $f_r = 1.00$  [ / ]     $h_0 = 4.2$  m

TABELA 6.18

Rebaixamentos [  $S_t$  (m)] simulados no MSPGD para Ibiara com vazão variável

Diâmetro do poço (m)	Vazões (m <sup>3</sup> /h)										
	25,00	30,00	35,00	40,00	45,00	50,00	55,00	60,00	65,00	70,00	75,00
1,97	0,22	0,27	0,31	0,36	0,41	0,46	0,51	0,56	0,61	0,66	0,71
4,06	0,17	0,21	0,24	0,28	0,31	0,35	0,39	0,42	0,46	0,50	0,54
6,27	0,14	0,17	0,20	0,23	0,26	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,44
7,67	0,13	0,16	0,18	0,21	0,24	0,26	0,29	0,32	0,35	0,37	0,40
9,86	0,11	0,14	0,16	0,18	0,21	0,23	0,25	0,28	0,30	0,32	0,35

Dados:  $r_i = 34.50$  m     $K = 0.0035$  m/s     $f_k = 1.50$  [ / ]     $f_r = 1.00$  [ / ]     $h_0 = 4.2$  m

TABELA 6.19

Vazões (m<sup>3</sup>/h) simuladas no MSPGD para Ibiara resultando o mesmo  $S_t = 0,39$  m

$f_r$ [ / ]	$f_k$ [ / ]	Diâmetro do poço (m)				
		1,97	4,06	6,27	7,67	9,86
0,50	0,750	39,00	50,00	58,00	63,00	70,00
0,75	1,125	42,00	53,00	63,00	69,00	78,00
1,00	1,500	43,00	56,00	67,00	73,00	84,00
1,25	1,875	44,00	57,00	68,00	76,00	87,00
1,50	2,250	44,00	58,00	69,00	76,00	89,00
2,00	3,000	45,00	59,00	71,00	79,00	91,00
3,00	4,500	46,00	60,00	73,00	81,00	94,00
4,00	6,000	46,00	61,00	74,00	82,00	96,00
5,00	7,500	46,00	61,00	74,00	83,00	97,00

Dados:  $r_i = 34.50$  m     $K = 0.0035$  m/s     $h_0 = 4.2$  m.

### 6.2.2.2 - Resultados da simulação de Jericó

Da mesma forma, que foram construídas as tabelas com os resultados da simulação de Ibiara, também foram construídas as tabelas com os resultados de Jericó, e estão apresentados nas tabelas 6.20 à 6.24.

**TABELA 6.20**

Cargas [  $h_w$  (m) ] simuladas no MSPGD para Jericó com vazão constante

$f_r$	$f_k$	Diâmetro do poço (m)				
		1,98	3,80	5,49	7,06	9,88
0,50	0,60	3,94	4,23	4,38	4,48	4,63
0,75	0,90	4,05	4,34	4,49	4,59	4,73
<b>1,00</b>	<b>1,20</b>	4,11	<b>4,39</b>	<b>4,54</b>	4,64	4,78
1,25	1,50	4,14	4,42	4,57	4,67	4,80
1,50	1,80	4,16	4,44	4,59	4,69	4,82
2,00	2,40	4,19	4,47	4,61	4,71	4,85
3,00	3,60	4,22	4,50	4,64	4,74	4,87
4,00	4,80	4,23	4,51	4,65	4,75	4,88
5,00	6,00	4,24	4,52	4,66	4,76	4,89

Dados:  $r_i = 24.70$  m     $K = 0.00135$  m/s     $Q = 65.00$  m<sup>3</sup>/h     $h_0 = 5.30$  m

**TABELA 6.21**

Rebaixamentos [  $S_t$  (m) ] simulados no MSPGD para Jericó com vazão constante

$f_r$	$f_k$	Diâmetro do poço (m)				
		1,98	3,80	5,49	7,06	9,88
0,50	0,60	1,36	1,07	0,92	0,82	0,67
0,75	0,90	1,25	0,96	0,81	0,71	0,57
<b>1,00</b>	<b>1,20</b>	1,19	<b>0,91</b>	0,76	0,66	0,52
1,25	1,50	1,16	0,88	0,73	0,63	0,50
1,50	1,80	1,14	0,86	0,71	0,61	0,48
2,00	2,40	1,11	0,83	0,69	0,59	0,45
3,00	3,60	1,08	0,80	0,66	0,56	0,43
4,00	4,80	1,07	0,79	0,65	0,55	0,42
5,00	6,00	1,06	0,78	0,64	0,54	0,41

Dados:  $r_i = 24.70$  m     $K = 0.00135$  m/s     $Q = 65.00$  m<sup>3</sup>/h     $h_0 = 5.30$  m

TABELA 6.22

Cargas [  $h_w$  (m) ] simuladas no MSPGD para Jericó com vazão variável

Diâmetro do Poço (m)	Vazões (m <sup>3</sup> /h)								
	39,00	45,50	52,00	58,50	65,00	71,50	78,00	84,50	91,00
1,98	4,62	4,5	4,37	4,24	4,11	3,98	3,83	3,68	3,52
<b>3,80</b>	4,78	4,68	4,59	4,49	<b>4,39</b>	4,3	4,19	4,08	3,97
5,49	4,86	4,78	4,7	4,62	4,54	4,46	4,37	4,28	4,19
7,06	4,91	4,85	4,78	4,71	4,64	4,57	4,469	4,42	4,34
9,88	4,99	4,94	4,88	4,83	4,77	4,72	4,66	4,61	4,55

Dados:  $r_i = 24.70$  m  $K = 0.00135$  m/s  $f_k = 1.20$  [ / ]  $f_r = 1.00$  [ / ]  $h_0 = 5.30$  m

TABELA 6.23

Rebaixamentos [  $S_i$  (m) ] simulados no MSPGD para Jericó com vazão variável

Diâmetro do Poço (m)	Vazões (m <sup>3</sup> /h)								
	39,00	45,50	52,00	58,50	65,00	71,50	78,00	84,50	91,00
1,98	0,68	0,80	0,93	1,06	1,19	1,32	1,47	1,62	1,78
<b>3,80</b>	0,52	0,62	0,71	0,81	<b>0,91</b>	1,00	1,11	1,22	1,33
5,49	0,44	0,52	0,60	0,68	0,76	0,84	0,93	1,02	1,11
7,06	0,39	0,45	0,52	0,59	0,66	0,73	0,83	0,88	0,96
9,88	0,31	0,36	0,42	0,47	0,53	0,58	0,64	0,69	0,75

Dados:  $r_i = 24.70$  m  $K = 0.00135$  m/s  $f_k = 1.20$  [ / ]  $f_r = 1.00$  [ / ]  $h_0 = 5.30$  m

TABELA 6.24

Vazões ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) simuladas no MSPGD para Jericó resultando o mesmo  $S_t = 0,91 \text{ m}$ 

$f_r$ [/]	$f_k$ [/]	Diâmetro do poço (m)				
		1,98	<b>3,80</b>	5,49	7,06	9,88
0,50	0,60	45,30	56,00	64,50	72,00	86,00
0,75	0,90	49,00	62,00	72,00	81,00	100,00
<b>1,00</b>	<b>1,20</b>	51,00	<b>65,00</b>	76,50	87,00	108,00
1,25	1,50	52,50	67,50	79,50	91,00	114,00
1,50	1,80	53,50	69,00	81,50	93,50	119,00
2,00	2,40	54,50	71,00	84,00	97,00	125,00
3,00	3,60	55,50	73,00	<b>87,00</b>	101,00	131,00
4,00	4,80	56,50	74,00	89,00	103,00	135,00
5,00	6,00	56,50	74,50	89,50	105,00	137,00

Dados:  $r_i = 24,70 \text{ m}$     $K = 0,00135 \text{ m/s}$     $h_0 = 5,30 \text{ m}$ 

Os dados em negrito nas tabelas 6.20 à 6.24 estão indicando o poço de referência para a cidade de Jericó, ou seja, o poço já existente na área existente na área.

### 6.2.2.3 – Resultados das simulações de Santa Cruz

Da mesma forma, que foram apresentados os resultados das duas primeiras áreas Ibiara e Jericó, também estão apresentados os resultados das simulações realizadas para a cidade de Santa Cruz, estando as mesmas numeradas nas Tabelas 6.25 a 6.29.

Os dados em negrito nas tabelas mencionadas estão indicando o poço de referência para a cidade de Santa Cruz, ou seja, o poço já existente na área, e que foi utilizado para calibrar o modelo MSPGD para Santa Cruz.

TABELA 6.25

Cargas [  $h_w$  (m) ] simuladas no MSPGD para Santa Cruz com vazão constante

$f_r$ [ / ]	$f_k$ [ / ]	Diâmetro do poço (m) - $\phi_{\text{poço}}$				
		2,00	4,13	5,64	8,86	12,40
0,50	0,650	3,74	4,03	4,15	4,31	4,43
0,75	0,975	3,84	4,12	4,23	4,39	4,51
<b>1,00</b>	<b>1,300</b>	<b>3,88</b>	4,16	4,27	4,43	4,55
1,25	1,625	3,91	4,19	4,30	4,45	4,57
1,50	1,950	3,93	4,21	4,32	4,47	4,59
2,00	2,600	3,95	4,23	4,34	4,49	4,61
3,00	3,900	3,97	4,25	4,36	4,51	4,63
4,00	5,200	3,99	4,26	4,37	4,52	4,64
5,00	6,500	3,99	4,27	4,37	4,52	4,64

Dados:  $r_i = 31,00$  m  $K = 0,0003$  m/s  $f_k = 1,30$  [ / ]  $f_r = 1,00$  [ / ]  $h_0 = 4,20$  m

TABELA 6.26

Rebaixamentos [  $S_i$  (m) ] simulados no MSPGD para Santa Cruz

com vazão constante

$f_r$ [ / ]	$f_k$ [ / ]	Diâmetro do poço (m) - $\phi_{\text{poço}}$				
		2,00	4,13	5,64	8,86	12,40
0,50	0,650	1,26	0,97	0,85	0,69	0,57
0,75	0,975	1,16	0,88	0,77	0,61	0,49
<b>1,00</b>	<b>1,300</b>	<b>1,12</b>	0,84	0,73	0,57	0,45
1,25	1,625	1,09	0,81	0,70	0,55	0,43
1,50	1,950	1,07	0,79	0,68	0,53	0,41
2,00	2,600	1,05	0,77	0,66	0,51	0,39
3,00	3,900	1,03	0,75	0,64	0,49	0,37
4,00	5,200	1,01	0,74	0,63	0,48	0,36
5,00	6,500	1,01	0,73	0,63	0,48	0,36

Dados:  $r_i = 31,00$  m  $K = 0,0003$  m/s  $f_k = 1,30$  [ / ]  $f_r = 1,00$  [ / ]  $h_0 = 4,20$  m

TABELA 6.27

Cargas [  $h_w$  (m) ] simuladas no MSPGD para Santa Cruz com vazão variável

Diâmetro do Poço (m)	Vazões (m <sup>3</sup> /h)										
	6,00	7,20	8,40	9,60	10,80	12,00	13,20	14,40	15,60	16,80	18,00
2,00	4,48	4,36	4,25	4,13	4,01	3,88	3,75	3,62	3,48	3,33	3,18
4,13	4,60	4,52	4,43	4,34	4,26	4,16	4,07	3,98	3,88	3,78	3,68
5,64	4,65	4,58	4,50	4,43	4,35	4,27	4,19	4,11	4,03	3,95	3,86
8,86	4,72	4,67	4,61	4,55	4,49	4,43	4,37	4,30	4,24	4,18	4,11
12,40	4,78	4,73	4,69	4,64	4,60	4,55	4,50	4,45	4,40	4,36	4,31

Dados:  $r_i = 31,00$  m    $K = 0,0003$  m/s    $f_k = 1,30$  [ / ]    $f_r = 1,00$  [ / ]    $h_0 = 4,20$  m

TABELA 6.28

Rebaixamentos [  $S_i$  (m) ] simulados no MSPGD para Santa Cruz com vazão variável

Diâmetro do Poço (m)	Vazões (m <sup>3</sup> /h)										
	6,00	7,20	8,40	9,60	10,80	12,00	13,20	14,40	15,60	16,80	18,00
2,00	0,52	0,64	0,75	0,87	0,99	1,12	1,25	1,38	1,52	1,67	1,82
4,13	0,40	0,48	0,57	0,66	0,74	0,84	0,93	1,02	1,12	1,22	1,32
5,64	0,35	0,42	0,50	0,57	0,65	0,73	0,81	0,89	0,97	1,05	1,14
8,86	0,28	0,33	0,39	0,45	0,51	0,57	0,63	0,70	0,76	0,82	0,89
12,40	0,22	0,27	0,31	0,36	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,64	0,69

Dados:  $r_i = 31,00$  m    $K = 0,0003$  m/s    $f_k = 1,30$  [ / ]    $f_r = 1,00$  [ / ]    $h_0 = 4,20$  m



**TABELA 6.29**  
 Vazões (m<sup>3</sup>/h) simuladas no MSPGD para Santa Cruz  
 resultando o mesmo  $S_t = 1,12$  m

$f_r$ [ / ]	$f_k$ [ / ]	Diâmetro do poço (m) – $\phi_{\text{poço}}$				
		2,00	4,13	5,64	8,86	12,40
0,50	0,650	10,90	13,70	15,30	18,50	22,20
0,75	0,975	11,60	14,90	16,80	20,70	25,50
1,00	1,300	12,00	15,60	17,70	22,10	27,70
1,25	1,625	12,30	16,00	18,30	23,00	29,10
1,50	1,950	12,50	16,30	18,70	23,70	30,10
2,00	2,600	12,70	16,70	19,20	24,50	31,50
3,00	3,900	13,00	17,20	19,80	25,60	33,20
4,00	5,200	13,10	17,30	20,10	26,00	34,00
5,00	6,500	13,20	17,50	20,30	26,30	34,50

Dados:  $r_i = 31,00$  m     $K = 0,0003$  m/s     $h_0 = 4,20$  m.

### 6.3 - Calibragem do modelo MSPT para duas áreas de pesquisa: Ibiara e Jericó.

Apesar de estarmos falando sempre em três áreas de pesquisa, para trabalharmos com o programa MSPT, foram utilizadas apenas duas áreas: Ibiara e Jericó. Isso ocorreu, devido a não existência de dados de poços tubulares para a região de Santa Cruz.

#### 6.3.1 - Calibragem para a região de Ibiara

Para iniciar o processo de calibragem do poço tubular para a cidade de Ibiara, utilizamos dos dados de campo obtidos do relatório do CDRM, os quais já foram apresentados na Tabela 4.1, a qual nos forneceu a vazão de exploração ( $Q = 23,00$  m<sup>3</sup>/h), espessura da camada saturada ( $h_s = 3,40$  m) e as posições dos dois piezômetros ali instalados a 5,00 e 10 m, e seus respectivos rebaixamentos.

Como já havíamos calculado o raio de influência para poço amazonas, resolvemos utilizar um raio de influência para poço tubular, sendo um valor aproximado, já que existe uma limitação no Turbo Pascal (linguagem do modelo) na quantidade de nós a serem calculados. Desta forma optou-se pôr um valor de raio de influência que fosse múltiplo de 5, para que o nó de 5,00 e 10,00 m de distância ao poço fosse mostrado na calibragem, de forma a facilitar a comparação dos rebaixamentos obtidos no poço, e nos dois piezômetros. Como o raio de influência para a cidade de Ibiara, para poço amazonas, foi de 34,50 m, adotamos um raio de influência com valor de 30,00 m para o poço tubular da mesma área.

Decidido o raio de influência a ser utilizado, foi adotada a rede (13,15) para simular os dados de poço tubular. Inseridos todos esses dados dentro do programa, partiu-se para calibrar o valor da permeabilidade (neste caso não se utiliza o conceito de fator de filtro), utilizando a permeabilidade do meio.

Iniciou-se a calibragem utilizando os dados de permeabilidade representativa, porém estes não davam bons resultados ao comparar os rebaixamentos no poço e nos piezômetros 1 e 2, contudo foi alterado o valor da permeabilidade dentro do modelo até que chegasse-mos em valores de rebaixamento para os três nós da malha, que resultavam nas menores diferenças possíveis, considerando assim o poço tubular calibrado.

Foram considerados parâmetros de calibragem do modelo MSPT para a cidade de Ibiara, os seguintes:

$$\begin{aligned} R_i &= 30,00 \text{ m} \\ \text{Rede} &= (13,15) \\ K &= 1,05 \cdot 10^{-3} \text{ m/s} \\ Q &= 50,00 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

### 6.3.2 - Calibragem para a região de Jericó

O processo de calibragem foi o mesmo utilizado para a cidade de Ibiara.

Para iniciar o processo de calibragem do poço tubular para a cidade de Jericó, utilizamos dos dados de campo obtidos do relatório do CDRM, os quais já foram apresentados na Tabela 4.2, a qual nos forneceu a vazão de exploração ( $Q = 29,00 \text{ m}^3/\text{h}$ ),

espessura da camada saturada ( $h_0 = 5,50$  m) e as posições dos três piezômetros ali instalados a 8,00 ; 16,00 e 20,00 m, e seus respectivos rebaixamentos.

Como já havíamos calculado o raio de influência para poço amazonas, resolvemos utilizar um raio de influência para poço tubular, sendo um valor aproximado, já que existe uma limitação no Turbo Pascal (linguagem do modelo) na quantidade de nós a serem calculados. Desta forma optou-se por um valor de raio de influência que fosse múltiplo de 4, para que o nó de 8,00 ; 16,00 e 20,00 m de distância ao poço fosse mostrado na calibragem, de forma a facilitar a comparação dos rebaixamentos obtidos no poço, e nos dois piezômetros. Como o raio de influência para a cidade de Jericó, para poço amazonas, foi de 24,70 m, adotamos um raio de influência com valor de 24,00 m para o poço tubular da mesma área.

Decidido o raio de influência a ser utilizado, foi adotada a rede (13,15) para simular os dados de poço tubular. Inseridos todos esses dados dentro do programa, partiu-se para calibrar o valor da permeabilidade (neste caso não se utiliza o conceito de fator de filtro), utilizando a permeabilidade do meio.

Iniciou-se a calibragem utilizando os dados de permeabilidade representativa, porém estes não davam bons resultados ao comparar os rebaixamentos no poço e nos piezômetros 1, 2 e 3, contudo foi alterado o valor da permeabilidade dentro do modelo até que chegasse-mos em valores de rebaixamento para os quatro nós da malha, que resultavam nas menores diferenças possíveis, considerando assim o poço tubular calibrado.

Foram considerados parâmetros de calibragem do modelo MSPT para a cidade de Jericó, os seguintes:

$R_i =$	24,00 m
Rede =	(13,15)
$K =$	$5,37 \cdot 10^{-4}$ m/s
$Q =$	29,00 m <sup>3</sup> /h

## 6.4 – Simulações realizadas no modelo MSPT para as duas áreas de pesquisa

### 6.4.1 – Dados utilizados nas simulações das duas áreas

Com programa já calibrado para as duas áreas confeccionamos uma tabela da variação da vazão, semelhante a elaborada para poço de grande diâmetro, na qual a vazão de 100% corresponde a vazão real de exploração, e a mesma é variada de 50 a 150% deste valor, e foram simuladas para as duas áreas.

**TABELA 6.30**

Vazões (m<sup>3</sup>/h) utilizadas nas simulações de PT para Ibiara e Jericó

Cidade	Porcentagem da vazão considerada										
	50%	60%	70%	80%	90%	100%	110%	120%	130%	140%	150%
Ibiara	11.50	13.80	16.10	18.40	20.70	23,00	25.30	27.60	29.90	32.20	34.50
Jericó	14.50	17.40	20.30	23.20	26.10	29,00	31.90	34.80	37.70	40.60	43.50

### 6.4.2 – Resultados obtidos com a simulação das duas áreas

Realizada as simulações para as duas áreas, foram obtidos resultados das cargas nos nós da malha, observando principalmente as existentes no nó central, que representa o poço tubular simulado. Através da tabela com as cargas simuladas no poço, foi elaborada a tabela dos rebaixamentos observados.

#### 6.4.2.1 – Resultados da simulação de Ibiara

**TABELA 6.31**

Cargas(m) obtidas da simulação de diversas vazões para PT cidade Ibiara

Cidade	Vazão (m <sup>3</sup> /h)										
	11.50	13.80	16.10	18.40	20.70	23,00	25.30	27.60	29.90	32.20	34.50
Ibiara	2.89	2.78	2.66	2.54	2.41	2.27	2.13	1.97	1.80	1.62	1.41

TABELA 6.32

Rebaixamentos (m) obtidos da simulação de diversas vazões para PT cidade Ibiara

Cidade	Vazão (m <sup>3</sup> /h)										
	11,50	13,80	16,10	18,40	20,70	23,00	25,30	27,60	29,90	32,20	34,50
Ibiara	0,51	0,62	0,74	0,86	0,99	1,13	1,27	1,43	1,60	1,78	1,99

## 6.4.2.2 – Resultados da simulação de Jericó

TABELA 6.33

Cargas (m) obtidas da simulação de diversas vazões para PT cidade Jericó

Cidade	Vazão (m <sup>3</sup> /h)										
	14,50	17,40	20,30	23,20	26,10	29,00	31,90	34,80	37,70	40,60	43,50
Jericó	4,73	4,56	4,37	4,20	4,01	3,81	3,60	3,37	3,13	2,87	2,58

TABELA 6.34

Rebaixamentos (m) obtidos da simulação de diversas vazões para PT cidade Jericó

Cidade	Vazão (m <sup>3</sup> /h)										
	14,50	17,40	20,30	23,20	26,10	29,00	31,90	34,80	37,70	40,60	43,50
Jericó	0,77	0,94	1,13	1,30	1,49	1,69	1,90	2,13	2,37	2,63	2,92

## 6.5 – Simulação de dois poços no modelo MSPT para as duas áreas de pesquisa: Ibiara e Jericó.

Conforme mencionado no capítulo 5 quando falamos dos modelos, foram simulados dois poços para cada área em três posições distintas:

**Posição 1: (6,8) - (10,8)**

**Posição 2: (5,8) - (11,8)**

### Posição 3: (4,8) - (12,8)

Esta simulação de dois poços, em uma mesma área, foi realizada no intuito de observar a interferência que ocorre entre estes, explorando o mesmo aquífero.

A modificação da localização dos poços, para três posições distintas, ocorreu para enfatizar que: quanto mais próximos forem os poços, maior a interferência e menor o rendimento do poço, com relação a vazão de exploração.

#### 6.5.1 – Dados utilizados para a simulação das duas áreas

Tanto Ibiara quanto Jericó, já estavam calibrados para o modelo MSPT, com dados de um único poço. Desta forma aproveitamos esta calibragem, com exceção da vazão de exploração que foi reduzida em ambas as áreas, ficando menor que 50% da vazão de exploração, já que agora em vez de um foi inserido dois poços no mesmo aquífero. Sendo estabelecido que para cada um deles teria o valor da vazão ( $Q=10,00\text{m}^3/\text{h}$ ), em ambas as áreas, para que pudesse-mos comparar, os resultados obtidos para as duas localidades para as várias posições de poços simulados.

#### 6.5.2 – Resultados obtidos com a simulação das duas áreas

Da mesma forma que foi descrito para um único poço, os resultados são dados em cargas nos nós da malha simulada.

## 6.5.2.1 – Resultados da simulação de Ibiara

TABELA 6.35

Cargas(m) obtidas da simulação de dois poços PT cidade Ibiara – Posição 1

3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.38	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.35	3.33	3.35	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.40	3.32	3.25	3.23	3.25	3.32	3.40	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.31	3.21	3.12	3.07	3.12	3.21	3.31	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.32	3.22	3.09	2.94	2.80	2.94	3.09	3.22	3.32	3.40	3.40
3.40	3.35	3.27	3.16	2.99	2.72	2.15	2.72	2.99	3.16	3.27	3.35	3.40
3.38	3.34	3.25	3.13	2.96	2.72	2.45	2.72	2.96	3.13	3.25	3.34	3.38
3.40	3.35	3.27	3.16	2.99	2.72	2.15	2.72	2.99	3.16	3.27	3.35	3.40
3.40	3.40	3.32	3.22	3.09	2.94	2.80	2.94	3.09	3.22	3.32	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.31	3.21	3.12	3.07	3.12	3.21	3.31	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.40	3.32	3.25	3.23	3.25	3.32	3.40	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.35	3.33	3.35	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.38	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40

TABELA 6.36

Cargas(m) obtidas da simulação de dois poços PT cidade Ibiara – Posição 2

3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.38	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.33	3.31	3.33	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.40	3.31	3.22	3.18	3.22	3.31	3.40	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.31	3.20	3.07	2.95	3.07	3.20	3.31	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.34	3.24	3.11	2.89	2.41	2.89	3.11	3.24	3.34	3.40	3.40
3.40	3.36	3.30	3.21	3.08	2.94	2.80	2.94	3.09	3.21	3.30	3.36	3.40
3.39	3.35	3.29	3.20	3.08	2.96	2.88	2.96	3.08	3.20	3.29	3.35	3.39
3.40	3.36	3.30	3.21	3.08	2.94	2.80	2.94	3.09	3.21	3.30	3.36	3.40
3.40	3.40	3.34	3.24	3.11	2.89	2.41	2.89	3.11	3.24	3.34	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.31	3.20	3.07	2.95	3.07	3.20	3.31	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.40	3.31	3.22	3.18	3.22	3.31	3.40	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.33	3.31	3.33	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.38	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40

TABELA 6.37

Cargas(m) obtidas da simulação de dois poços PT cidade Ibiara – Posição 3

3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.34	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.27	3.15	3.27	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.40	3.30	3.11	2.67	3.11	3.30	3.40	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.35	3.27	3.16	3.05	3.16	3.27	3.35	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.37	3.33	3.28	3.22	3.18	3.22	3.28	3.33	3.37	3.40	3.40
3.40	3.38	3.36	3.32	3.28	3.25	3.23	3.25	3.28	3.32	3.36	3.38	3.40
3.40	3.38	3.36	3.32	3.29	3.25	3.24	3.25	3.29	3.32	3.36	3.38	3.40
3.40	3.38	3.36	3.32	3.28	3.25	3.23	3.25	3.28	3.32	3.36	3.38	3.40
3.40	3.40	3.37	3.33	3.28	3.22	3.18	3.22	3.28	3.33	3.37	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.35	3.27	3.16	3.05	3.16	3.27	3.35	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.40	3.30	3.11	2.67	3.11	3.30	3.40	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.27	3.15	3.27	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.34	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40

## 6.5.2.2 – Resultados da simulação de Jericó

TABELA 6.38

Cargas(m) obtidas da simulação de dois poços PT cidade Jericó – Posição 1

5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.48	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.45	5.43	5.45	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
5.50	5.50	5.50	5.50	5.43	5.37	5.34	5.37	5.43	5.50	5.50	5.50	5.50
5.50	5.50	5.50	5.42	5.33	5.25	5.21	5.25	5.33	5.42	5.50	5.50	5.50
5.50	5.50	5.43	5.34	5.22	5.09	4.97	5.09	5.22	5.34	5.43	5.50	5.50
5.50	5.46	5.39	5.28	5.13	4.91	4.47	4.91	5.13	5.28	5.39	5.46	5.50
5.49	5.44	5.37	5.26	5.11	4.91	4.69	4.91	5.11	5.26	5.37	5.44	5.49
5.50	5.46	5.39	5.28	5.13	4.91	4.47	4.91	5.13	5.28	5.39	5.46	5.50
5.50	5.50	5.43	5.34	5.22	5.09	4.97	5.09	5.22	5.34	5.43	5.50	5.50
5.50	5.50	5.50	5.42	5.33	5.25	5.21	5.25	5.33	5.42	5.50	5.50	5.50
5.50	5.50	5.50	5.50	5.43	5.37	5.34	5.37	5.43	5.50	5.50	5.50	5.50
5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.45	5.43	5.45	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.48	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50



**TABELA 6.39**

Cargas(m) obtidas da simulação de dois poços PT cidade Jericó – Posição 2

5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.49	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.46	5.44	5.46	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
5.50	5.50	5.50	5.50	5.44	5.39	5.36	5.39	5.44	5.50	5.50	5.50	5.50
5.50	5.50	5.50	5.45	5.38	5.30	5.23	5.30	5.38	5.45	5.50	5.50	5.50
5.50	5.50	5.46	5.40	5.32	5.20	4.94	5.20	5.32	5.40	5.46	5.50	5.50
5.50	5.48	5.44	5.38	5.31	5.22	5.14	5.22	5.31	5.38	5.44	5.48	5.50
5.49	5.47	5.43	5.37	5.31	5.23	5.19	5.23	5.31	5.37	5.43	5.47	5.49
5.50	5.48	5.44	5.38	5.31	5.22	5.14	5.22	5.31	5.38	5.44	5.48	5.50
5.50	5.50	5.46	5.40	5.32	5.20	4.94	5.20	5.32	5.40	5.46	5.50	5.50
5.50	5.50	5.50	5.45	5.38	5.30	5.23	5.30	5.38	5.45	5.50	5.50	5.50
5.50	5.50	5.50	5.50	5.44	5.39	5.36	5.39	5.44	5.50	5.50	5.50	5.50
5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.46	5.44	5.46	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.49	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50

**TABELA 6.40**

Cargas(m) obtidas da simulação de dois poços PT cidade Jericó – Posição 3

5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.46	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.42	5.35	5.42	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
5.50	5.50	5.50	5.50	5.44	5.33	5.08	5.33	5.44	5.50	5.50	5.50	5.50
5.50	5.50	5.50	5.47	5.42	5.36	5.29	5.36	5.42	5.47	5.50	5.50	5.50
5.50	5.50	5.48	5.46	5.43	5.39	5.37	5.39	5.43	5.46	5.48	5.50	5.50
5.50	5.49	5.48	5.45	5.43	5.41	5.40	5.41	5.43	5.45	5.48	5.49	5.50
5.50	5.49	5.47	5.45	5.43	5.41	5.40	5.41	5.43	5.45	5.47	5.49	5.50
5.50	5.49	5.48	5.45	5.43	5.41	5.40	5.41	5.43	5.45	5.48	5.49	5.50
5.50	5.50	5.48	5.46	5.43	5.39	5.37	5.39	5.43	5.46	5.48	5.50	5.50
5.50	5.50	5.50	5.47	5.42	5.36	5.29	5.36	5.42	5.47	5.50	5.50	5.50
5.50	5.50	5.50	5.50	5.44	5.33	5.08	5.33	5.44	5.50	5.50	5.50	5.50
5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.42	5.35	5.42	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.46	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50

## **CAPÍTULO 7**

### **UTILIZAÇÃO DOS PROGRAMAS PERDAS E ISONOVO5**

## 7 - UTILIZAÇÃO DOS PROGRAMAS PERDAS E ISONOVO 5

### 7.1 – Utilização do programa PERDAS

Para concluir os dados necessários para confeccionar as Curvas Características Hidrodinâmicas (CCH) propostas, para as três áreas pesquisadas, foi necessário utilizar também o programa PERDAS, já mencionado anteriormente, e desta forma encontrar a eficiência do poço, podendo então construir a CCH 5, que foi classificada na introdução, a qual é do tipo Diâmetro vs Eficiência do poço.

#### 7.1.1 - Dados de PGD das três áreas pesquisadas: Ibiara, Jericó e Santa Cruz.

Foram considerados como dados de entrada para a cidade de Ibiara, os resultados da Tabela 6.18 ( vazões – 30, 40, 50, 60, e 70 m<sup>3</sup>/h) para os cinco diâmetros simulados, para o modelo MSPGD. Para serem utilizados, os dados de vazões foram transformados para m<sup>3</sup>/dia, e só então foi construída a nova tabela de dados de entrada no programa PERDAS, Tabela 7.1.

Da mesma forma, foram considerados como dados de entrada para a cidade de Jericó, os resultados da Tabela 6.23 ( vazões – 39, 52, 65, 78, e 91 m<sup>3</sup>/h) para os cinco diâmetros simulados, para o modelo MSPGD. Para serem utilizados, os dados de vazões foram transformados para m<sup>3</sup>/dia, e só então foi construída a nova tabela de dados de entrada no programa PERDAS, Tabela 7.2.

Finalizando, os dados de entrada para a cidade de Santa Cruz, provém da Tabela 6.28 ( vazões – 7.2; 9.6; 12.0; 14.4 e 16.8 m<sup>3</sup>/h) para os cinco diâmetros simulados, para o modelo MSPGD. Para serem utilizados, os dados de vazões foram transformados para m<sup>3</sup>/dia, e só então foi construída a nova tabela de dados de entrada no programa PERDAS, Tabela 7.3.

Nas tabelas 7.1 a 7.3, estão em negrito a vazão de referência e o seu respectivo rebaixamento para cada diâmetro simulado.

TABELA 7.1

Dados de  $S_t \times Q$  para poço amazonas de Ibiara

Ø1.97m	Rebaixamentos (m)				Q (m <sup>3</sup> /dia)
	Ø4.06m	Ø6.27m	Ø7.67m	Ø9.86m	
0.27	0.21	0.17	0.16	0.14	720
0.36	0.28	0.23	0.21	0.18	960
<b>0.46</b>	<b>0.35</b>	<b>0.29</b>	<b>0.26</b>	<b>0.23</b>	<b>1200</b>
0.56	0.42	0.35	0.32	0.28	1440
0.66	0.50	0.41	0.37	0.32	1680

TABELA 7.2

Dados de  $S_t \times Q$  para poço amazonas de Jericó

Ø1.98m	Rebaixamentos (m)				Q (m <sup>3</sup> /dia)
	Ø3.80m	Ø5.49m	Ø7.06m	Ø9.88m	
0.68	0.52	0.44	0.39	0.31	936
0.93	0.71	0.60	0.52	0.42	1248
<b>1.19</b>	<b>0.91</b>	<b>0.76</b>	<b>0.66</b>	<b>0.53</b>	<b>1560</b>
1.47	1.11	0.93	0.83	0.64	1872
1.78	1.33	1.11	0.96	0.75	2184

TABELA 7.3

Dados de  $S_t \times Q$  para poço amazonas de Santa Cruz

Ø2.00m	Rebaixamentos (m)				Q (m <sup>3</sup> /dia)
	Ø4.13m	Ø5.64m	Ø8.86m	Ø12.40m	
0.64	0.48	0.42	0.33	0.27	172.8
0.87	0.66	0.57	0.45	0.36	230.4
<b>1.12</b>	<b>0.84</b>	<b>0.73</b>	<b>0.57</b>	<b>0.45</b>	<b>288.0</b>
1.38	1.02	0.89	0.70	0.55	345.6
1.67	1.22	1.05	0.82	0.64	403.2

### 7.1.2 - Dados de PT das duas áreas de pesquisa: Ibiara e Jericó.

Foram considerados como dados de entrada para a cidade de Ibiara, os resultados da Tabela 6.32 ( vazões – 11.5; 18.4; 23.0; 27.6 e 32.2 m<sup>3</sup>/h) para poço tubular, obtidos do modelo MSPT. Para serem utilizados, os dados de vazões foram transformados para m<sup>3</sup>/dia, e só então foi construída a nova tabela de dados de entrada no programa PERDAS, Tabela 7.4.

Da mesma forma, foram considerados como dados de entrada para a cidade de Jericó, os resultados da Tabela 6.34 ( vazões – 17.4; 23.2; 29.0; 34.8 e 40.6 m<sup>3</sup>/h) para poço tubular, obtidos do modelo MSPT. Para serem utilizados, os dados de vazões foram transformados para m<sup>3</sup>/dia, e só então foi construída a nova tabela de dados de entrada no programa PERDAS, Tabela 7.5.

Nas tabelas 7.4 e 7.5, estão em negrito o poço de referência.

**TABELA 7.4**

Dados  $S_t \times Q$  para poço tubular de Ibiara

$S_t$ (m)	0.51	0.86	<b>1.13</b>	1.43	1.78
Q (m <sup>3</sup> /dia)	331.20	441.60	<b>552.00</b>	662.40	772.80

**TABELA 7.5**

Dados  $S_t \times Q$  para poço tubular de Jericó

$S_t$ (m)	0.94	1.30	<b>1.69</b>	2.13	2.63
Q (m <sup>3</sup> /dia)	417.60	556.80	<b>696.00</b>	835.20	974.40

### 7.1.3 – Resultados obtidos com o programa PERDAS para as três áreas de PGD pesquisadas.

Após a construção das tabelas, com os dados a serem introduzidos no programa PERDAS, foi então realizada as iterações. Para PGD foram utilizados os dados das Tabelas 7.1 a 7.3.

Os resultados do programa bem como o cálculo da eficiência do poço PGD para as três áreas, e todos os diâmetros considerados, estão apresentados nas Tabelas 7.6 a 7.20.

A nomenclatura utilizada nas tabelas 7.6 a 7.22 é:

$S_t$  (m) – Perda total ou rebaixamento;

$Q$  (m<sup>3</sup>/dia) – Vazão considerada;

$S_f$  (m) – Perda de formação;

$E$ (%) – Eficiência do poço calculada;

$C_f$  – Coeficiente de formação;

C.A. – Coeficiente angular da equação;

C.C. – Coeficiente de correlação da equação, que melhor representou os pontos;

$C_p$  – Coeficiente de poço.

**TABELA 7.6**

Resultado da eficiência para poço amazonas de  $\varnothing 1,97\text{m}$  - Ibiara

$S_t$ (m)	$Q$ (m <sup>3</sup> /dia)	$S_f$ (m)	$S_c$ (m)	$E$ (%)	
0,27	720	0,2680	0,0020	99,26	$C_f = 0,0006$
0,36	960	0,3600	0,0000	100,00	$C.A. = 0,059846$
0,46	1200	0,4600	0,0000	100,00	$C.C. = 0,97779$
0,56	1440	0,5580	0,0020	99,64	$C_p = 1,47E+00$
0,66	1680	0,6570	0,0030	99,55	

TABELA 7.7

Resultado da eficiência para poço amazonas de  $\varnothing 4,06$  m - Ibiara

$S_r$ (m)	Q(m <sup>3</sup> /dia)	$S_r$ (m)	$S_p$ (m)	E (%)	
0,21	720	0,2080	0,0020	99,05	$C_1 = 0,0006$
0,28	960	0,2790	0,0010	99,64	$C.A. = 0,017128$
0,35	1200	0,3500	0,0000	100,00	$C.C. = 0,6361$
0,42	1440	0,4200	0,0000	100,00	$C_p = 1,07E+00$
0,50	1680	0,4930	0,0070	98,60	

TABELA 7.8

Resultado da eficiência para poço amazonas de  $\varnothing 6,27$  m - Ibiara

$S_r$ (m)	Q(m <sup>3</sup> /dia)	$S_r$ (m)	$S_p$ (m)	E (%)	
0,17	720	0,1700	0,0000	100,00	$C_1 = 0,0006$
0,23	960	0,2300	0,0000	100,00	$C.A. = 0,038985$
0,29	1200	0,2900	0,0000	100,00	$C.C. = 0,9917$
0,35	1440	0,3500	0,0000	100,00	$C_p = 9,08E-01$
0,41	1680	0,4100	0,0000	100,00	

TABELA 7.9

Resultado da eficiência para poço amazonas de  $\varnothing 7,67$  m - Ibiara

$S_r$ (m)	Q(m <sup>3</sup> /dia)	$S_r$ (m)	$S_p$ (m)	E (%)	
0,16	720	0,1560	0,0040	97,50	$C_1 = 0,006$
0,21	960	0,2080	0,0020	99,05	$C.A. = -3,70E+00$
0,26	1200	0,2600	0,0000	100,00	$C.C. = 0,1145$
0,32	1440	0,3120	0,0080	97,50	$C_p = 7,76E-01$
0,37	1680	0,3630	0,0070	98,11	

TABELA 7.10

Resultado da eficiência para poço amazonas de  $\varnothing 9,86$  m - Ibiara

$S_r$ (m)	Q(m <sup>3</sup> /dia)	$S_r$ (m)	$S_p$ (m)	E (%)	
0,14	720	0,1380	0,0020	98,57	$C_1 = 0,0006$
0,18	960	0,1800	0,0000	100,00	$C.A. = -4,24E-03$
0,23	1200	0,2300	0,0000	100,00	$C.C. = 0,0924$
0,28	1440	0,2760	0,0040	98,57	$C_p = 6,86E-01$
0,32	1680	0,3200	0,0000	100,00	

TABELA 7.11

Resultado da eficiência para poço amazonas de  $\varnothing$  1,98 m - Jericó

$S_r$ (m)	Q(m <sup>3</sup> /dia)	$S_r$ (m)	$S_p$ (m)	E (%)	
0,68	936	0,6680	0,0120	98,24	$C_r = 0,0006$
0,93	1248	0,9240	0,0060	99,35	$C.A. = 0,13107$
1,19	1560	1,1900	0,0000	100,00	$C.C. = 0,9779$
1,47	1872	1,4620	0,0080	99,46	$C_p = 3,06E+00$
1,78	2184	1,7410	0,0390	97,81	

TABELA 7.12

Resultado da eficiência para poço amazonas de  $\varnothing$  3,80 m - Jericó

$S_r$ (m)	Q(m <sup>3</sup> /dia)	$S_r$ (m)	$S_p$ (m)	E (%)	
0,52	936	0,5170	0,0030	99,42	$C_r = 0,0006$
0,71	1248	0,7100	0,0000	100,00	$C.A. = 0,105788$
0,91	1560	0,9100	0,0000	100,00	$C.C. = 0,9922$
1,11	1872	1,1100	0,0000	100,00	$C_p = 2,29E+00$
1,33	2184	1,3200	0,0100	99,25	

TABELA 7.13

Resultado da eficiência para poço amazonas de  $\varnothing$  5,49 m - Jericó

$S_r$ (m)	Q(m <sup>3</sup> /dia)	$S_r$ (m)	$S_p$ (m)	E (%)	
0,44	936	0,4360	0,0040	99,09	$C_r = 0,0006$
<b>0,60</b>	1248	0,5960	0,0040	99,33	$C.A. = 0,883747$
<b>0,76</b>	1560	0,7600	0,0000	100,00	$C.C. = 9,86E-01$
<b>0,93</b>	1872	0,9270	0,0030	99,68	$C_p = 3,67E+00$
1,11	2184	1,0960	0,0140	98,74	

TABELA 7.14

Resultado da eficiência para poço amazonas de  $\varnothing$  7,06 m - Jericó

$S_r$ (m)	Q(m <sup>3</sup> /dia)	$S_r$ (m)	$S_p$ (m)	E (%)	
0,39	936	0,3800	0,0100	97,44	$C_r = 0,006$
0,52	1248	0,5190	0,0010	99,81	$C.A. = 0,078107$
0,66	1560	0,6600	0,0000	100,00	$C.C. = 0,8804$
0,83	1872	0,8030	0,0270	96,75	$C_p = 1,63E+00$
0,96	2184	0,9480	0,0120	98,75	



TABELA 7.15

Resultado da eficiência para poço amazonas de  $\varnothing$  9,88 m - Jericó

S <sub>r</sub> (m)	Q(m <sup>3</sup> /dia)	S <sub>r</sub> (m)	S <sub>p</sub> (m)	E (%)	
0,31	936	0,3100	0,0000	100,00	C <sub>r</sub> = 0,0006
0,42	1248	0,4200	0,0000	100,00	C.A. = 0,042705
0,53	1560	0,5300	0,0000	100,00	C.C. = 0,9914
0,64	1872	0,6400	0,0000	100,00	C <sub>p</sub> = 1,27E+00
0,75	2184	0,7500	0,0000	100,00	

TABELA 7.16

Resultado da eficiência para poço amazonas de  $\varnothing$  2,00 m – Santa Cruz

S <sub>r</sub> (m)	Q(m <sup>3</sup> /dia)	S <sub>r</sub> (m)	S <sub>p</sub> (m)	E (%)	
0,64	172,80	0,6290	0,0110	98,28	C <sub>r</sub> = 0,0006
0,87	230,40	0,8700	0,0000	100,00	C.A. = 0,129494
1,12	288,00	1,1200	0,0000	100,00	C.C. = 0,9756
1,38	345,60	1,3710	0,0090	99,35	C <sub>p</sub> = 1,94E+01
1,67	403,20	1,6380	0,0320	98,08	

TABELA 7.17

Resultado da eficiência para poço amazonas de  $\varnothing$  4,13 m – Santa Cruz

S <sub>r</sub> (m)	Q(m <sup>3</sup> /dia)	S <sub>r</sub> (m)	S <sub>p</sub> (m)	E (%)	
0,48	172,80	0,4800	0,0000	100,00	C <sub>r</sub> = 0,0005
0,66	230,40	0,6580	0,0020	99,70	C.A. = 0,095278
0,84	288,00	0,8400	0,0000	100,00	C.C. = 0,9988
1,02	345,60	1,0200	0,0000	100,00	C <sub>p</sub> = 1,34E+01
1,22	403,20	1,2140	0,0060	99,51	

TABELA 7.18

Resultado da eficiência para poço amazonas de  $\varnothing$  5,64 m – Santa Cruz

S <sub>r</sub> (m)	Q(m <sup>3</sup> /dia)	S <sub>r</sub> (m)	S <sub>p</sub> (m)	E (%)	
0,42	172,80	0,4190	0,0010	99,76	C <sub>r</sub> = 0,0002
0,57	230,40	0,5700	0,0000	100,00	C.A. = 0,08446
0,73	288,00	0,7300	0,0000	100,00	C.C. = 0,9963
0,89	345,60	0,8900	0,0000	100,00	C <sub>p</sub> = 1,13E+01
1,05	403,20	1,0500	0,0000	100,00	

TABELA 7.19

Resultado da eficiência para poço amazonas de  $\varnothing$  8,86 m – Santa Cruz

$S_r$ (m)	Q(m <sup>3</sup> /dia)	$S_c$ (m)	$S_p$ (m)	E (%)	
0,33	172,80	0,3290	0,0010	99,70	$C_t = 0,0003$
0,45	230,40	0,4480	0,0020	99,56	$C.A. = 0,077306$
0,57	288,00	0,5700	0,0000	100,00	$C.C. = 0,9913$
0,70	345,60	0,6940	0,0060	99,14	$C_p = 8,66E+00$
0,82	403,20	0,8190	0,0010	99,88	

TABELA 7.20

Resultado da eficiência para poço amazonas de  $\varnothing$  12,40 m – Santa Cruz

$S_r$ (m)	Q(m <sup>3</sup> /dia)	$S_c$ (m)	$S_p$ (m)	E (%)	
0,27	172,80	0,2670	0,0030	98,89	$C_t = 0,0002$
0,36	230,40	0,3580	0,0020	99,44	$C.A. = 0,022575$
0,45	288,00	0,4500	0,0000	100,00	$C.C. = 0,8065$
0,55	345,60	0,5420	0,0080	98,55	$C_p = 5,96E+00$
0,64	403,20	0,6350	0,0050	99,22	

#### 7.1.4 – Resultados obtidos com o programa PERDAS para as duas áreas de PT pesquisadas

Após a construção das tabelas, com os dados a serem introduzidos no programa PERDAS, foi então realizada as iterações. Para PT foram utilizados os dados das Tabelas 7.4 e 7.5, para Ibiara e Jericó.

Os resultados do programa bem como o cálculo da eficiência do poço PT para as duas áreas, estão apresentados nas Tabelas 7.21 e 7.22.

TABELA 7.21

Resultado da eficiência para PT de Ibiara

$S_r$ (m)	Q(m <sup>3</sup> /dia)	$S_c$ (m)	$S_p$ (m)	E (%)	
0,51	331,20	0,4800	0,0300	94,12	$C_t = 0,0000$
0,86	441,60	0,8190	0,0410	95,23	$C.A. = 0,494072$
1,13	552,00	1,1300	0,0000	100,00	$C.C. = 0,9645$
1,43	662,40	1,4700	-	-	$C_p = 1,24E-04$
1,78	772,80	1,8730	-	-	

TABELA 7.22

Resultado da eficiência para PT de Jericó

$S_r(m)$	$Q(m^3/dia)$	$S_r(m)$	$S_p(m)$	$E (%)$		
0,94	417,60	0,6640	0,2760	70,64	$C_f =$	0,0006
1,30	556,80	0,9580	0,3420	73,69	$C.A. =$	0,274198
1,69	696,00	1,2720	0,4180	75,27	$C.C. =$	0,9783
2,13	835,20	1,6050	0,5250	75,35	$C_p =$	3,04E-04
2,63	974,40	1,9540	0,6760	74,30		

## 7.2 – A utilização do programa ISONOVO5

Já o programa ISONOVO5, como mencionado anteriormente, é utilizado para construir as linhas PHI, devido as cargas hidráulicas observadas na simulação dos modelos MSPGD e MSPT, nas áreas pesquisadas. Apesar da rede de fluxo d'água possuir as linhas PHI e PSI, no nosso programa só plotamos as linhas PHI, por considerar que elas são representativas, utilizando para isto o mesmo incremento para facilitar a comparação das linhas de cada área pesquisada.

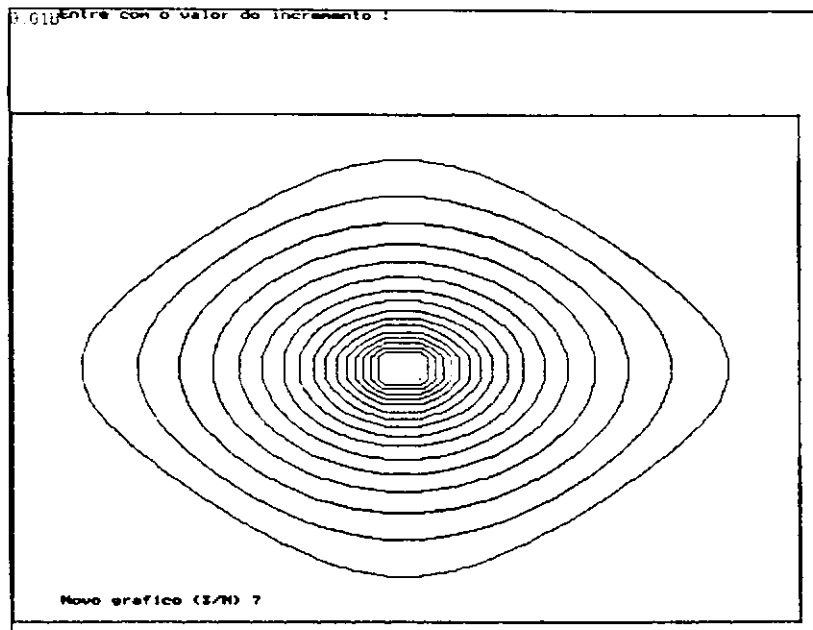
A utilização deste programa não era de fundamental importância para este trabalho, esta construção de curvas equipotenciais, serviu simplesmente a título de demonstração, podendo um outro pesquisador, trabalhar mais profundamente analisando todas as curvas e também plotando as curvas PSI, que aqui não foram plotadas.

Por tratar-se de simples demonstração a mesma não foi elaborada para as três áreas e sim para as duas primeiras: Ibiara e Jericó, de forma que pudesse-mos ter uma base mínima de comparação dos fatores que influem na mudança, ou seja, no comportamento dessas curvas.

O programa utilizou-se dos dados gerados pelo modelo MSPGD e MSPT, ou seja, as cargas hidráulicas.

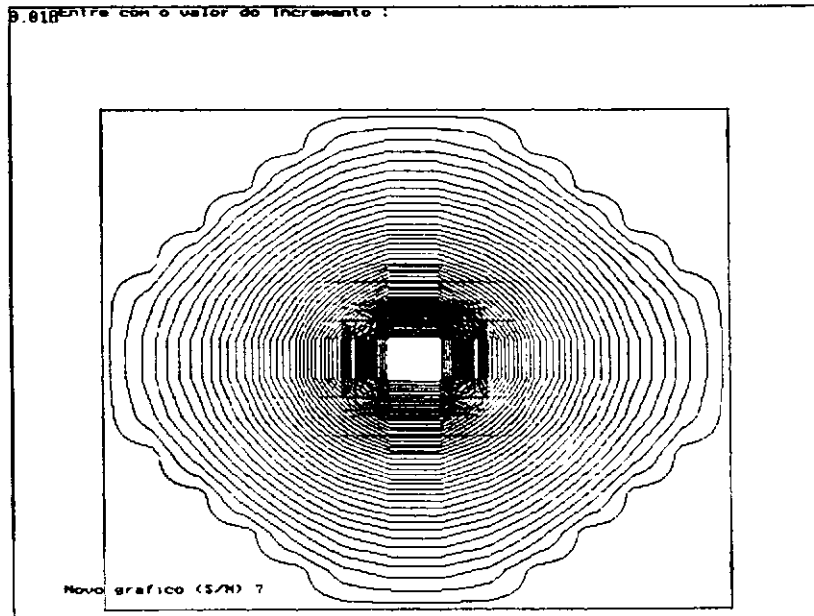
### 7.2.1 – Traçado das linhas PHI para PGD e PT de duas áreas – Ibiara e Jericó

Para efetuar a comparação, plotaremos as curvas PHI com as cargas hidráulicas de calibragem para Ibiara e Jericó, utilizando os dados que estão nos anexos.



$h_{\text{máx.}} = 4.20 \text{ m}$   
 $h_{\text{mín.}} = 3.90 \text{ m}$   
 $\Delta h = 0.018 \text{ m}$

Figura 7.1 - Traçado das linhas PHI para poço amazonas de calibragem de Ibiara



$h_{\text{máx.}} = 5.30 \text{ m}$   
 $h_{\text{mín.}} = 4.39 \text{ m}$   
 $\Delta h = 0.018 \text{ m}$

Figura 7.2- Traçado das linhas PHI para poço amazonas de calibragem de Jericó

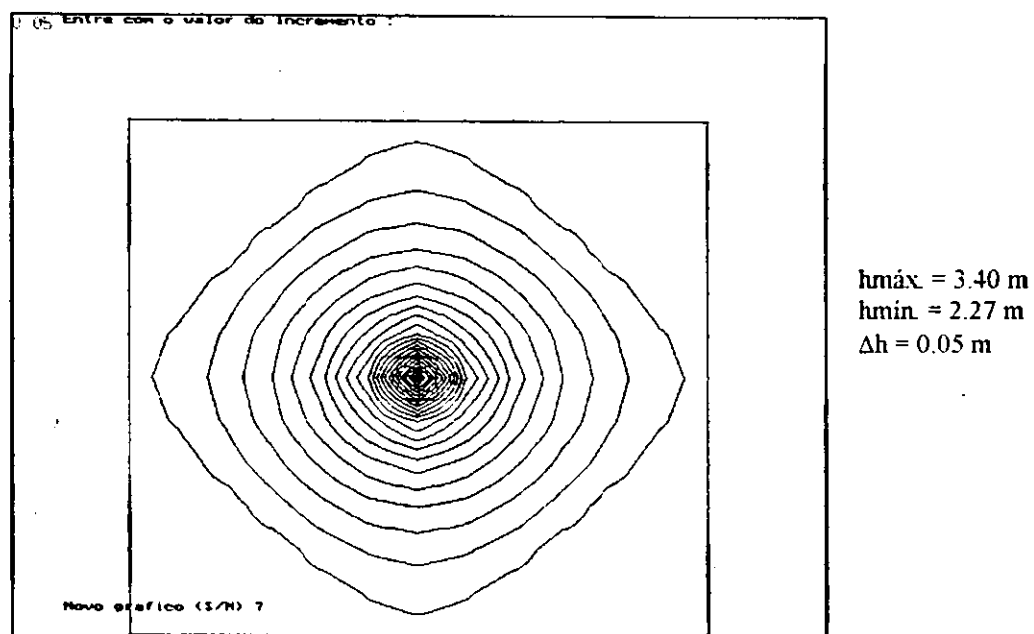


Figura 7.3 - Traçado das linhas PHI para PT de calibragem na Cidade Ibiara

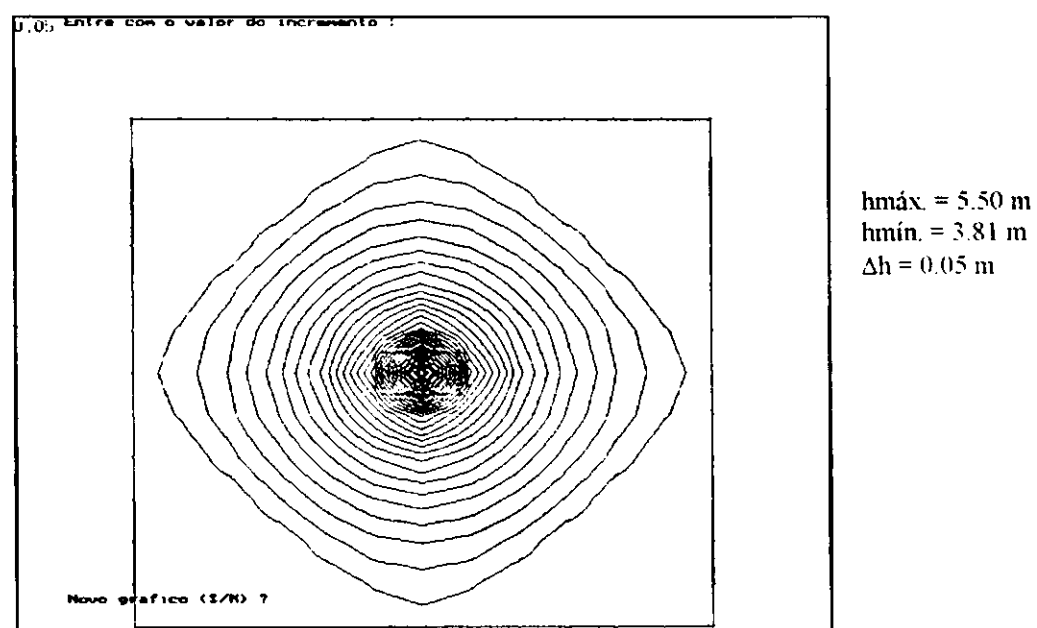
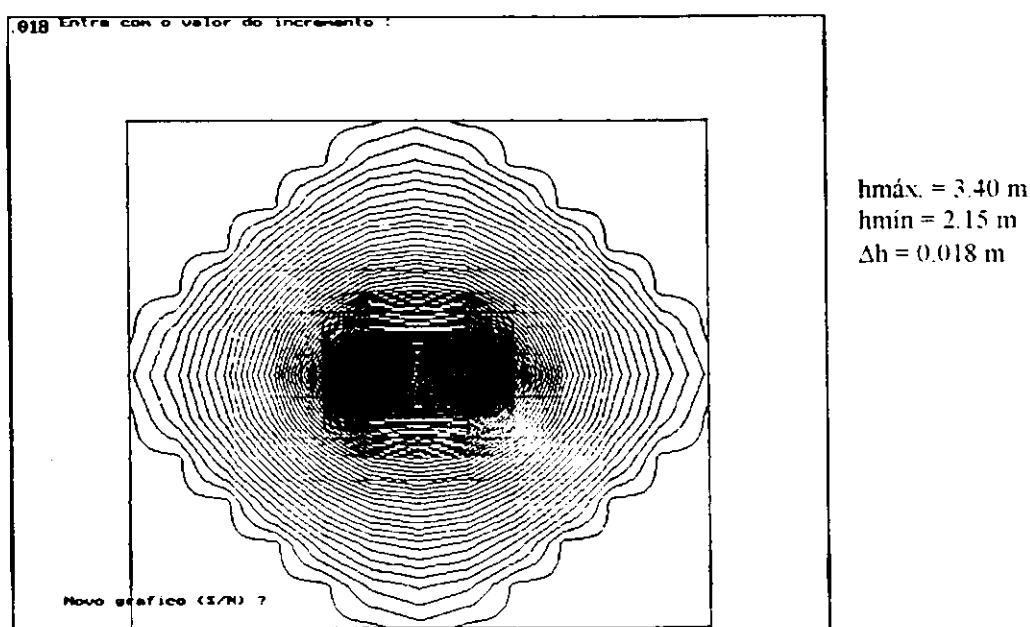


Figura 7.4 - Traçado das linhas PHI para PT de calibragem na Cidade Jericó

**7.2.2. – Traçado das linhas PHI para dois poços tubulares, inseridos na mesma área pesquisada: Ibiara e Jericó.**

Para plotar as curvas equipotenciais para as cidades de Ibiara e Jericó, foram utilizados os dados das Tabelas 6.35 a 6.40, as quais possuem as cargas hidráulicas obtidas da simulação de dois poços explorado um mesmo aquífero. Desta forma as curvas mostraram que quanto mais se afasta os poços, menor a interferência entre eles, o que já era esperado.



**Figura 7.5- Traçado das linhas PHI para dois poços PT situados em mesma área na Posição 1 – Cidade Ibiara**

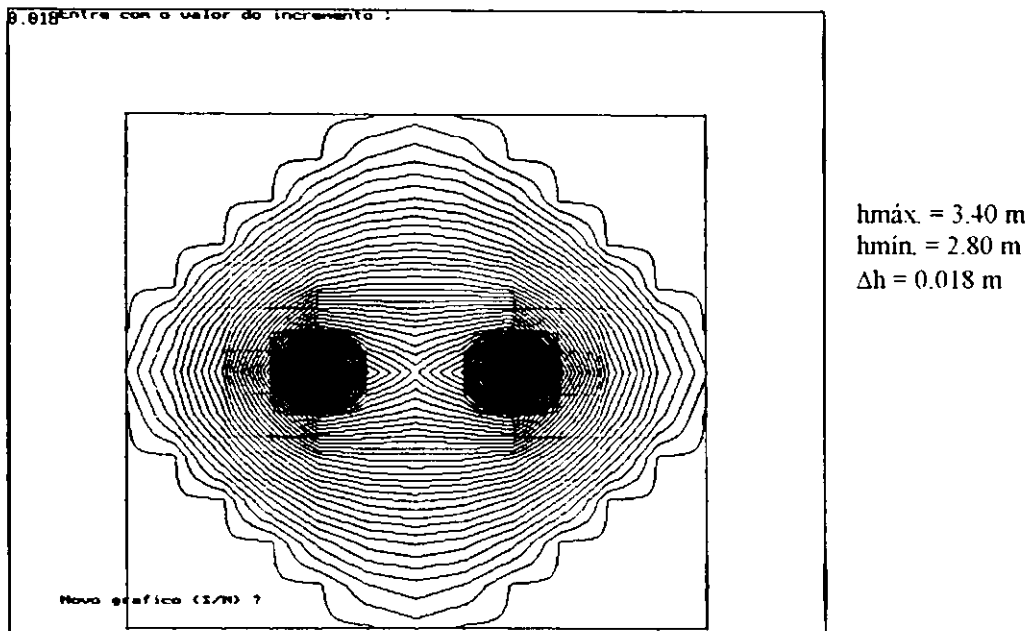


Figura 7.6- Traçado das linhas PHI para dois poços PT situados em mesma área na  
Posição 2 – Cidade Ibiara

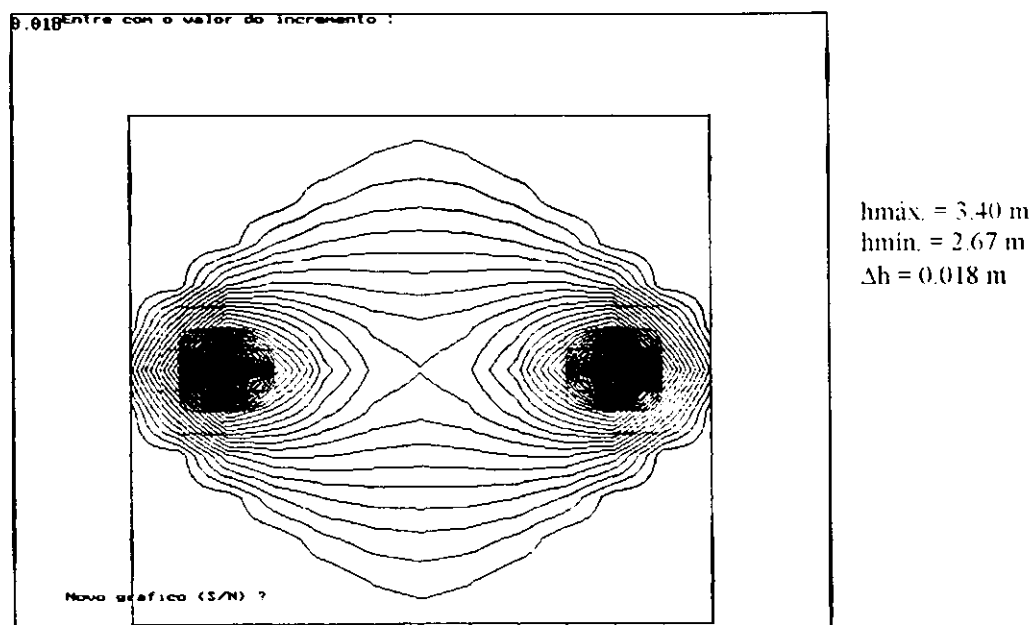
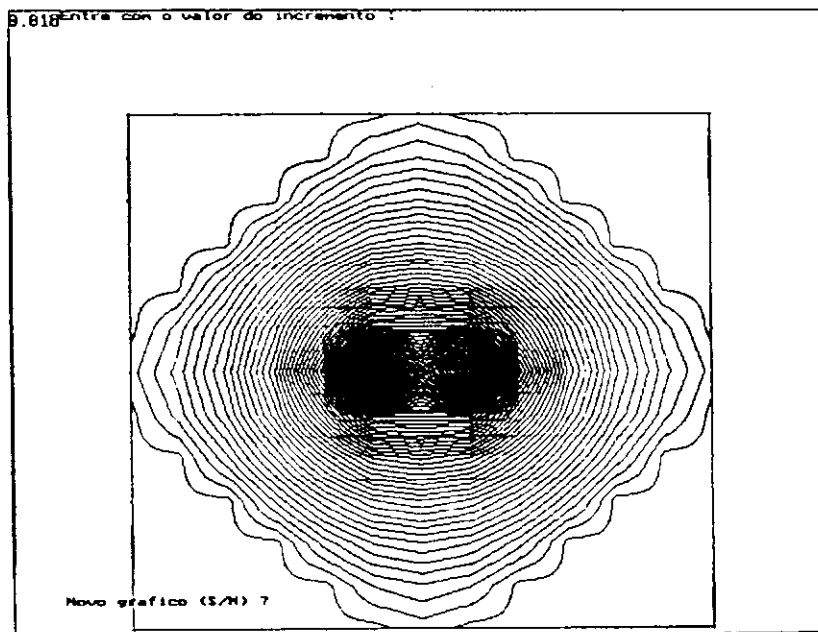
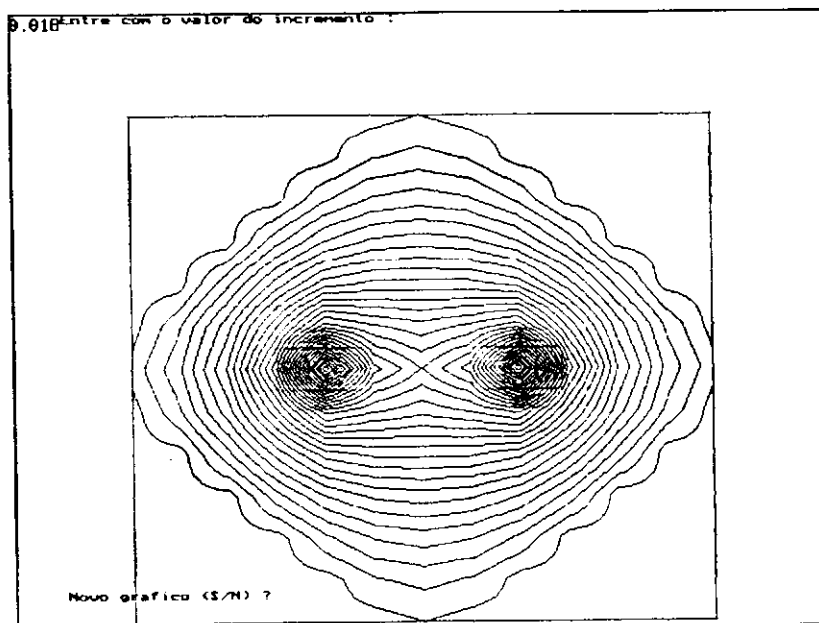


Figura 7.7- Traçado das linhas PHI para dois poços PT situados em mesma área na  
Posição 3 – Cidade Ibiara



h<sub>máx.</sub> = 5.50 m  
 h<sub>mín.</sub> = 4.47 m  
 $\Delta h = 0.018$  m

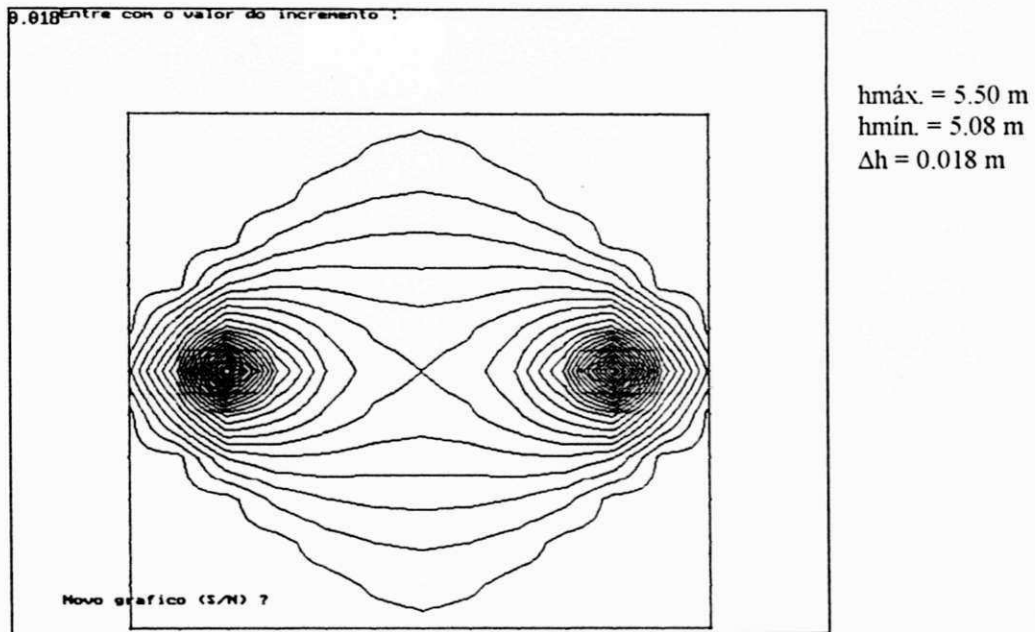
Figura 7.8- Traçado das linhas PHI para dois poços PT situados em mesma área na  
 Posição 1 – Cidade Jericó



h<sub>máx.</sub> = 5.50 m  
 h<sub>mín.</sub> = 4.94 m  
 $\Delta h = 0.018$  m

Figura 7.9- Traçado das linhas PHI para dois poços PT situados em mesma área na  
 Posição 2 – Cidade Jericó





**Figura 7.10- Traçado das linhas PHI para dois poços PT situados em mesma área na  
Posição 3 – Cidade Jericó**

## **CAPÍTULO 8**

### **AS CURVAS CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS (CCH)**

## 8 - AS CURVAS CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS

Como já mencionado anteriormente o que denominamos de Curvas Características Hidrodinâmicas (CCH), são as curvas envolvendo os seguintes parâmetros:

Q – Vazão do poço em ( $m^3/h$ );

$\phi$  – Diâmetro do poço considerado (m);

$S_t$  – Rebaixamento (m);

$f_f$  – Fator de Filtro [ / ];

E (%) – Eficiência do poço [ / ], expressa em porcentagem.

As CCH'S estão classificadas das seguintes formas:

- a) CCH 1 - diâmetro vs vazão, para um dado rebaixamento (função do fator  $f_f$ );
- b) CCH 2 -- diâmetro vs rebaixamento, para dada vazão (função do fator  $f_f$ );
- c) CCH 3 - diâmetro vs rebaixamento , para várias vazões: a real , vazões inferior simulada e vazões superior simulada;
- d) CCH 4 - fator de filtro vs rebaixamento , para vários diâmetros possíveis;
- e) CCH 5 - diâmetro vs eficiência do poço.

### 8.1 – A Construção das Curvas Características Hidrodinâmicas (CCH).

Como propusemos, foram confeccionadas as CCH, para os poços de Grandes Diâmetros (PGD) das três áreas pesquisadas: Ibiara, Jericó e Santa Cruz.

Através de uso da Planilha Eletrônica Microsoft Excel, foram construídas as Tabelas 6.15 a 6.29 com os resultados da simulação do modelo MSPGD para as três áreas de pesquisa – Ibiara , Jericó e Santa Cruz - que serviram, como dados de origem para a construção das respectivas CCH'S 1 à 4 para cada uma das áreas pesquisadas.

Para a confecção da CCH 5 para cada uma das áreas , foram utilizadas as Tabelas 7.6 à 7.20, também como dados de origem para cada uma das áreas.

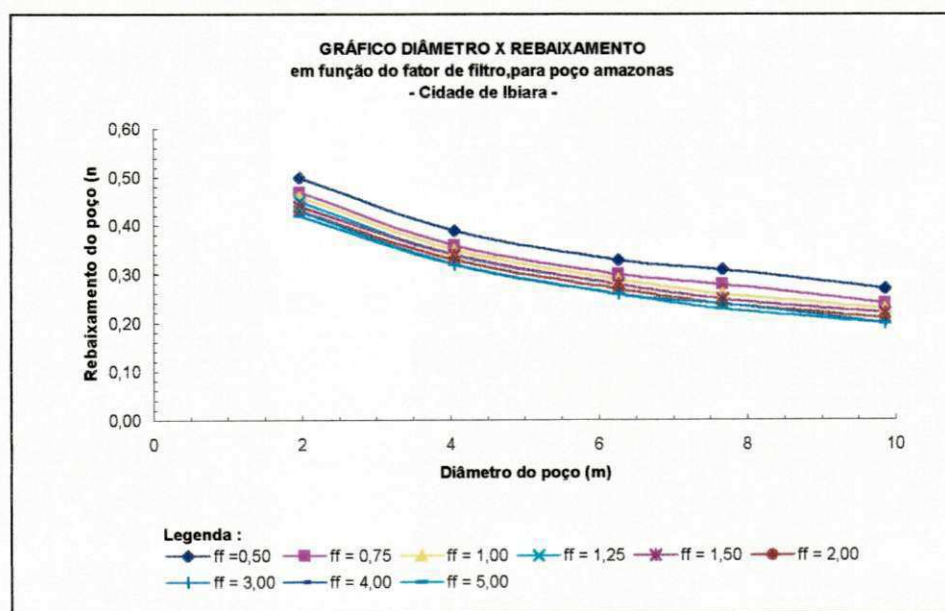
Para facilitar construímos a Tabela 8.1 que resume para cada área a CCH e seus dados de origem.

**TABELA 8.1**

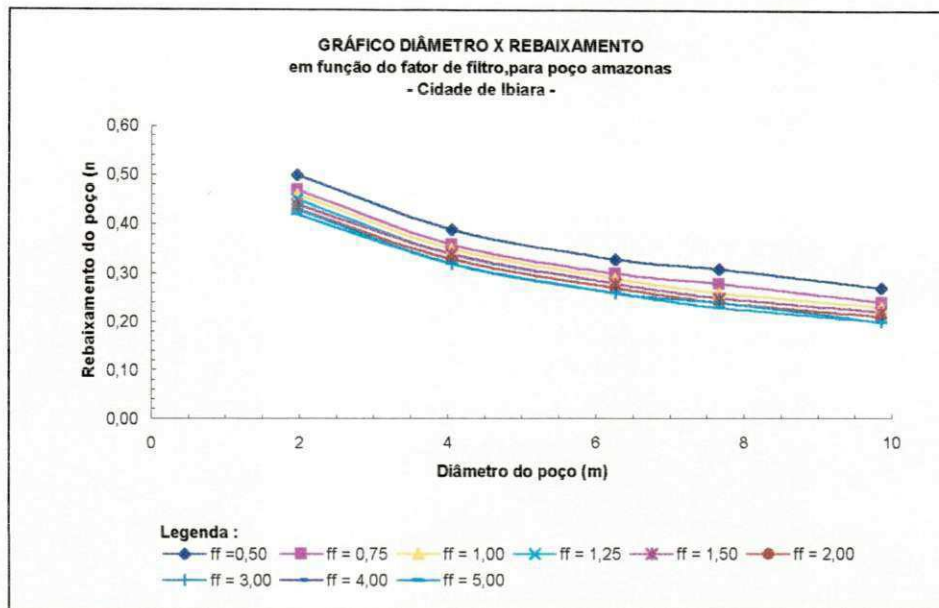
Origem dos dados para a construção da CCH para cada área pesquisada

CCH	Ibiara	Jericó	Santa Cruz
CCH 1	Tabela 6.19	Tabela 6.24	Tabela 6.29
CCH 2	Tabela 6.16	Tabela 6.21	Tabela 6.26
CCH 3	Tabela 6.18	Tabela 6.23	Tabela 6.28
CCH 4	Tabela 6.16	Tabela 6.21	Tabela 6.26
CCH 5	Tabelas 7.6 à 7.10	Tabelas 7.11 à 7.15	Tabelas 7.16 à 7.20

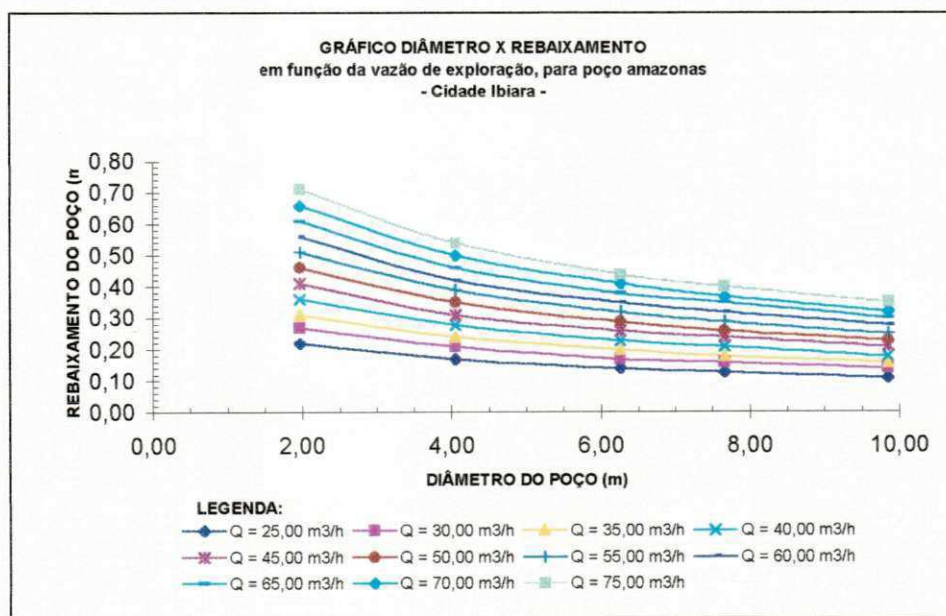
Desta forma estando descrita a origem dos dados para a construção das CCH'S, todas estão apresentadas nas Figuras 8.1 à 8.15.



**Figura 8.1 – CCH 1 para PGD de Ibiara.**



**Figura 8.2 – CCH 2 para PGD de Ibiara.**



**Figura 8.3 – CCH 3 para PGD de Ibiara.**

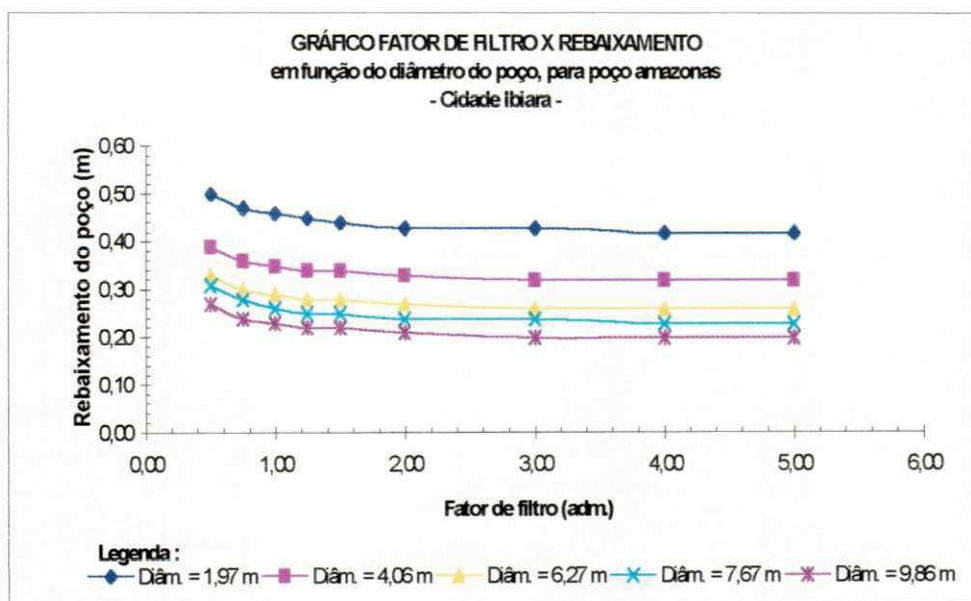


Figura 8.4 – CCH 4 para PGD de Ibiara.

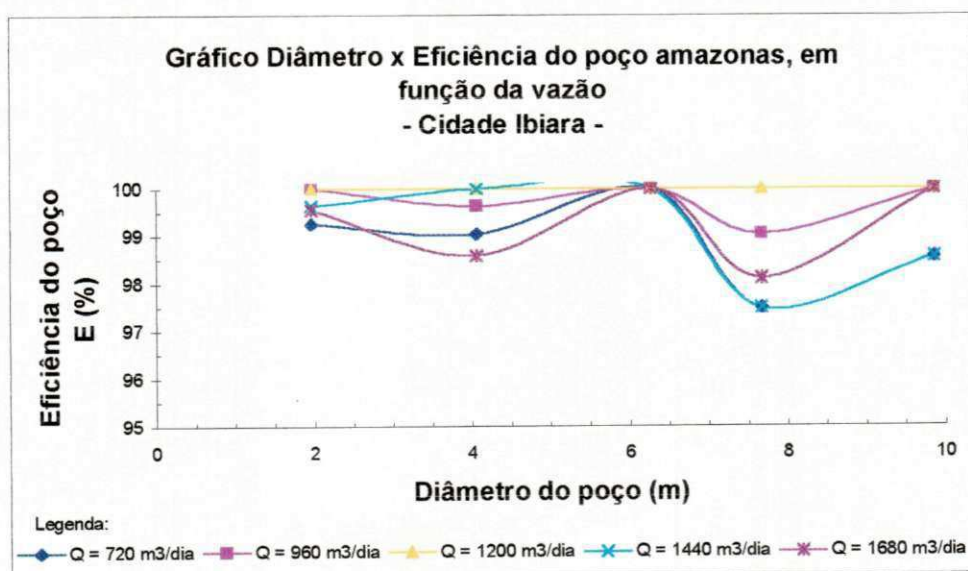
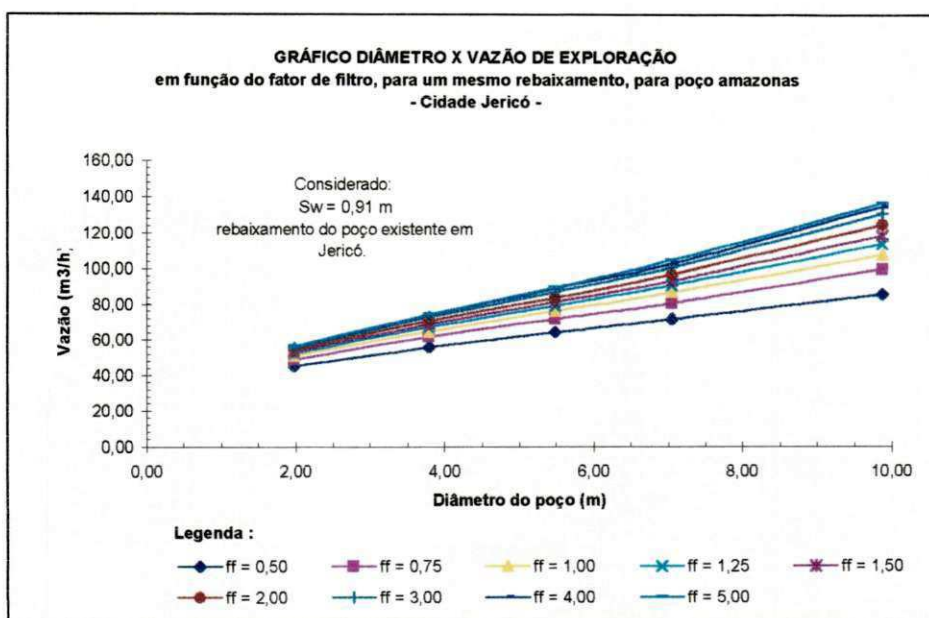
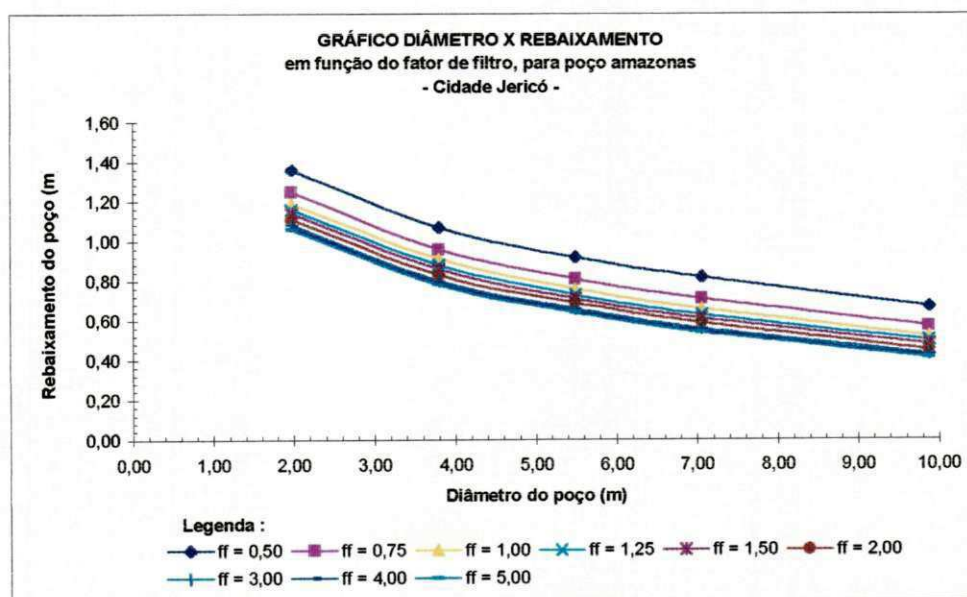


Figura 8.5 – CCH 5 para PGD de Ibiara.

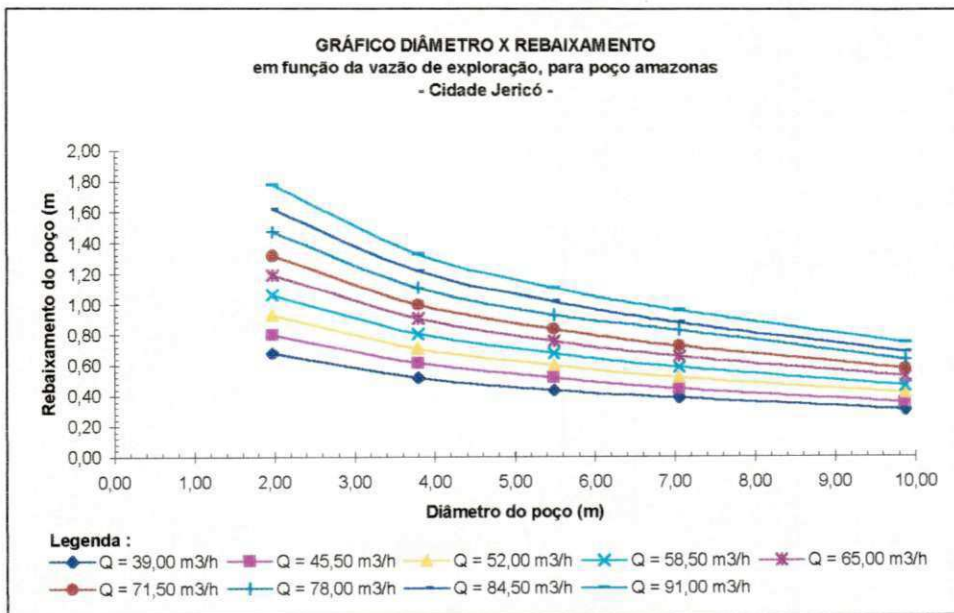




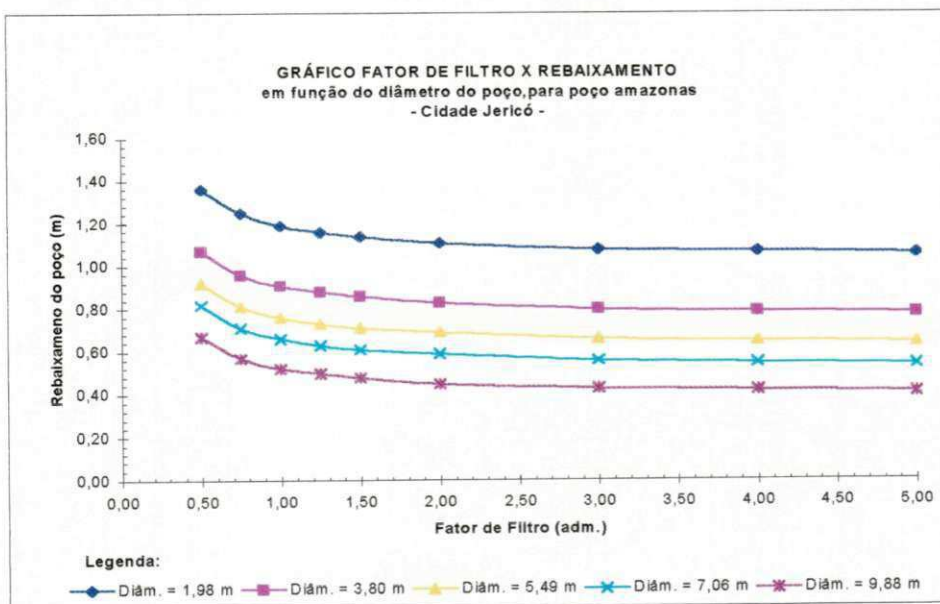
**Figura 8.6 – CCH 1 para PGD de Jericó.**



**Figura 8.7 – CCH 2 para PGD de Jericó.**

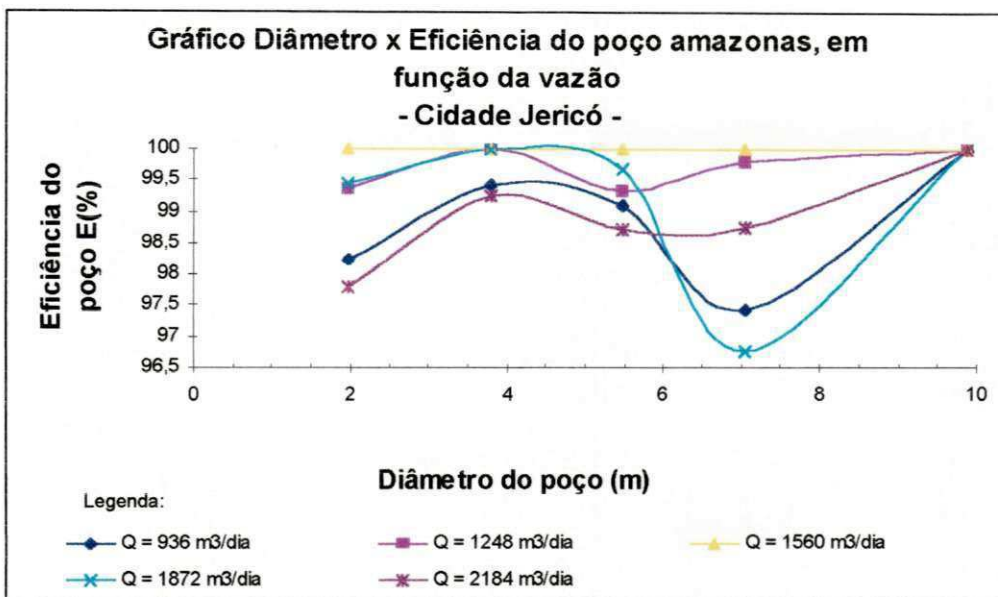


**Figura 8.8 – CCH 3 para PGD de Jericó.**

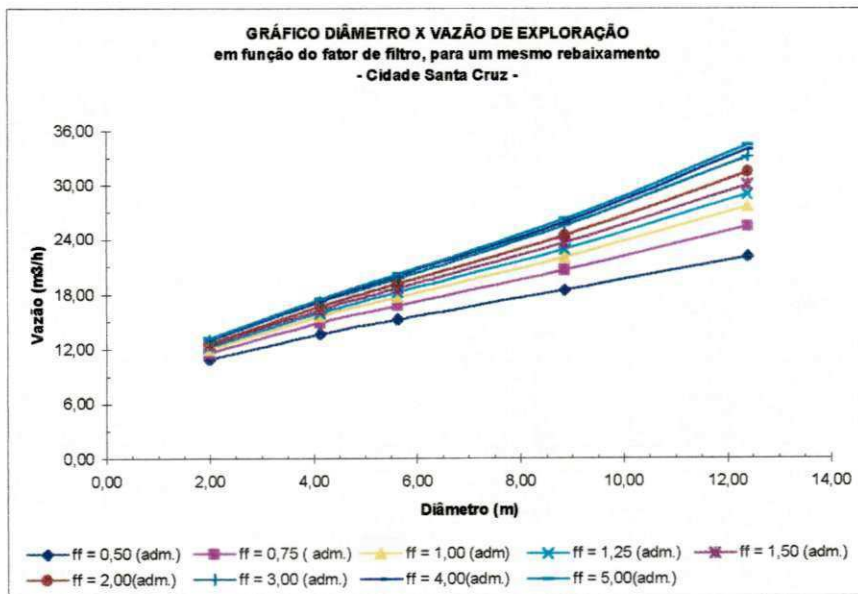


**Figura 8.9 – CCH 4 para PGD de Jericó.**

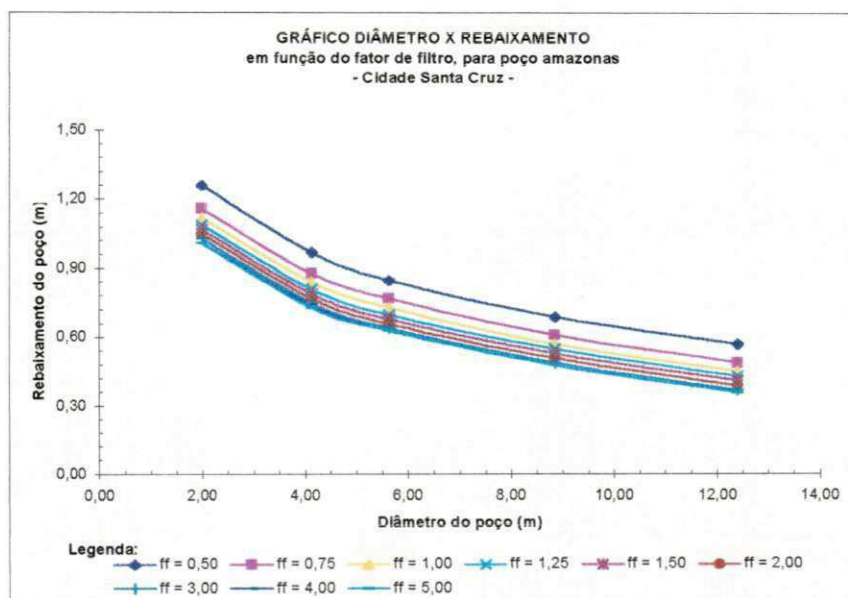




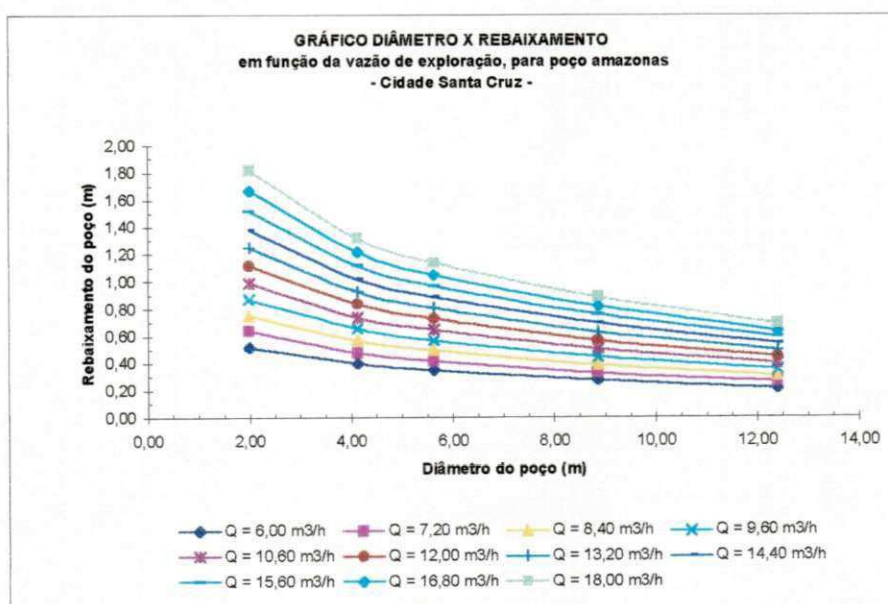
**Figura 8.10 – CCH 5 para PGD de Jericó.**



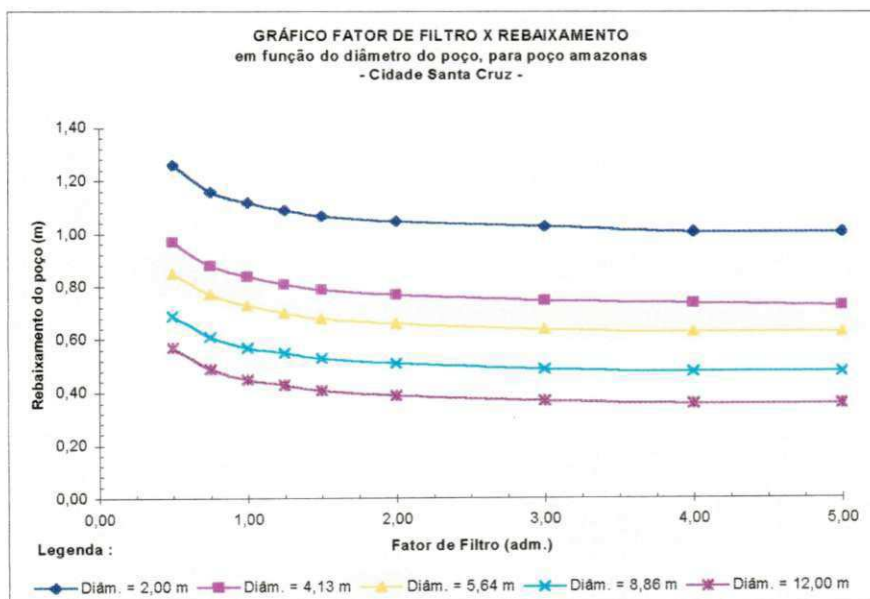
**Figura 8.11 – CCH 1 para PGD de Santa Cruz.**



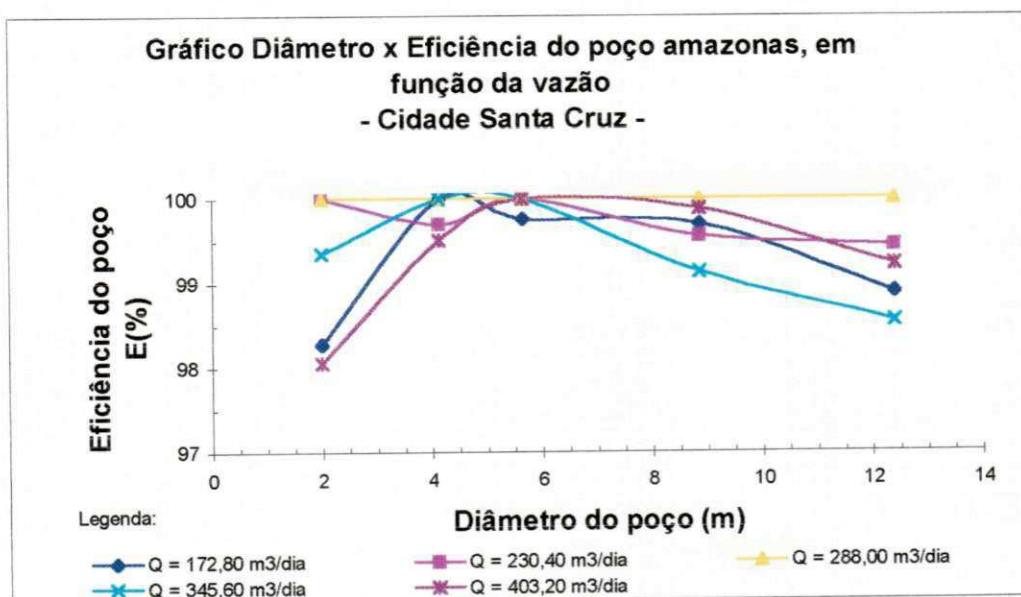
**Figura 8.12 – CCH 2 para PGD de Santa Cruz.**



**Figura 8.13 – CCH 3 para PGD de Santa Cruz.**



**Figura 8.14 – CCH 4 para PGD de Santa Cruz.**



**Figura 8.15 – CCH 5 para PGD de Santa Cruz.**

## **8.2 – A Construção das Curvas Características Hidrodinâmicas (CCH) utilizando a regressão dos pontos pertencentes as curvas.**

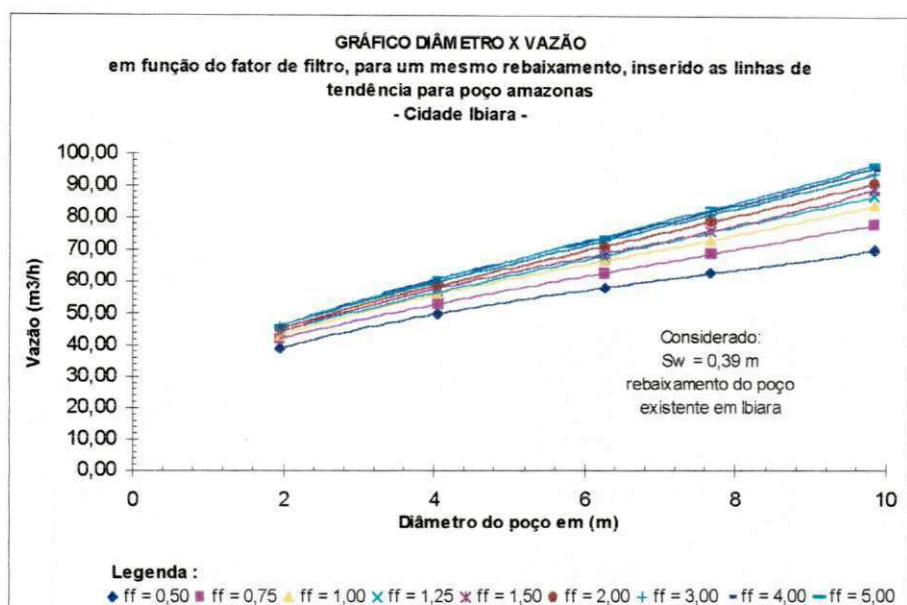
Após a confecção das Curvas propostas , procuramos confeccionar novas curvas, a partir das primeiras, ou seja ,utilizando para isso os mesmos dados de origem, e introduzindo a linha de tendência dos pontos (regressão dos pontos), obtendo desta forma, a curva e sua equação.

Foram consideradas satisfatórias a regressão polinomial, que nos forneceu um maior coeficiente de correlação ( $R^2$ ) entre os pontos da curva e a curva plotada pelo computador no Software Microsoft Excel, ao quais foram naturalmente altos de 0,94 a 1,00, que é o ideal, mostrando a consistência dos dados colhidos e simulados.

Apesar de termos confeccionado 5 (cinco) curvas (CCH) para cada área, somente foram trabalhadas, para a inclusão da regressão as 4 (quatro) primeiras. Isto ocorreu, por que consideramos que a aplicação do Programa PERDAS, ou seja, a teoria sobre perdas localizadas, não foram satisfatórias para o PGD, os quais apresentaram altas taxas de Eficiência do poço, entre 95% e 100%. Apesar da eficiência ser visivelmente boa, é exatamente o fato dela ser tão alta que a torna suspeita de não ser representativa.

As equações encontradas para as CCH'S, mostram a variação dos parâmetros em coordenadas X e Y, e serviram como equações gerais desenvolvidas para cada região estudada ou para regiões de características semelhantes a estas.

Nas figuras 8.16 a 8.27, encontramos as CCH'S para as três áreas pesquisadas, inserido as linhas de tendência, e nas Tabelas 8.2 `a 8.13, as equações que representarão as curvas plotadas nas figuras 8.16 a 8.27, respectivamente.



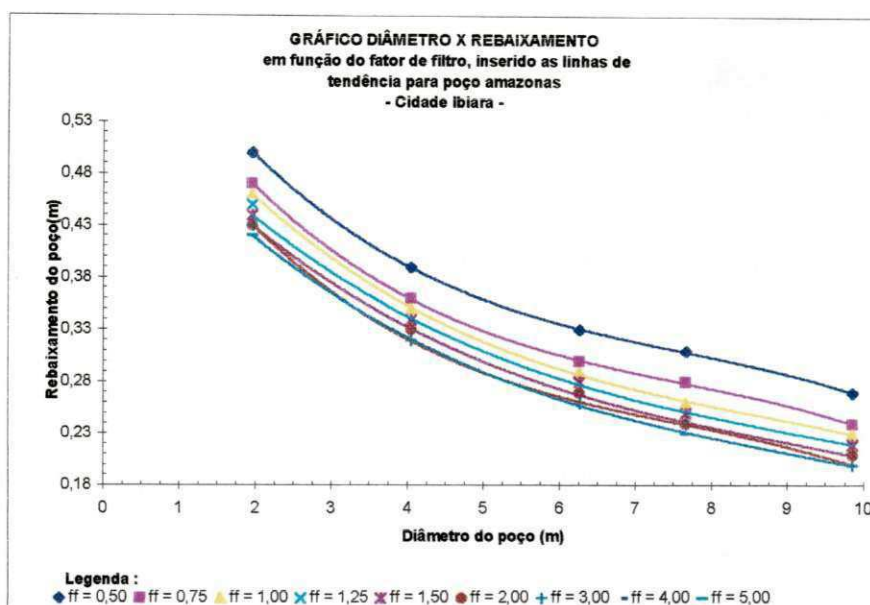
**Figura 8.16 – CCH 1 para PGD de Ibiara, inserido as linhas de tendência dos pontos.**

**TABELA 8.2**

Equações das linhas de tendência para CCH 1 de Ibiara

ff (adm.)	Equação da linha de tendência	Coefficiente de correlação ( $R^2$ )
0,50	$Y = 0,0296X^3 - 0,6867X^2 + 8,4878X + 24,749$	0,9998
0,75	$Y = 0,0117X^3 - 0,3043X^2 + 0,7510X + 29,798$	1,0000
1,00	$Y = 0,0395X^3 - 0,8129X^2 + 10,050X + 26,034$	0,9999
1,25	$Y = 0,0189X^3 - 0,4067X^2 + 7,9889X + 29,756$	0,9996
1,50	$Y = 0,0593X^3 - 1,1099X^2 + 11,682X + 24,851$	1,0000
2,00	$Y = 0,0261X^3 - 0,5492X^2 + 9,1834X + 28,875$	0,9996
3,00	$Y = 0,0223X^3 - 0,4595X^2 + 8,8304X + 30,219$	1,0000
4,00	$Y = 0,0429X^3 - 0,8256X^2 + 10,935X + 27,335$	1,0000
5,00	$Y = 0,0326X^3 - 0,6225X^2 + 9,9045X + 28,697$	0,9999



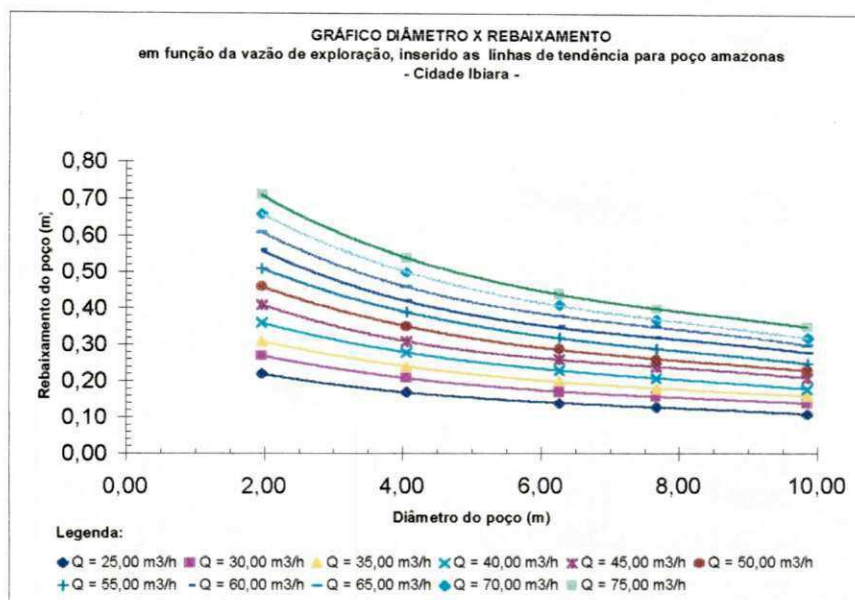


**Figura 8.17 – CCH 2 para PGD de Ibiara, inserido as linhas de tendência dos pontos.**

**TABELA 8.3**

Equações das linhas de tendência para CCH 2 de Ibiara

$f_f$ (adm.)	Equação da linha de tendência	Coefficiente de correlação ( $R^2$ )
0,50	$Y = -0,0006X^3 + 0,0134X^2 - 0,1170X + 0,6836$	0,9999
0,75	$Y = -0,0006X^3 + 0,0134X^2 - 0,1173X + 0,6536$	0,9999
1,00	$Y = -0,0004X^3 + 0,0100X^2 - 0,1014X + 0,6234$	0,9996
1,25 e 1,50	$Y = -0,0003X^3 + 0,0077X^2 - 0,859X + 0,5812$	0,9997
2,00	$Y = -0,0003X^3 + 0,0077X^2 - 0,0859X + 0,5712$	0,9997
3,00	$Y = -0,0006X^3 + 0,0134X^2 - 0,1173X + 0,6136$	0,9999
4,00 e 5,00	$Y = -0,0003X^3 + 0,0077X^2 - 0,0859X + 0,5612$	0,9997

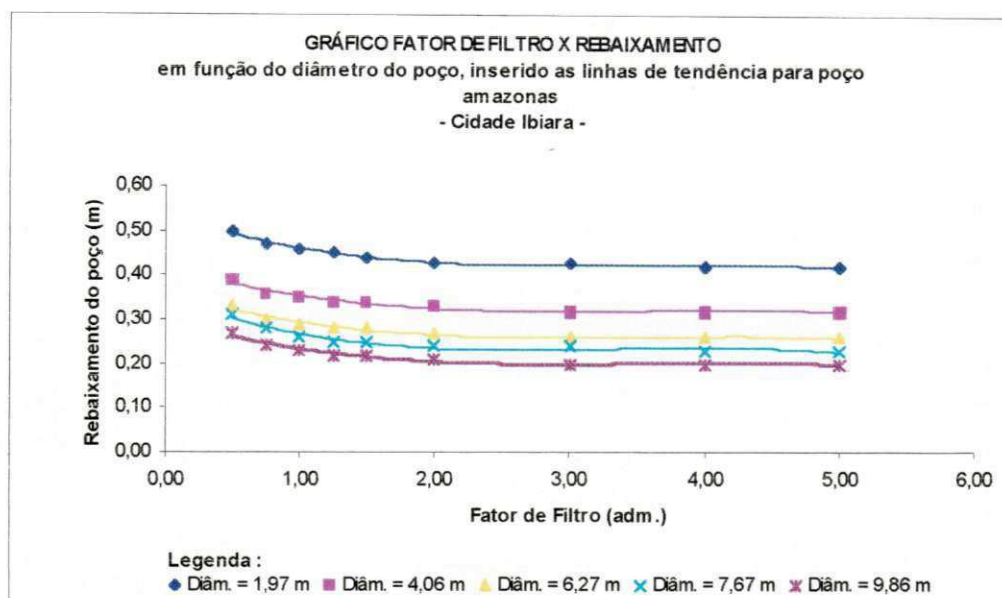


**Figura 8.18 – CCH 3 para PGD de Ibiara, inserido as linhas de tendência dos pontos.**

**TABELA 8.4**

Equações das linhas de tendência para CCH 3 de Ibiara

Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Equação da linha de tendência	Coefficiente de correlação (R <sup>2</sup> )
25,00	$Y = -0,0002X^3 + 0,0055X^2 - 0,0509X + 0,3007$	0,9998
30,00	$Y = -0,0002X^3 + 0,0055X^2 - 0,0573X + 0,3629$	0,9990
35,00	$Y = -0,0002X^3 + 0,0059X^2 - 0,0624X + 0,4115$	0,9996
40,00	$Y = -0,0003X^3 + 0,0073X^2 - 0,0744X + 0,4803$	1,0000
45,00	$Y = -0,0005X^3 + 0,0012X^2 - 0,1053X + 0,5748$	0,9999
50,00	$Y = -0,0004X^3 + 0,0100X^2 - 0,1014X + 0,6234$	0,9996
55,00	$Y = -0,0005X^3 + 0,0115X^2 - 0,1134X + 0,6922$	1,0000
60,00	$Y = -0,0007X^3 + 0,0161X^2 - 0,1443X + 0,7867$	0,9998
65,00	$Y = -0,0008X^3 + 0,0175X^2 - 0,1562X + 0,8555$	1,0000
70,00	$Y = -0,0006X^3 + 0,0156X^2 - 0,1523X + 0,9041$	0,9999
75,00	$Y = -0,0006X^3 + 0,0157X^2 - 0,1587X + 0,9663$	1,0000



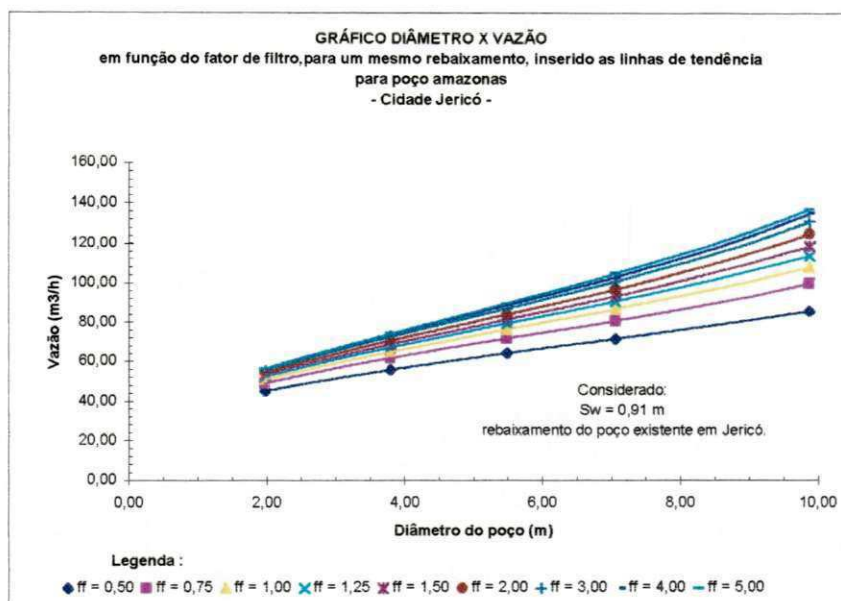
**Figura 8.19 – CCH 4 para PGD de Ibiara, inserido as linhas de tendência dos pontos.**

**TABELA 8.5**

Equações das linhas de tendência para CCH 4 de Ibiara

Diâm.(m)	Equação da linha de tendência	Coefficiente de correlação ( R <sup>2</sup> )
1,97	$Y = - 0,0032X^3 + 0,0324X^2 - 0,1077X + 0,5401$	0,9709
4,06	$Y = - 0,0025X^3 + 0,0269X^2 - 0,0921X + 0,4219$	0,9558
6,27	$Y = - 0,0025X^3 + 0,0269X^2 - 0,0921X + 0,3619$	0,9558
7,67	$Y = - 0,0038X^3 + 0,0377X^2 - 0,1185X + 0,3523$	0,9422
9,86	$Y = - 0,0025X^3 + 0,0269X^2 - 0,0921X + 0,3019$	0,9558



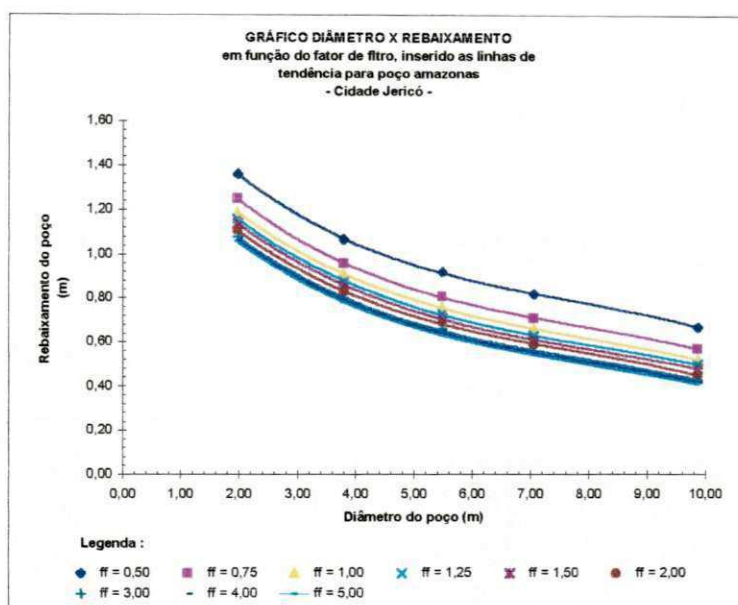


**Figura 8.20 – CCH 1 para PGD de Jericó, inserido as linhas de tendência dos pontos.**

**TABELA 8.6**

Equações das linhas de tendência para CCH 1 de Jericó

$f_f$ (adm.)	Equação da linha de tendência	Coefficiente de correlação ( $R^2$ )
0,50	$Y = 0,0251X^3 - 0,5096X^2 + 8,1588X + 30,954$	1,0000
0,75	$Y = 0,0514X^3 - 0,9162X^2 + 11,093X + 30,233$	1,0000
1,00	$Y = 0,0379X^3 - 0,6695X^2 + 10,571X + 32,404$	1,0000
1,25	$Y = 0,0411X^3 - 0,7533X^2 + 11,379X + 32,608$	1,0000
1,50	$Y = 0,0558X^3 - 0,9034X^2 + 12,243X + 32,384$	1,0000
2,00	$Y = 0,0659X^3 - 1,0385X^2 + 13,256X + 31,849$	1,0000
3,00	$Y = 0,06653X^3 - 1,031X^2 + 13,752X + 31,835$	1,0000
4,00	$Y = 0,0701X^3 - 1,0538X^2 + 13,952X + 32,441$	1,0000
5,00	$Y = 0,0521X^3 - 0,7426X^2 + 12,686X + 33,94$	1,0000

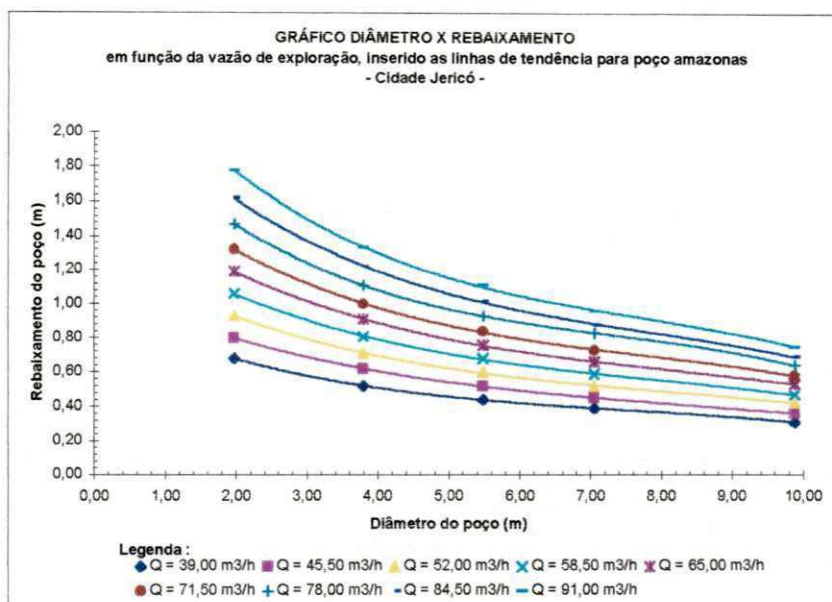


**Figura 8.21 – CCH 2 para PGD de Jericó, inserido as linhas de tendência dos pontos.**

**TABELA 8.7**

Equações das linhas de tendência para CCH 2 de Jericó

$f_f$ (adm.)	Equação da linha de tendência	Coefficiente de correlação ( $R^2$ )
0,50	$Y = -0,0015X^3 + 0,0355X^2 - 0,3228X + 1,8772$	0,9999
0,75	$Y = -0,0015X^3 + 0,0345X^2 - 0,3187X + 1,7564$	0,9998
1,00	$Y = -0,0013X^3 + 0,0318X^2 - 0,3016X + 1,6721$	0,9999
1,25	$Y = -0,0012X^3 + 0,0308X^2 - 0,2975X + 1,6373$	0,9999
1,50	$Y = -0,0012X^3 + 0,0308X^2 - 0,2975X + 1,6173$	0,9999
2,00	$Y = -0,0014X^3 + 0,0336X^2 - 0,3078X + 1,5977$	0,9997
3,00	$Y = -0,0014X^3 + 0,0326X^2 - 0,3037X + 1,5629$	0,9996
4,00	$Y = -0,0014X^3 + 0,0326X^2 - 0,3037X + 1,5529$	0,9996
5,00	$Y = -0,0014X^3 + 0,0326X^2 - 0,3037X + 1,5429$	0,9996

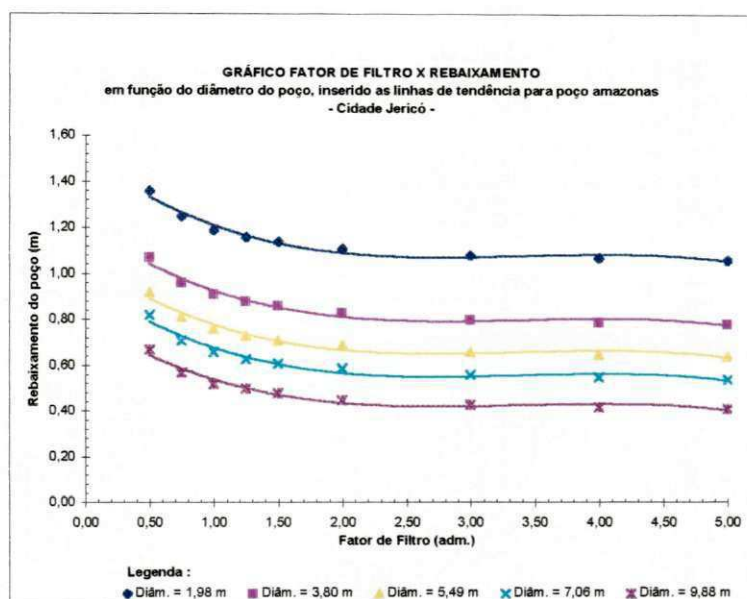


**Figura 8.22 – CCH 3 para PGD de Jericó, inserido as linhas de tendência dos pontos.**

**TABELA 8.8**

Equações das linhas de tendência para CCH 3 de Jericó

Vazão(m³/h)	Equação da linha de tendência	Coefficiente de correlação ( R <sup>2</sup> )
39,00	$Y = -0,0009X^3 + 0,0213X^2 - 0,1860X + 0,9716$	0,9999
45,50	$Y = -0,0007X^3 + 0,0181X^2 - 0,1830X + 1,0976$	0,9998
52,00	$Y = -0,0010X^3 + 0,025X^2 - 0,23570X + 1,3058$	0,9996
58,50	$Y = -0,0012X^3 + 0,0284X^2 - 0,2687X + 1,4890$	0,9998
65,00	$Y = -0,0012X^3 + 0,0308X^2 - 0,2975X + 1,6673$	0,9999
71,00	$Y = -0,0016X^3 + 0,0387X^2 - 0,3538X + 1,8804$	0,9997
78,00	$Y = -0,0024X^3 + 0,0531X^2 - 0,4421X + 2,1558$	1,0000
84,50	$Y = -0,0020X^3 + 0,0479X^2 - 0,4397X + 2,3171$	0,9997
91,00	$Y = -0,0024X^3 + 0,0566X^2 - 0,5069X + 2,5789$	0,9997



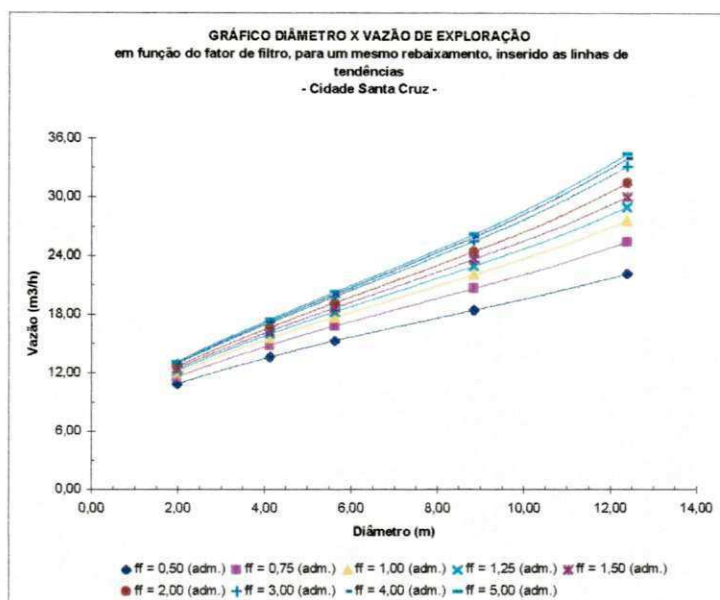
**Figura 8.23 – CCH 4 para PGD de Jericó, inserido as linhas de tendência dos pontos.**

**TABELA 8.9**

Equações das linhas de tendência para CCH 4 de Jericó

Diâm.(m)	Equação da linha de tendência	Coefficiente de correlação ( $R^2$ )
1,97	$Y = -0,0032X^3 + 0,0324X^2 - 0,1077X + 0,5401$	0,9709
4,06	$Y = -0,0025X^3 + 0,0269X^2 - 0,0921X + 0,4219$	0,9558
6,27	$Y = -0,0025X^3 + 0,0269X^2 - 0,0921X + 0,3619$	0,9558
7,67	$Y = -0,0038X^3 + 0,0377X^2 - 0,1185X + 0,3523$	0,9422
9,86	$Y = -0,0025X^3 + 0,0269X^2 - 0,0921X + 0,3019$	0,9558



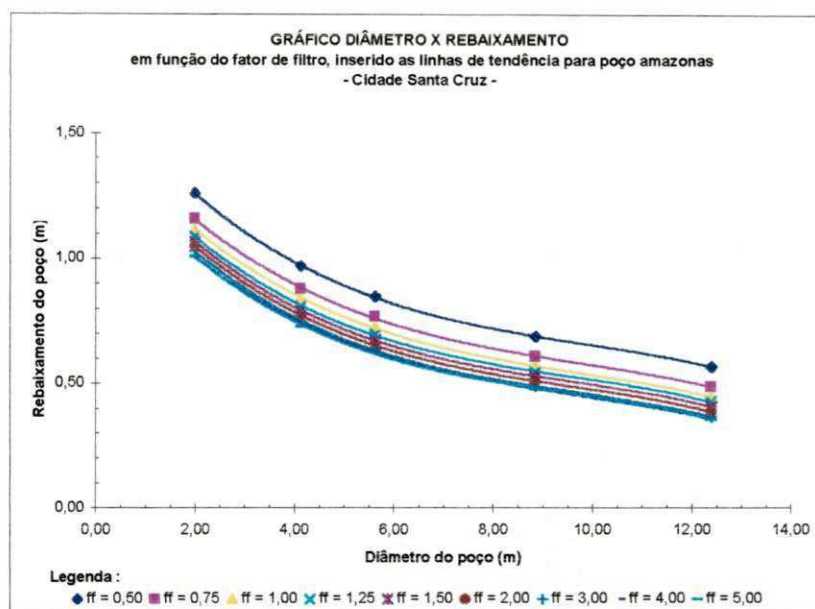


**Figura 8.24 – CCH 1 para PGD de Santa Cruz, inserido as linhas de tendência dos pontos.**

**TABELA 8.10**

Equações das linhas de tendência para CCH 1 de Santa Cruz

$f_f$ (adm.)	Equação da linha de tendência	Coefficiente de correlação ( $R^2$ )
0,50	$Y = 0,0042X^3 - 0,1043X^2 + 1,8122X + 7,6655$	1,0000
0,75	$Y = 0,0057X^3 - 0,1288X^2 + 2,1523X + 7,7727$	1,0000
1,00	$Y = 0,0065X^3 - 0,1393X^2 + 2,3337X + 7,8463$	1,0000
1,25	$Y = 0,0064X^3 - 0,1335X^2 + 2,3667X + 8,0497$	1,0000
1,50	$Y = 0,0058X^3 - 0,1190X^2 + 2,3383X + 8,2538$	1,0000
2,00	$Y = 0,0069X^3 - 0,1353X^2 + 2,4980X + 8,1930$	1,0000
3,00	$Y = 0,0066X^3 - 0,1229X^2 + 2,5065X + 8,4360$	1,0000
4,00	$Y = 0,0070X^3 - 0,1262X^2 + 2,5538X + 8,4364$	1,0000
5,00	$Y = 0,0076X^3 - 0,1372X^2 + 2,6407X + 8,4054$	1,0000

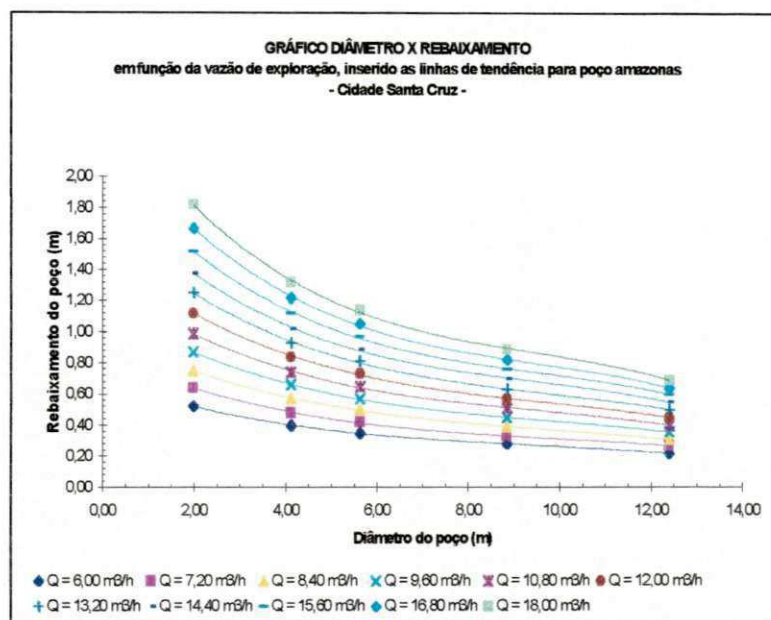


**Figura 8.25 – CCH 2 para PGD de Santa Cruz, inserido as linhas de tendência dos pontos.**

**TABELA 8.11**

Equações das linhas de tendência para CCH 2 de Santa Cruz

$f_f$ (adm.)	Equação da linha de tendência	Coefficiente de correlação ( $R^2$ )
0,50	$Y = -0,0007X^3 + 0,0218X^2 - 0,2454X + 1,6685$	0,9998
0,75	$Y = -0,0007X^3 + 0,0206X^2 - 0,2332X + 1,5479$	0,9996
1,00	$Y = -0,0007X^3 + 0,0206X^2 - 0,2332X + 1,5079$	0,9996
1,25	$Y = -0,0008X^3 + 0,0220X^2 - 0,2407X + 1,4881$	0,9997
1,50	$Y = -0,0008X^3 + 0,0220X^2 - 0,2407X + 1,4680$	0,9997
2,00	$Y = -0,0008X^3 + 0,0220X^2 - 0,2407X + 1,4481$	0,9997
3,00	$Y = -0,0008X^3 + 0,0220X^2 - 0,2407X + 1,4281$	0,9997
4,00	$Y = -0,0007X^3 + 0,0206X^2 - 0,2296X + 1,3913$	0,9998
5,00	$Y = -0,0008X^3 + 0,0223X^2 - 0,2397X + 1,4045$	0,9992

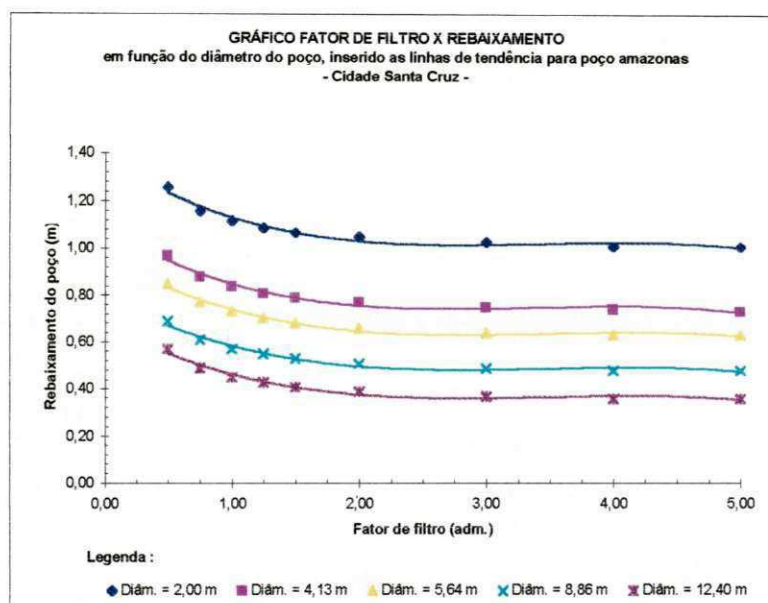


**Figura 8.26 – CCH 3 para PGD de Santa Cruz, inserido as linhas de tendência dos pontos**

**TABELA 8.12**

Equações das linhas de tendência para CCH 3 de Santa Cruz

Q (m <sup>3</sup> /h)	Equação da linha de tendência	Coefficiente de correlação (R <sup>2</sup> )
6,00	$Y = -0,0003X^3 + 0,009X^2 - 0,1013X + 0,6886$	0,9998
7,20	$Y = -0,0004X^3 + 0,0124X^2 - 0,1452X + 0,9928$	0,9940
8,40	$Y = -0,0005X^3 + 0,0153X^2 - 0,1557X + 1,1637$	0,9999
9,60	$Y = -0,0007X^3 + 0,0192X^2 - 0,2102X + 1,3372$	0,9992
10,80	$Y = -0,0007X^3 + 0,0206X^2 - 0,2332X + 1,5079$	0,9996
12,00	$Y = -0,008X^3 + 0,0237X^2 - 0,2662X + 1,6919$	0,9993
13,20	$Y = -0,0008X^3 + 0,0237X^2 - 0,2662X + 1,6912$	0,9993
14,40	$Y = -0,001X^3 + 0,0288X^2 - 0,3094X + 1,8890$	0,9993
15,60	$Y = -0,0011X^3 + 0,0316X^2 - 0,3435X + 2,0868$	0,9995
16,00	$Y = -0,0013X^3 + 0,0365X^2 - 0,0391X + 2,3145$	0,9996
18,00	$Y = -0,0015X^3 + 0,0415X^2 - 0,438X + 2,5385$	0,9994



**Figura 8.27 – CCH 4 para PGD de Santa Cruz, inserido as linhas de tendência dos pontos**

**TABELA 8.13**

Equações das linhas de tendência para CCH 4 de Santa Cruz

Diâm.(m)	Equação da linha de tendência	Coefficiente de correlação ( $R^2$ )
2,00	$Y = -0,010X^3 + 0,1025X^2 - 0,3383X + 1,3798$	0,9615
4,13	$Y = -0,0101X^3 + 0,1026X^2 - 0,333X + 1,0921$	0,9735
5,64	$Y = -0,0089X^3 + 0,0926X^2 - 0,3091X + 0,9656$	0,9771
8,86	$Y = -0,0082X^3 + 0,086X^2 - 0,2877X + 0,7945$	0,9704
12,40	$Y = -0,0082X^3 + 0,086X^2 - 0,2877X + 0,6745$	0,9704

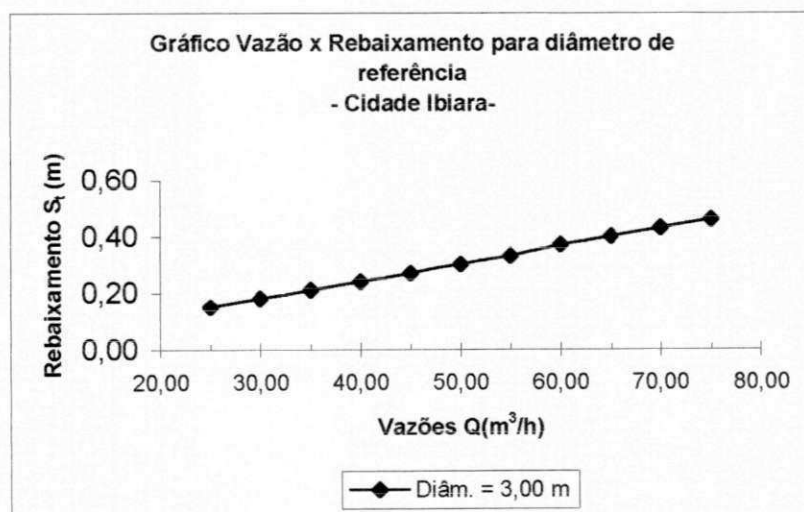


### 8.3 – Curvas confeccionadas para PGD, considerando o diâmetro de referência, para as três áreas pesquisadas.

As curvas características abordam muitos parâmetros, assim optamos por construir separadamente para cada área, as curvas de  $Q(\text{m}^3/\text{h})$  vs  $S_t$  (m) para o poço de grande diâmetro existente em cada cidade.

Os dados de origem das curvas podem ser encontrados, na seguinte forma: Ibiara - está nos anexos, Jericó - Tabela 6.23 e Santa Cruz – Tabela 6.28.

As curvas resultantes estão apresentadas nas figuras 8.28 à 8.30.



**Figura 8.28 – Gráfico Vazão vs Rebaixamento para poço de referência –Cidade Ibiara.**

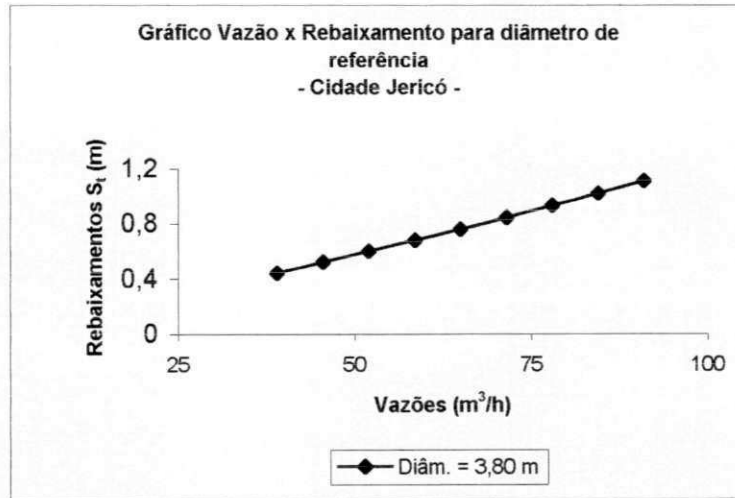


Figura 8.29 – Gráfico Vazão vs Rebaixamento para poço de referência –Cidade Jericó.

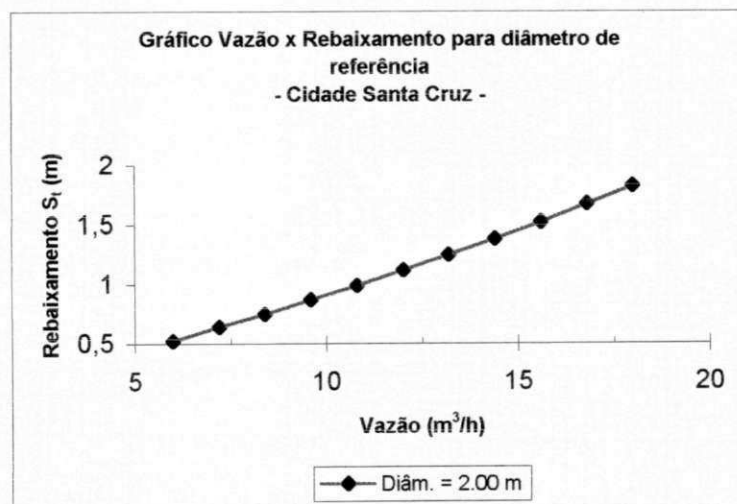


Figura 8.30 – Gráfico Vazão vs Rebaixamento para poço de referência – Cidade Santa Cruz.

#### 8.4 – Gráficos da Eficiência calculada para poço tubular em Jericó

Da mesma forma, que foram confeccionadas as curvas da eficiência dos poços amazonas, também foi confeccionado o gráfico da eficiência do poço tubular para a cidade de Jericó, a mesma só foi plotada por considerarmos importante na diferenciação com as obtidas para poço PGD, ficando apenas a título de demonstração

Para a confecção do gráfico de vazão vs eficiência para poço tipo tubular para a cidade Jericó, foi utilizado como origem de dados a Tabelas 7.22.

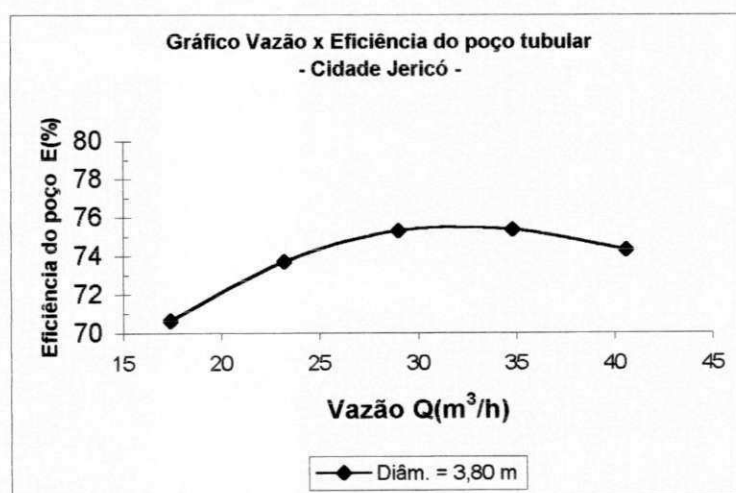


Figura 8.31 – Gráfico da Vazão x Eficiência para o poço tubular de Jericó

## 8.5 - Aplicabilidade das Curvas Características

As curvas confeccionadas entre: diâmetro vs vazão, para um dado rebaixamento (função do fator de filtro -  $f_f$ ); diâmetro vs rebaixamento, para dada vazão (função do fator de filtro -  $f_f$ ); diâmetro vs rebaixamento, para várias vazões: a real, vazões inferior simulada e vazões superior simulada e fator de filtro vs rebaixamento, para vários diâmetros possíveis, mostram as possíveis variações entre os parâmetros envolvidos, que influenciam o funcionamento do poço de grande diâmetro, isto é amazonas.

Não somente os agrônomos e engenheiros entendem facilmente o significado dessas curvas, mas também o pequeno e médio agricultor terá condições de seguir o gráfico e principalmente as equações representativas da exploração de PGD nessas áreas, ou em áreas semelhantes.

Assim para escolher num determinado local, o diâmetro certo para resultar numa vazão adequada para fins de irrigar as culturas do sertão, utilizando a tecnologia apropriada no uso do material do poço, ou seja, argamassa e tijolos, feitos com material disponível local, bastará utilizar-se da equação das Tabelas 8.2 à 8.13 e o agricultor saberá que vazão ele poderá explorar para um determinado local.

O Fator de Filtro visa a seleção certa do material de construção do poço em função do material de formação ou de matriz, ou seja, o agricultor poderá evitar solos inadequados para construção do poço amazonas cuja eficiência depende não somente da argamassa de tijolos do poço, mas também sobre o solo que engloba próprio poço. Assim o fator de filtro ajudaria a escolha certa do local dentro da mesma microrregião homogênea própria ou até na escolha regional.

## **CAPÍTULO 9**

### **DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

## 9 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.

### 9.1 – Discussão dos resultados dos modelos MSPGD e MSPT.

O Modelo para Simulação de Poços de Grandes Diâmetros (MSPGD), utilizou como dados de origem as Tabelas 6.8 à 6.14, para as três áreas pesquisadas: Ibiara, Jericó e Santa Cruz.

Os resultados do MSPGD, para as três áreas, estão apresentados nas Tabelas 6.15 à 6.29 nas formas de cargas hidráulicas do poço  $h_w(m)$ , rebaixamento total  $S_t(m)$ , fator de filtro  $f_r [ / ]$  e vazão  $Q(m^3/h)$ , os quais foram considerados satisfatórios para todas as áreas.

Os resultados destas tabelas, serviram como dados de origem para a construção das Curvas Características Hidrodinâmicas (CCH), que são curvas envolvendo: diâmetro do poço  $\phi$  (m), rebaixamento total  $S_t$  (m), vazão do poço  $Q$  ( $m^3/h$ ) e o conceito de fator de filtro  $f_r [ / ]$ , e estão classificadas de a à d, na nossa introdução e enumeradas como CCH 1 à CCH 4.

O modelo utilizado mostrou-se excelente na simulação dos dados para poços de grandes diâmetros (PGD), para todas as três áreas pesquisadas.

Da mesma forma, o Modelo para Simulação de Poços Tubulares (MSPT), utilizou como dados de origem as Tabelas 4.1, 4.2 e 6.30, para as duas áreas pesquisadas: Ibiara e Jericó.

Os resultados do MSPT, para as duas áreas, estão apresentados nas Tabelas 6.31 à 6.40 nas formas de cargas hidráulicas do poço  $h_w(m)$  e rebaixamento total  $S_t(m)$ , os quais foram considerados satisfatórios para as duas áreas, seja na simulação de um único poço tubular ou até dois poços simulados numa mesma área, para o caso de bombeamento simultâneo.

O modelo utilizado mostrou-se excelente na simulação dos dados para poços tubulares (PT), para todas as duas áreas pesquisadas.

## 9.2 – Discussão dos resultados dos programas PERDAS e ISONOVOS

Além dos modelos MSPG e MSPT, também foram utilizados dois programas: o programa PERDAS e o programa ISONOVOS.

O programa PERDAS, que é um programa que utiliza-se de método de iterações, calcula as perdas totais  $S_t$  (m) e as perdas localizadas, assim: perda de poço  $S_p$ (m) e a perda de formação  $S_f$ (m) e a soma destas resulta na perda total.

Este programa foi utilizado para calcular as perdas devido ao funcionamento dos poços PGD e PT.

Para calcular as perdas dos poços PGD, para as três áreas de pesquisa: Ibiara, Jericó e Santa Cruz, foi utilizado como dados de origem para o programa as Tabelas 7.1 à 7.3, cujos resultados estão apresentados nas Tabelas 7.6 à 7.20, não só com o cálculo das perdas, mas também com o cálculo da eficiência do poço  $E(\%)$ , que é função da perda de formação e da perda total, conforme Eq. 2.22.

Conforme pode ser verificada, a eficiência para poço PGD, calculada pelo programa PERDAS, resultou numa faixa de variação de 94 à 100 %, valores que consideramos muito alto, portanto não representativos, desta forma o programa perdas não foi considerado aplicável para poço PGD. Apesar de não considerarmos representativos estes resultados serviram de origem para a confecção da Curva Característica Hidrodinâmica (CCH) para Poço de Grande Diâmetro (PGD), classificada na introdução com a letra e e enumerada como CCH 5, para as três áreas pesquisadas.

Para calcular as perdas dos poços PT, para as duas áreas de pesquisa: Ibiara e Jericó, foi utilizado como dados de origem para o programa as Tabelas 7.4 e 7.5, cujos resultados estão apresentados nas Tabelas 7.21 e 7.22, não só com o cálculo das perdas, mas também com o cálculo da eficiência do poço  $E(\%)$ , que é função da perda de formação e da perda total, conforme Eq. 2.22.

Conforme pode ser verificada, a eficiência para poço PT, calculada pelo programa PERDAS, resultou numa faixa de variação de 70 à 76 %, valores que consideramos bons, portanto representativos, desta forma o programa perdas foi considerado satisfatório para poço PT, e como exemplo, podemos observar a figura 8.4, que mostra o comportamento da eficiência do poço tubular para várias vazões.

O programa ISONOVO5 é um programa que plota as curvas PHI, ou seja, as curvas equipotenciais ou de mesma carga hidráulica, assim, o programa utiliza-se dos resultados dos modelos MSPGD e MSPT.

Para plotar as curvas utilizamos somente as áreas de Ibiara e Jericó, pois as duas possuíam dados de PGD e PT, enquanto que a Cidade de Santa Cruz só possuía dados de poços PGD.

Os dados de origem para o programa ISONOVO 5 estão apresentados nos anexos e nas tabelas 6.35 à 6.40.

Como nossa intenção não foi se aprofundar na análise das curvas PHI e simplesmente mostrá-las, utilizarmos duas áreas foi considerado suficiente, podendo fazer alguns comentários sobre as curvas plotadas.

As curvas plotadas estão apresentadas nas Figuras 7.1 à 7.10, as quais possuem indicação de carga máxima admitida  $h_{m\acute{a}x}$  (m), carga mínima admitida  $h_{m\acute{i}n}$  (m), e a perda de carga entre cada linha plotada  $\Delta h$  (m).

Se compararmos as Figuras 7.1 com a Figura 7.2, poderemos verificar que as duas possuem o mesmo incremento, ou seja, o mesmo  $\Delta h$  (m) = 0.018 m, portanto como a variação total entre a carga máxima e a mínima para Figura 7.1 é menor que a da Figura 7.2 esta terá menos linhas equipotenciais.

Uma comparação semelhante poderá ser realizada entre as Figuras 7.5 à 7.7, que representam as curvas equipotenciais, entre dois poços tubulares que exploram mesma área. As figuras mencionadas, mostram através das curvas PHI que quanto mais próximo forem os dois poços que exploram uma mesma área maior será a interferência entre eles.

### **9.3 – Discussão dos resultados das Curvas Características Hidrodinâmicas (CCH) construídas**

Foram confeccionadas todas as curvas CCH'S para PGD das três áreas pesquisadas, Ibiara, Jericó e Santa Cruz, conforme havíamos proposto.

As CCH'S 1 à 4 foram consideradas satisfatórias e representativas para todas as três áreas as quais foram aplicadas.



A CCH 1 para as três áreas, figuras 8.1, 8.6 e 8.11, apresentaram formatos semelhantes. Todas mostram que existe uma tendência das curvas convergirem para um ponto de diâmetro mínimo, na qual todos os tipos de materiais fictícios, ou seja, a variação do fator de filtro ( $f_f$ ), não teria nenhum efeito para um poço PGD, resultando numa mesma vazão para o mesmo diâmetro. Porém na mesma curva verificamos o inverso, quanto maior o diâmetro do poço considerado maior será a interferência do fator de filtro, ou seja, para um mesmo diâmetro do poço, os materiais de construção diferentes resultaram numa maior ou menor aproveitamento da vazão possivelmente explorada do poço.

A CCH 2 para as três áreas, figuras 8.2, 8.7 e 8.12, apresentaram formatos semelhantes. Todas mostram que existe uma tendência das curvas serem sempre paralelas, ou seja, a variação do fator de filtro ( $f_f$ ) teria um determinado efeito para um poço PGD, resultando para um mesmo diâmetro em rebaixamentos diferentes, para uma mesma vazão. Esta análise já era esperada pela própria definição de fator de filtro.

A CCH 3 para as três áreas, figuras 8.3, 8.8 e 8.13, apresentaram formatos semelhantes. Todas mostram que existe uma tendência das curvas convergirem para um ponto de diâmetro mínimo, na qual todos os tipos de materiais fictícios, ou seja, a variação do fator de filtro ( $f_f$ ), não teria nenhum efeito para um poço PGD, resultando numa mesma vazão para o mesmo diâmetro. Porém na mesma curva verificamos o inverso, quanto menor o diâmetro do poço considerado, maior será a diferença dos rebaixamentos para vazões diferentes. Esta análise já era esperada pela própria definição de vazão e rebaixamento de um poço, ou seja, quanto maior a vazão maior o seu rebaixamento.

A CCH 4 para as três áreas, figuras 8.4, 8.9 e 8.14, apresentaram formatos semelhantes. Todas mostram que existe uma tendência das curvas serem sempre paralelas, ou seja, a variação do fator de filtro ( $f_f$ ) teria um determinado efeito para um poço PGD, resultando para um mesmo diâmetro em rebaixamentos diferentes, para uma mesma vazão. Esta análise já era esperada pela própria definição de fator de filtro.

Porém observamos nas CCH'S 5, para as três áreas, pelos gráficos de eficiência do poço PGD, figuras 8.5, 8.10 e 8.15 que estes foram muito altos, variando de 94 a 100% , isto ocorreu, porque a perda de formação ( $S_f$ ) ficou aproximadamente igual a perda total ( $S_t$ ), conforme Tabelas 7.6 à 7.20, sendo a perda de poço ( $S_p$ ) de dimensões insignificantes, de forma que não consideramos as curvas de eficiência plotadas para PGD das três áreas,

como parâmetros válidos, pois este tipo de poço praticamente funciona como um reservatório, com o fluxo por gravidade, diferente do poço tubular (PT) que trabalha a sucção.

Pela Figura 8.31 a eficiência para poço PT foi considerada satisfatória, a mesma possui um formato parabólico e côncavo, apresentando um ponto de máximo na qual a eficiência para este tipo de poço é a máxima possível. Já nas figuras 8.5, 8.10 e 8.15, para poço PGD o formato do gráfico não apresentou a mesma conformação e nem a amplitude de variação foi comparativa, pôr todas essas razões apesar de terem sido plotadas, não consideramos que a utilização do programa PERDAS, para dados de poço PGD obtenha resultados representativos para este tipo de poço, devendo outros pesquisadores procurarem outros programas e equações que as represente de forma mais satisfatórias.

Desta forma, após construirmos todas as CCH'S propostas, procuramos utilizar um software, e refazer as curvas CCH 1 à 4, para as três áreas, de forma a obter uma equação que melhor representasse, para cada material de construção hipotético as tendências das curvas, assim obtidas essas novas curvas as mesmas poderão ser utilizadas em outras localidades, que possuam aspectos técnicos semelhantes a estas.

## **CAPÍTULO 10**

### **CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

## 10 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 10.1 - Conclusões

Os poços tipo Amazonas em áreas rurais, embora rudimentares na construção, são de baixo custo e de fácil construção, e mais adequados para aquíferos de baixa permeabilidade/transmissibilidade, devido a rápida recuperação da água sub-superficial, após cessado o bombeamento. Isto acontece devido a maior área exposta deste tipo de poço, em comparação com um poço tubular.

A viabilidade de implantação de poços amazonas, foram realizadas a partir de dados de campo, com a finalidade de construção das Curvas Características Hidrodinâmicas (CCH).

Foram simulados poços com faixa de variação de 2 a 10 m de diâmetro, sendo este último valor para fins acadêmicos.

Não há vantagem em aumentar o diâmetro do poço após certo limite, devido decorrente queda na produção, e aumento do custo do poço. Da mesma forma que não há nenhuma vantagem de explorar maiores vazões, com rebaixamentos excessivos e indesejáveis, que prejudicam a vida útil do aquífero.

O conceito de fator ' $f_r$ ' que inclui os efeitos relativos a transmissão/passagem da água através de ambos os materiais usados para tijolo e argamassa, é uma inovação. Será necessário um estudo mais detalhado para separar os componentes citados acima e atribuir a contribuição de cada um destes materiais na produção de um poço de grande diâmetro, além da influência do diâmetro no rendimento do dado aquífero. Tais fatores, aliado a outros como permeabilidade do meio, espessura saturada, e raio de ação do poço, definem a capacidade de produção do aquífero e a vazão de exploração adequada.

## 10.2 – Recomendações

Devido as limitações inerentes de recurso e tempo disponíveis para alcançar objetivos mais amplos, a dissertação se confinou nos aspectos discutidos apresentados. Assim, citaríamos alguns tópicos para ampliação pelo pesquisador, direta ou indiretamente relacionados com este trabalho.

As Curvas Características Hidrodinâmicas (CCH), só foram confeccionadas para três áreas. Desta forma as mesmas, poderiam ser pesquisadas de forma profunda, para todo o Estado, de forma a encontrar um parâmetro de regionalização das curvas, provavelmente o próprio conceito de fator de filtro. As quais serviriam como guias para adoção do tipo de poço ideal para cada localidade.

Os poços Amazonas abandonados são milhares no semi-árido paraibano. Vale a pena investigar as razões para este desgaste, seja devido má construção do poço ou condições precárias de exploração.

A contribuição de cada um dos componentes de construção do poço, necessitam ainda serem pesquisados, com relação a permeabilidade e correspondente fator de filtro, para maior aproveitamento do poço amazonas.

# **CAPÍTULO 11**

## **BIBLIOGRAFIA**

## 11 - BIBLIOGRAFIA

- Bouwer, H. Groundwater Hydrology; International Student Edition. 1978, McGraw-Hill, p.83-85.
- Barreto, J. M. A. Captação de Ibiara; Poço Amazonas com Ponteiros Radiais; Relatório de Conclusão. Campina Grande: CDRM, 1989.
- Cirilo, J. A. & Cabral, J. P. Modelos de Água Subterrânea. in: Métodos Numéricos em Recursos Hídricos, Luis Carlos Wrobel et alii. Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, Rio de Janeiro, 1987, Cap. 5 vol. 1, p. 302-377.
- Chachadi, A. G. & Mishra G. C. Analysis of Unsteady Flow to a Large-Diameter Well Experiencing Well Loss. Ground Water, vol. 30, n. 3, p. 369-375, 1992.
- Duarte, e. N. Manual Técnico para Realização de Trabalhos Monográficos. João Pessoa. Ed. Universitária/UFPB, 1993.
- Dupuit, J. Etudes Théoriques et Pratiques sur le Mouvement de Euax Dans Les Canaux Decouvert et a Travers les Terrains Permeables Dunod, ed 2<sup>nd</sup>, Paris, 1896.
- Egito, E. P. Aspectos Técnicos dos Poços do Semi-árido Paraibano. Campina Grande, 1989. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestre em Ciências – Recursos Hídricos) – Universidade Federal da Paraíba.
- Freeze, R. A. & Cherry, J. A. Groundwater. Englewood Cliffs, N.J.- USA: Prentice-Hall, 1979. p. 314-317.
- Gelhar, L.W. Stochastic Analysis of flow in Aquifers. American Water Resources Association. Minnessota, USA, 1976, in "Advances in Ground Water Hydrology Proceedings". pp 57-71.
- Ground Water Manual. United States of Department of the Interior. Denver - EUA, 1981, p.1-480.
- Haar, M. E. Groundwater and Seepage. McGraw-Hill, 1962, p. 315
- Hantush, M. S. Aquifer Testes on Partially Penetrating Wells. Am. Soc. Civil Eng. Trans, 1962, vol. 127, part I, p. 284-308.
- Herbert, R. & Kitching, R. Determination of Aquifer Parameters from Large Diameter During Well Pumping Tests. Ground Water, 1981, vol. 19, n. 6, p. 593-599.
- IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas- São Paulo. Aproveitamentos de Pequeno Porte dos Recursos Hídricos do Semi-arido Nordeste, Relatório n. 20011, 1984, p. 91.

- Kinzelbach, W. Groundwater Modelling, an Introduction with Simple Programs in Basic. Development in Water Sciences, 26- Elsevier, Amsterdam, 1986
- Leal, J.M., Construção de Poços Amazonas para Abastecimento Rural, DRN/SUDENE, Recife, 1980, p.20
- Machuca, M.M. & Casas, G.G., Aguas Subterraneas, II Curso Internacional de Ingenieria de Regadios del Brasil (PRONI), 1987, p. 303
- Manual do Engenheiro Globo, Enciclopédia das Ciências e Artes do Engenheiro e do Arquiteto, ed. Globo, Porto Alegre, 1976
- Mishra, G.C. & Chachadi, A.G. Analysis of a Flow to a Large Diameter Well during the Recovery Period. Ground Water, vol 23, n. 5, p. 646-651, 1986.
- Moura, M.N.P. Noções Básicas de Hidrologia; Hidrogeologia do Polígono das Secas e Métodos de Perfuração de Poços - Curso de Reciclagem para Engenheiros do PIASS, Montes Claros, Minas Gerais, 1979.
- Papadopoulos, I. S. & Cooper, H. H. Drawdown in a Well of Large Diameter. Water Resources Research, vol. 3, p. 241-244, 1967.
- Patel, S. C. & Mishra, G. C. Analysis of Flow to a Large-Diameter Well by a Discrete Kernel Approach. Ground Water, vol. 21, n. 5, p. 573-576, 1983.
- Pavlovsky, M.N. The Theory of Ground Water under Hydraulic Structures. Nauch Meliorasts. Inst. Petrograd, p.752, 1922.
- Plano Estadual e Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos, Governo do Estado da Paraíba, Secretaria de Planejamento, SEPLAN/ATECEL, Campina Grande, Anexo I, 1994.
- Prickett, T. A. Modeling Techniques for Groundwater Evaluation in Advances in Hydroscience. Ed. V.T.Chow, Academic Press. New York. 1975, pp 1-128
- Radam Brasil. Rio de Janeiro, 1981. Folha SB. 24/25, Jaguaribe/Natal, vol. 23- Levantamento de Reservas Naturais, pp 570-572
- Ribeiro, J. P. Abastecimento D'Água de Ibiara, Pesquisa de Manancial Subterrâneo, Pesquisa Final e Projeto da Captação. CDRM. Campina Grande, 1988.
- Ribeiro, J. P. & Albuquerque, G. A. Captação de Jericó, Pesquisa de Manancial Subterrâneo, Relatório Final. CDRM/CAGEPA. Campina Grande, 1988.
- Ribeiro, J. P. & Sousa, M. F. Captação de Santa Cruz, Poço Amazonas com Ponteiros Radiais Filtrantes, Relatório de Conclusão. CDRM. Campina Grande, 1986.
- Rhuston, K. R., & Holt, S. M. Estimating Aquifer Parameters for Large Diameter Well. Ground Water, vol. 19, pp 505-509, 1981.



- Rushton, K. R. & Singh V. S. Drawdowns in Large Diameter Wells Due to Decreasing Abstraction Rates. *Ground Water*, vol. 21, n. 6, p. 670-677, 1983.
- Rushton, K. R. & Holt, Sarah M., Estimating Aquifer Parameters for Large-Diameter Wells. *Ground Water*, vol. 19, n. 5, pp. 505-509, 1981.
- Sarma, S. V. K. & Figueiredo, J. W. G. Investigação de Águas Subterrâneas no Semi-Árido Paraibano na Microrregião Homogênea do Catolé do Rocha. *Simpósio Internacional sobre Métodos e Instrumentos para uso em Água Subterrânea*. Holanda, 1983, pp. 232-242.
- Sarma, S.V.K. & Silva, T. C. Uso de elementos Finitos em Modelos de Resistores Capacitores de Barragem de Terra. VI Conferência Internacional de Elementos Finitos em Recursos Hídricos. Lisboa, 1985, pp. 325-336.
- Sarma, S. V. K. & Silva, T. C. Perdas da Água em Solos Extratificados. XII Congresso Latino Americano de Hidráulica. São Paulo, p. 434-442.
- Sarma, S. V. K. & Silva, T. C. Resposta Hidráulica do Aquífero ao Bombeamento. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 1987, n. 11, p. 26-32.
- Sarma, S. V. K. & Egito, E. P. O Uso Eficiente do Poço de Grande Diâmetro (Tipo Amazonas) no Nordeste Brasileiro. Recife - PE, I Simpósio da Associação Brasileira de Recursos Hídricos do Nordeste. Ed. Hidrologia do NE -ABRH 25ANOS, p. 129-143, 1992.
- Silva, A. S. Utilização e Conservação dos Recursos Hídricos em Áreas Rurais do Trópico Semi-árido do Brasil, Tecnologias de Baixo Custo. EMBRAPA/CPATSA, Petrolina, 1982.
- Silva, M. A. V. Atlas Climatológico do Estado da Paraíba. DCA - CCT - UFPb, EMBRAPA - FINEP, Campina Grande, 1984
- Soliman, M. M. Boudary Flow Considerations in the Design of Wells. *Proceedings of the ASCE. Journal of the Irrigation and Dreinage Division*, vol. 91, pp. 159-177, 1965.
- Sousa, M. F. et alli. Aproveitamentos dos Aquíferos Aluvionares - Conceitos e Metodologia Básicas, CDRM, Campina Grande, 1986, p. 86.
- SUDENE. Águas Subterrâneas do Nordeste. Conhecimento e Uso. 1º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Recife, 1980, p. 6.
- Todd, D. K. Hidrologia de Águas Subterrâneas. Rio de Janeiro, Ed. Edgard Blücher, 1959.

- Tucci, C. E. Hidrologia, Ciência e Aplicação. Porto Alegre, Ed. da Universidade: ABRH:EDUSP, 1993 – Coleção ABRH de Recursos Hídricos , vol.4, pp. 35-39.
- Wang, A. Introduction to Groundwater Modelling, Finite Difference and Finite Element Method. Freeman and Co. San Francisco, 1982.
- Wisler, C. O. & Brater, E. F. Hidrologia, Ed. Ao Livro Técnico S. A., 1959, p. 484.
- Yeh, W. W. G. Review of Parameter Identification Procedures in Groundwater Hydrology: The Inverse Problem, Water Resources Research, vol. 22, n. 2, p. 95-108, 1986.

# **CAPÍTULO 12**

## **ANEXOS**

## 12 – ANEXOS

## LISTA DE PROGRAMAS

PROGRAMA A: Programa MSPGD para Jericó.

PROGRAMA B: Programa MSPT para Jericó.

PROGRAMA C: Programa PERDAS.

PROGRAMA D: Programa ISONOVOS.

( Todos esses programas foram desenvolvidos por Prof. Sarma K. V. Seemanapalli, Alex M. N. Alves e Soniaéli P. de Carvalho Sá, para esta dissertação de mestrado).

## LISTA DE TABELAS

TABELA A: Resultados da calibragem do modelo MSPGD para Ibiara.

TABELA B: Resultados da Calibragem do modelo MSPT para Ibiara.

TABELA C: Resultados da calibragem do modelo MSPT para Jericó.

TABELA D: Resultados da calibragem do modelo MSPT para Jericó.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA A: Ficha de locação de poço - Ibiara.(FONTE: Ribeiro, 1988)

FIGURA B: Perfil litológico e construtivo - Ibiara (FONTE: Ribeiro, 1988)

FIGURA C: Teste de Produção poço Amazonas de Ibiara.(FONTE: Ribeiro, 1988)

FIGURA D: Teste de Produção poço Tubular de Ibiara.(FONTE: Ribeiro, 1988)

FIGURA E: Ficha de locação de poço - Jericó.(FONTE: Ribeiro, 1988)

FIGURA F: Perfil litológico e construtivo - Jericó.(FONTE: Ribeiro, 1988)

FIGURA G: Teste de Produção poço Amazonas de Jericó (FONTE: Ribeiro, 1988)

FIGURA H: Teste de Produção poço Tubular de .(FONTE: Ribeiro, 1988)

FIGURA I: Ficha de Locação de poço – Santa Cruz.(FONTE: Ribeiro & Sousa, 1986)

FIGURA J: Teste de Produção – Santa Cruz.(FONTE: Ribeiro & Sousa, 1986)

# **LISTA DE PROGRAMAS**

**PROGRAMA A:**

**PROGRAMA MSPGD PARA JERICÓ**



```

procedure windows(z,z1,z2,z3,z4:word);
var ii, tt : integer;
begin
  window(Z,Z1,Z2,Z3);
  clrscr;
  textbackground(Z4);
  clrscr;
  gotoxy(1,1);
  write('É'); {SYMBOLS ARE OF ASCII}
  gotoxy(2,1);
  for tt:=1 to (z2-z-1) do
    write('Í');
  gotoxy(2,z3-z1+1);
  for tt :=1 to (z2-z-2) do
    write('Í');
  gotoxy(1,2);
  for tt :=1 to (z3-z1-1) do
    writeln('°');
  gotoxy(Z2-Z,2);Z4:=2;
  for tt:=1 to (z3-z1-1) do
    begin
      gotoxy(z2-z,z4);
      writeln('°');
      z4:=z4+1;
    end;
  gotoxy(z2-z,1);
  write('»');
  gotoxy(1,z3-z1+1);
  write('È');
  gotoxy(z2-z,z3-z1+1);
  write('¼');
  window(1,1,80,25);
  window(z+1,z1+1,z2-2,z3-1);
  gotoxy(1,1);
end;

{end.          THIS IS TAKEN OUT AS IT REFERS TO PROGRAM MENU}

procedure Le_ir(var irr : cad_real; imm, jmm : integer);
var xx,yy, ii, jj : integer;
begin
  for ii := 3 to imm-2 do
    for jj := 3 to jmm-2 do
      if ( abs(ii-jj) >= (imm)div(2) ) or ( (ii+jj) <= (im)div(2)+1 )
        or ( (ii+jj) >= (imm)div(2)+1+imm )
        then irr[ii,jj] := 4
        else irr[ii,jj] := 1;
    for ii := 2 to imm-1 do
      for jj := 2 to jmm-1 do
        if (ii=2) or (jj=2) or (ii=imm-1) or (jj=jmm-1)
          then irr[ii,jj] :=4;
  end;

{Le_Q_T_H(q,t,h,im,jm,qn,dx,dy,kf,m);}
procedure Le_Q_T_H(var qq,tt,hh:cad_real; imm,jmm:integer;
  qnn, dxx, dyy, kff, ftor, mm : real);
var ii, jj : integer;
begin
  for jj := 1 to jmm do
    for ii := 1 to imm do
      begin
        qq[ii,jj] := qnn*dxx*dyy;

        { Esta parte do programa refere-se a mudanca da permeabilidade

```



```

        if (ii=(imm)div(2))and(jj=(imm)div(2))or
           (ii=(imm)div(2)+1)and(jj=(imm)div(2))or
           (ii=(imm)div(2))and(jj=(imm)div(2)+1)or
           (ii=(imm)div(2)+1)and(jj=(imm)div(2)+1)
        then tt[ii,jj] := ftor*kff*mm { So se aplique para o pouco}
        else tt[ii,jj] := kff*mm; { aplique para o resto da M.}

        hh[ii,jj] := {20.6082} 14.045;
    end;
end;

procedure formata_Q(var qq : cad_real; i11,jj1,i12,jj2:integer;
                   vlr : real);
var ii, jj : integer;
    xx : real;
begin
    xx := 3600;
    qq[i11,jj1] := vlr/(4*xx);qq[i11,jj2] := vlr/(4*xx);
    qq[i12,jj1] := vlr/(4*xx);qq[i12,jj2] := vlr/(4*xx);
end;

procedure plota_ir_h(irr : cad_real; jmm,imm, jmm1, imm1 : integer; flag :
boolean);
var jj, ii : integer;
begin
    for jj := jmm-1 downto jmm1 do
        for ii := imm1 to imm-1 do
            begin
                if flag
                then write(irr[ii,jj]:2:1, ' ')
                else write(sqrt(irr[ii,jj]*2):3:2, ' ');
                if (ii = (imm-1)) then writeln;
            end;
        end;
    end;

function calcula_t(tt : cad_real; i11, jj1, ii, jj : integer;
                  ttt, ddx, ddy : real):real;
begin
    calcula_t := ttt*tt[i11,jj1]/( tt[ii,jj]+tt[i11,jj1] )*ddx*ddy;
end;

procedure calcula_hh_irr(irr : cad_real; var hh : cad_real;
                        i11, jj1, i12, jj2 : integer; var ttt : real; flag : boolean);
begin
    if (irr[i11,jj1] = 0) then
        if (flag = TRUE)
            then hh[i11,jj1] := hh[i12,jj2]
            else hh[i12,jj2] := hh[i11,jj1]
        else ttt := 0;
    end;

function calcula_hnn(hh, qq : cad_real; ii, jj : integer;
                    tt1, tt2, tt3, tt4, ftt : real):real;
begin
    calcula_hnn := (tt1*hh[ii-1,jj] + tt2*hh[ii+1,jj] + tt3*hh[ii,jj-1] +
                    tt4*hh[ii,jj+1] + qq[ii,jj]) / ftt;
end;

procedure calcula_T_ir_h(var irr,hh:cad_real; tt,qq:cad_real;

```

```

var nn : integer);
var
  jj, ii : integer;
  ttt, tt1, tt2, tt3, tt4 : real;
  ftt, hnn, dee, ikk : real;
begin
  for jj := 1 to jmm do
    for ii := 1 to imm do
      begin
        ikk := irr[ii,jj];
        if (ikk <> 0) and (ikk <> 4) then
          begin
            ttt := 2*tt[ii,jj];
            tt1 := calcula_t(tt,ii-1,jj,ii,jj,ttt,ddx,1/ddy);
            tt2 := calcula_t(tt,ii+1,jj,ii,jj,ttt,ddx,1/ddy);
            tt3 := calcula_t(tt,ii,jj-1,ii,jj,ttt,ddx,1/ddy);
            tt4 := calcula_t(tt,ii,jj+1,ii,jj,ttt,ddx,1/ddy);
            if (ikk <> 1) then
              begin
                calcula_hh_irr(irr,hh,ii-1,jj,ii+1,jj,tt1,TRUE);
                calcula_hh_irr(irr,hh,ii+1,jj,ii-1,jj,tt2,TRUE);
                calcula_hh_irr(irr,hh,ii,jj-1,ii,jj+1,tt3,FALSE);
                calcula_hh_irr(irr,hh,ii,jj+1,ii,jj-1,tt4,FALSE);
              end;
            ftt := tt1 + tt2 + tt3 + tt4;
            hnn := calcula_hnn(hh,qq,ii,jj,tt1,tt2,tt3,tt4,ftt);
            dee := hnn-hh[ii,jj];
            hh[ii,jj] := hh[ii,jj] + ovv*dee;
            dee := abs(dee); fll := fll*dee; inc(nn);
            if (dee > dvv) then dvv := dee;
          end;
        end;
      end;
end;

procedure executa_valores(var irr,hh : cad_real; tt,qq : cad_real;
  dxx,dyy,omm : real; imm,jmm : integer);
var
  temp1, temp2, itt, kk, nn : integer;
  fll, dvv, ovv : real;
  test_hh : byte;
begin
  kk := 0;
  itt := 0;
  clrscr;tela;windows(10,6,60,10,6);
  repeat
    inc(kk);inc(itt);inc(itt);
    fll := 0; dvv := 0; nn := 0;
    ovv := 1 + 0.05*itt;
    if (ovv > omm)
      then ovv := omm;
    calcula_T_ir_h(irr,hh,tt,qq,ovv,dxx,dyy,fll,dvv,imm,jmm,nn);
    test_hh := 0;
    if (dvv <= t1) then
      begin
        fll := fll/nn;
        if (hh[(trunc(imm/2)),(trunc(imm/2))] < 0)
          then test_hh := 1;
      end;
    temp1 := (imm-2)div(2)+1;
    writeln(kk:2,' ###', ' hh[' ,temp1,' ,',temp1,' ] = ',
  sqrt(2*hh[temp1,temp1]):4:2,
  ' ### hh[' ,temp1,' ,',temp1+1,' ] = ', sqrt(2*hh[temp1,temp1+1]):4:2 );
    writeln(kk:2,' ###', ' hh[' ,temp1+1,' ,',temp1,' ] = ',
  sqrt(2*hh[temp1+1,temp1]):4:2,
  ' ### hh[' ,temp1+1,' ,',temp1+1,' ] = ', sqrt(2*hh[temp1+1,temp1+1]):4:2
  .

```

```
until (kk>=50) or (test_hh=1);  
end;
```

```
procedure zera_vetor(var vetor : cad_real; imm, jmm : integer);  
var ii, jj : integer;  
begin  
  for ii := -1 to imm do  
    for jj := -1 to jmm do  
      vetor[ii,jj] := 0;  
    end;  
  end;  
end;
```

```
procedure le_variaveis(var pc,imm,jmm:integer; var r,omm,tll,dxx,dyy,  
  qnn, kff, ftor, mm, vlr : real; var arq:arquivo);  
begin  
  if pc <> 2 then  
    begin  
      clrscr;tela;windows(2,4,70,20,6);  
      write( 'Raio de influencia (seja 24.7) : ');  
      readln(r);  
      write('Rede selecionada , se (14,16) digite 16 : ');  
      readln(imm);  
      write('Permeabilidade do solo, m/s, kff ( 0.00055 ) : ');  
      readln(kff);  
      write('Determine o fator de filtro : ');  
      readln(ftor);  
      write('Vazao do poço em m3/h (-) se descarga ex. (-65) : ');  
      readln(vlr);  
      jmm:=imm;dxx := r/( (imm-3)/2); dyy:=dxx;  
      omm := 1.85; tll := 0.3;  
      qnn:=0; mm:=1;  
      if pc = 1 then  
        begin  
          writeln(arq,r);writeln(arq,imm);writeln(arq,jmm);  
          writeln(arq,kff);writeln(arq,ftor);writeln(arq,vlr);  
          writeln(arq,dxx);writeln(arq,dyy);writeln(arq,omm);  
          writeln(arq,tll);writeln(arq,qnn);writeln(arq,mm);  
        end  
      end  
    else begin  
      readln(arq,r);readln(arq,imm);readln(arq,jmm);  
      readln(arq,kff);readln(arq,ftor);readln(arq,vlr);  
      readln(arq,dxx);readln(arq,dyy);readln(arq,omm);  
      readln(arq,tll);readln(arq,qnn);readln(arq,mm);  
    end;  
    if pc <> 3 then close(arq);  
  end;  
end;
```

```
procedure define_poco(var pc : integer);  
begin  
  writeln('  Determine o tipo de poco');  
  writeln('      ( 1 ) Poco Amazonas');  
  writeln('      ( 2 ) Poco Tubular');  
  write('      R = ');readln(pc);  
end;
```

```
procedure mostra_dados(imm :integer; r,omm,tll,qnn,kff,ftor,mm, vlr : real);  
begin  
  clrscr;tela;windows(4,4,70,20,6);  
  writeln('          MOSTRA DADOS INICIAIS');  
  writeln('Raio de influencia : ',r:6:2,' metros');  
  writeln('Rede escolhida : ',imm-2,'/',imm);  
  writeln('Valor Omm : ',omm:4:3);  
  writeln('Valor tll : ',tll:4:3);  
  writeln('Valor vlr : ',vlr:4:3);  
  writeln('Valor qnn : ',qnn:4:3);  
  writeln('Valor kff : ',kff:4:3);  
  writeln('Valor ftor : ',ftor:4:3);  
  writeln('Valor mm : ',mm:4:3);  
  writeln('Valor dxx : ',dxx:4:3);  
  writeln('Valor dyy : ',dyy:4:3);  
end;
```

```

writeln('A permeabilidade do solo em m/s: ', kff:8:7);
writeln('Fator de filtro : ', ftor:5:3);
writeln('O valor de mm : ', mm:4:3);
writeln('Vazao do poço em m3/h : ', vlr:8:6);
end;

procedure escolhe_funcao(var pc : integer);
begin
  clrscr;tela;windows(2,2,70,20,6);
  writeln('    Determine a funcao a ser realizada : ');
  writeln('    ( 1 ) Mostra dados iniciais ');
  writeln('    ( 2 ) Mostra vetor irr ');
  writeln('    ( 3 ) Mostra vetor h (valores centrais da matriz) ');
  writeln('    ( 4 ) Mostra valores de vazao no centro');
  writeln('    ( 5 ) Mostra cargas ao longo do diametro');
  write('    R = ');readln (pc);
end;

procedure plota_vazao_central(qq : cad_real; imm : integer);
var
  aux_imm : integer;
begin
  aux_imm := (imm)div(2);
  writeln(' qq[' ,aux_imm ,',',aux_imm ,'] = ', qq[aux_imm,aux_imm]);
  writeln(' qq[' ,aux_imm+1 ,',',aux_imm ,'] = ', qq[aux_imm+1,aux_imm]);
  writeln(' qq[' ,aux_imm ,',',aux_imm+1 ,'] = ', qq[aux_imm,aux_imm+1]);
  writeln(' qq[' ,aux_imm+1 ,',',aux_imm+1 ,'] = ', qq[aux_imm+1,aux_imm+1]);
end;

procedure abre_arquivo(var ar : integer; var arq : arquivo);
var
  terminacao : string[12];
  carat : char;
  i : integer;
begin
  repeat
  clrscr;
  tela;
  windows(10,4,55,12,6);          {ALSO FOR WINDOWS DOR DATA}
  writeln('  Faca a opcao ? ');writeln;
  writeln('    ( 1 ) Criar arquivo ');
  writeln('    ( 2 ) Abrir arquivo existente');
  writeln('    ( 3 ) Nao usar arquivo ');writeln;
  write('    R = ');
  readln(ar);
  if (ar <> 1) and (ar <> 2) and (ar <> 3)
  then begin
    clrscr;tela;windows(10,6,55,12,6);writeln;
    writeln ('    Opcao invalida, digite uma tecla');
    write('    e tente novamente ');
    carat := readkey;
    clrscr;
  end;
until (ar = 1) or (ar = 2) or (ar = 3);
  if ( ar = 1 ) or ( ar = 2 )
  then begin
    {clrscr;}
    tela;
    windows(10,7,65,12,6);
    writeln('  Entre com o nome do arquivo, sem a terminacao,');
    writeln('  que por default eh 'dat'');writeln;
    write('    Arquivo = ');
    readln(terminacao);
  end;
end;

```

```

        assign(arq,terminacao);
        if (ar = 2)
            then reset(arq)
            else rewrite(arq);
    end;

end;

procedure interroga(var bol : boolean; cade : string);
var cc : char;
begin
    bol := FALSE;
    write(cade, ' : ');
    cc := readkey; cc:= upcase(cc);
    if (cc= 'S')
        then bol := TRUE;
end;

procedure cargas_diametro(hh : cad_real; imm : integer);
var
    ii, linha : integer;
    boloe : boolean;
begin
    repeat
        clrscr;tela;windows(2,5,50,10,6);
        write('      Determine a linha desejada : ');readln(linha);
        clrscr;tela;windows(2,5,79,10,6);
        writeln('          CARGAS AO LONGO DA LINHA');
        for ii := 2 to imm-1 do
            write(sqrt(2*hh[ii,linha]):4:3);
            writeln;
            interroga(boloe,'Deseja mais alguma linha (S/N)');
        until (not boloe)
    end;
end;

procedure record_file (f:cad_real; m,n:integer; ddx,mmax,mmin : real);
VAR
    psipas:text;
    NAME_OUTPUT_FILE:STRING [14];
    iI,jJ:INTEGER;
BEGIN
    {Nao ha necessidade de inserir a terminacao .dat, pois o computador
    ja o inseri}
    Write('Digite o nome do arquivo : ');
    READLN (NAME_OUTPUT_FILE);
    NAME_OUTPUT_FILE := NAME_OUTPUT_FILE + '.dat';
    ASSIGN (psipas,NAME_OUTPUT_FILE);
    REwrite (psipas);
    writeLN (psipas,m-2, ' ');
    writeLN (psipas,n-2, ' ');
    writeLN (psipas,sqrt(2*mmax), ' ');
    writeLN (psipas,sqrt(2*mmin), ' ');
    writeLN (psipas,ddx, ' ');
    writeLN (psipas,ddx, ' ');
    FOR iI:=2 TO M-1 DO
        FOR jJ:=2 TO N-1 DO
            writeLN (psipas,sqrt(2*f[jj,iI]):10:6, ' ');
        CLOSE (psipas)
    END;
END;

procedure central(hh:cad_real; jmm,imm:integer);
var
    cc : char;
    jjmm, iimm : integer;
    bolea : boolean;

```

```

clrscr;tela;windows(7,6,63,10,6);gotoxy(5,2);
interroga(bolea,'Deseja valores centrais (S/N) ');
if bolea
  then begin
    clrscr;tela;windows(5,5,60,18,6);
    writeln('          VETOR H');
    jjmm := (jmm)div(2);
    iimm := (imm)div(2);
    plota_ir_h(hh,jjmm+4,iimm+4,jjmm-4,iimm-4,FALSE);
  end
  else begin
    clrscr;tela;windows(1,3,80,20,6);
    writeln('          VETOR H');
    plota_ir_h(hh,jmm,imm,2,2,FALSE);
  end;
cc := readkey;
end;

procedure encontra_max_min(hh:cad_real; jmm,imm:integer; var max1,min1:real);
var ii, jj :integer;
begin
  min1:=hh[2,1];
  max1:=hh[2,1];
  FOR jJ:=1 TO (jmm-1) do
    FOR iI:=2 TO (imm-1) do
      BEGIN
        IF hh[iI,jJ] < min1 THEN min1 := hh[iI,jJ];
        IF hh[iI,jJ] > max1 THEN max1 := hh[iI,jJ];
      END
    END
  end;

procedure gera_arquivo_vetor(hh:cad_real; imm,jmm:integer; ddx : real);
var
  bolea : boolean;
  mmaxx, mminn : real;
begin
  clrscr;tela;windows(7,6,63,10,6);gotoxy(5,1);
  interroga(bolea,'Criar um arquivo de dados (S/N) ');writeln;gotoxy(5,2);
  if bolea
    then begin
      encontra_max_min(hh,jmm,imm,mmaxx,mminn);
      record_file(hh,jmm,imm,ddx,mmaxx,mminn);
    end;
  clrscr;
end;

begin
  clrscr;
  abre_arquivo(pco,arqui);
  le_variaveis(pco,im,jm,raio,om,tl,dx,dy,qn,kf,fator,m,valor,arqui);
  zera_vetor(ir,im+2,jm+2);zera_vetor(h,im+2,jm+2);zera_vetor(t,im+2,jm+2);
  zera_vetor(q,im+2,jm+2);
  le_ir(ir,im,jm);
  Le_Q_T_H(q,t,h,im,jm,qn,dx,dy,kf,fator,m);
  formata_Q(q,(im)div(2),(jm)div(2),(im)div(2)+1,(jm)div(2)+1,valor);
  executa_valores(ir,h,t,q,dx,dy,om,im,jm);
  repeat
    clrscr;
    escolhe_funcao(pco);
    case pco of
      1 : mostra_dados(im,raio,om,tl,qn,kf,fator,m,valor);
      2 : begin
          clrscr;tela;windows(2,2,80,25,6);
        end;
    end;
  until pco=0;
end;

```

```

        plota_ir_h(ir, jm, im, 2, 2, TRUE);
    end;
3 : begin
    central(h, jm, im);
    gera_arquivo_vetor(h, im, jm, dx);
    {clrscr;tela;windows(5,5,50,20,6);
    writeln('          VETOR H');
    plota_ir_h(h, (jm)div(2)+4, (im)div(2)+4, ( jm)div(2)-4,
              (im)div(2)-4, FALSE);}
    end;
4 : begin
    clrscr;tela;windows(5,5,60,16,6);
    writeln('          VETOR QQ');
    plota_vazao_central(q, im);
    end;
5 : cargas_diametro(h, im);
end;
cc := readkey;
interroga(bolea, 'Deseja finalizar o programa ( S/N ) ');
until(bolea);
end.
□

```

**PROGRAMA B:**

**PROGRAMA MSPT PARA JERICÓ**



```

        {
                Area de jerico
        matriz 13-15
        raio de influencia = 24.00
        vazao = 29m^3/h
        carga h = 15.13
        qnn = 0 - aquifero livre
        omm = 1.85
        }

```

```

program soniaeli;
{$m 65000,0,65000}

```

```

uses crt;

```

```

type

```

```

    cad_real = array[-1..30,-1..30] of real;
    vector = array [-1..30,-1..30] of real;
    arquivo = text;

```

```

var

```

```

    pco, im, jm : integer;
    raio, om, tl : real;
    h, t, q, ir : cad_real;
    valor, dx, dy, kf, fator, m, qn : real;
    cc : char;
    bolea : boolean;

```

```

procedure tela;

```

```

var ii, tt : integer;

```

```

begin

```

```

    clrscr;
    window(1,1,80,25);
    textbackground(1);
    clrscr;
    textcolor(15);
    for tt := 1 to 24 do
        for ii := 1 to 80 do
            write(chr(178));
    gotoxy(1,1);
    writeln('                programa poco tubular - jerico');

```

```

end;

```

```

procedure windows(z,z1,z2,z3,z4:word);

```

```

var ii, tt : integer;

```

```

begin

```

```

    window(z,z1,z2,z3);
    clrscr;
    textbackground(z4);
    clrscr;
    gotoxy(1,1);
    write('É'); {symbols are of ascii}
    gotoxy(2,1);
    for tt:=1 to (z2-z1) do
        write('Í');
    gotoxy(2,z3-z1+1);
    for tt :=1 to (z2-z-2) do
        write('Í');
    gotoxy(1,2);
    for tt :=1 to (z3-z1-1) do
        writeln('°');
    gotoxy(z2-z,2);z4:=2;

```

```

for tt:=1 to (z3-z1-1) do
  begin
    gotoxy(z2-z,z4);
    writeln('°');
    z4:=z4+1;
  end;
gotoxy(z2-z,1);
write('»');
gotoxy(1,z3-z1+1);
write('È');
gotoxy(z2-z,z3-z1+1);
write('¼');
window(1,1,80,25);
window(z+1,z1+1,z2-2,z3-1);
gotoxy(1,1);
end;

procedure tecla_veja(x1,y1:integer);
var cc:char;
begin
  gotoxy(x1,y1);textcolor(blue + blink);
  write('====> continuar... digite uma tecla!');
  cc := readkey;clrscr;textcolor(15);
end;

{procedure le_ir(var irr : cad_real; imm, jmm : integer);
var xx,yy, ii, jj : integer;
begin
  for ii := 3 to imm-2 do
    for jj := 3 to jmm-2 do
      if ( abs(ii-jj) >= (imm)div(2) ) or ( (ii+jj) <= (im)div(2)+1 )
        or ( (ii+jj) >= (imm)div(2)+1+imm )
        then irr[ii,jj] := 4
        else irr[ii,jj] := 1;
    for ii := 2 to imm-1 do
      for jj := 2 to jmm-1 do
        if (ii=2) or (jj=2) or (ii=imm-1) or (jj=jmm-1)
          then irr[ii,jj] :=4;
end;)}

procedure Le_ir(var irr : cad_real; imm, jmm : integer);
var xx,yy, ii, jj : integer;
begin
  for ii := 2 to imm-1 do
    for jj := 2 to jmm-1 do
      if ( abs(ii-jj) >= (imm)div(2) ) or ( (ii+jj) <= (imm)div(2)+2 )
        or ( (ii+jj) >= (imm)div(2)+imm+1 )
        then irr[ii,jj] := 4
        else irr[ii,jj] := 1;
end;

procedure le_q_t_h(var qq,tt,hh:cad_real; imm,jmm:integer;
                   qnn, dxx, dyy, kff, ftor, mm : real);
var ii, jj : integer;
begin
  for jj := 1 to jmm do
    for ii := 1 to imm do
      begin

```

```

        qq[ii,jj] := qnn*dxx*dyy;
        tt[ii,jj] := ftor*kff*mm;      {mudanca da permeabilidade}
        hh[ii,jj] := 15.13;      { esse valor vem de (5.5^2)/2
                                   da tese de everaldo. pg. 95 }
    end;
end;

procedure formata_q(var qq:cad_real; iil,ii2,jj1,jj2:integer;vlr : real);
var xx : real;
begin
    xx := 3600;
    qq[8,8] := vlr/(xx);
end;

procedure plota_ir_h(irr : cad_real; jmm,imm, jmm1, imm1 : integer; flag :
boolean);
var jj, ii : integer;
begin
    for jj := jmm-1 downto jmm1 do
        for ii := imm1 to imm-1 do
            begin
                if flag
                    then write(irr[ii,jj]:2:1, ' ')
                    else write(sqrt(irr[ii,jj]*2):3:2, ' ');
                if (ii = (imm-1)) then writeln;
            end;
        end;
    end;

function calcula_t(tt : cad_real; iil, jj1, ii, jj : integer;
                    ttt, ddx, ddy : real):real;
begin
    calcula_t := ttt*tt[iil,jj1]/( tt[ii,jj]+tt[iil,jj1] )*ddx*ddy;
end;

procedure calcula_hh_irr(irr : cad_real; var hh : cad_real;
    iil, jj1, ii2, jj2 : integer; var ttt : real; flag : boolean);
begin
    if (irr[iil,jj1] = 0) then
        if (flag = true)
            then hh[iil,jj1] := hh[ii2,jj2]
            else hh[ii2,jj2] := hh[iil,jj1]
        else ttt := 0;
    end;

function calcula_hnn(hh, qq : cad_real; ii, jj : integer;
                    tt1, tt2, tt3, tt4, ftt : real):real;
begin
    calcula_hnn := (tt1*hh[ii-1,jj] + tt2*hh[ii+1,jj] + tt3*hh[ii,jj-1] +
                    tt4*hh[ii,jj+1] + qq[ii,jj]) / ftt;
end;

procedure calcula_t_ir_h(var irr,hh:cad_real; tt,qq:cad_real;
    ovv,ddx,ddy : real; var fl1,dvv :real; imm, jmm : integer;
    var nn : integer);
var
    jj, ii : integer;
    ttt, tt1, tt2, tt3, tt4 : real;

```

```

ftt, hnn, dee, ikk : real;
begin
  for jj := 1 to jmm do
    for ii := 1 to imm do
      begin
        ikk := irr[ii,jj];
        if (ikk <> 0) and (ikk <> 4) then
          begin
            ttt := 2*tt[ii,jj];
            tt1 := calcula_t(tt,ii-1,jj,ii,jj,ttt,ddx,1/ddy);
            tt2 := calcula_t(tt,ii+1,jj,ii,jj,ttt,ddx,1/ddy);
            tt3 := calcula_t(tt,ii,jj-1,ii,jj,ttt,ddx,1/ddy);
            tt4 := calcula_t(tt,ii,jj+1,ii,jj,ttt,ddx,1/ddy);
            if (ikk <> 1) then
              begin
                calcula_hh_irr(irr,hh,ii-1,jj,ii+1,jj,tt1,true);
                calcula_hh_irr(irr,hh,ii+1,jj,ii-1,jj,tt2,true);
                calcula_hh_irr(irr,hh,ii,jj-1,ii,jj+1,tt3,false);
                calcula_hh_irr(irr,hh,ii,jj+1,ii,jj-1,tt4,false);
              end;
            ftt := tt1 + tt2 + tt3 + tt4;
            hnn := calcula_hnn(hh,qq,ii,jj,tt1,tt2,tt3,tt4,ftt);
            dee := hnn-hh[ii,jj];
            hh[ii,jj] := hh[ii,jj] + ovv*dee;
            dee := abs(dee); fl1 := fl1*dee; inc(nn);
            if (dee > dvv) then dvv := dee;
          end;
        end;
      end;
end;

```

```

procedure mostra_iteracoes(var hhh : cad_real; immm, kk : integer);
var
  kk_tes, vel, t1 : integer;
  x1,x2,x3,x4,x5 : real;
begin
  t1:=(immm-2)div(2)+2;
  x1:=sqrt(2*hhh[t1,t1-1]);x2:=sqrt(2*hhh[t1-1,t1]);
  x3:=sqrt(2*hhh[t1,t1]);x4:=sqrt(2*hhh[t1+1,t1]);
  x5:=sqrt(2*hhh[t1,t1+1]);
  delay(kk*kk);
  writeln('          VALORES CENTRAIS DO PC. TUBULAR');
  writeln(kk:2,'          h['',t1,'',',t1-1,'] = ',x1:4:4);
  writeln('          h['',t1,'',',t1+1,'] = ', x5:4:4,
  '          h['',t1,'',',t1,'] = ',x3:4:4,'          h['',t1+1,'',',t1,'] = ',x4:4:4);
  writeln('          h['',t1-1,'',',t1,'] = ', x2:4:4 );
end;

```

```

procedure executa_valores(var irr,hh : cad_real; tt,qq : cad_real;
  dxx,dyy,omm : real; imm,jmm : integer);
var
  itt, kk, nn : integer;
  fl1, dvv, ovv : real;
  test_hh : byte;
begin
  kk := 0;itt := 0;
  clrscr;tela;windows(10,7,75,13,6);
  repeat
    inc(kk);inc(itt);inc(itt);
    fl1 := 0; dvv := 0; nn := 0;
    ovv := 1 + 0.05*itt;
  until

```

```

if (ovv > omm)
  then ovv := omm;
calcula_t_ir_h(irr,hh,tt,qq,ovv,dxx,dyy,fll,dvv,imm,jmm,nn);
test_hh := 0;
if (dvv <= tl) then
  begin
    fll := fll/nn;
    if (hh[8,8] < 0)
      then test_hh := 1;
    end;
  mostra_iteracoes(hh,imm,kk);
until (kk >=50) or (test_hh = 1);
cc := readkey;
end;

procedure zera_vetor(var vetor : cad_real; imm, jmm : integer);
var ii, jj : integer;
begin
  for ii := -1 to imm do
    for jj := -1 to jmm do
      vetor[ii,jj] := 0;
    end;
end;

procedure le_variaveis(var imm,jmm:integer; var r,omm,tll,dxx,dyy,
  qnn, kff, ftor, mm, vlr : real);
begin
  r:=24.00;imm:=15;kff:=0.000537;ftor:=1;vlr:=-29;
  clrscr;tela;windows(10,4,60,13,6);
  writeln('          dados de entrada');
  writeln('  raio de influencia      = ',r:3:1);
  writeln('  rede usada igual          = ',imm);
  writeln('  permeabilidade do solo = ',kff:6:5);
  writeln('  fator de filtro          = ',ftor:4:3);
  writeln('  vazao                    = ',vlr:3);tecle_veja(5,8);
  jmm:=imm;dxx :=2*r/(imm-3); dyy:=dxx;
  omm := 1.85; tll := 0.3;
  qnn:=0; { nao 'e aquifero confinado, se trata de um aquifero
    livre}
  mm:=1;
end;

procedure mostra_dados(imm :integer; r,omm,tll,qnn,kff,ftor,mm, vlr : real);
begin
  clrscr;tela;windows(4,4,70,20,6);
  writeln('          mostra dados');
  writeln('raio de influencia : ',r:6:2,' metros');
  writeln('rede escolhida : ',imm-2,'/',imm);
  writeln('valor omm : ',omm:4:3);
  writeln('valor tll : ',tll:4:3);
  writeln('valor de qnn : ', qnn:4:3);
  writeln('a permeabilidade do solo : ', kff:8:7);
  writeln('fator de filtro : ', ftor:5:3);
  writeln('o valor de mm : ', mm:4:3);
  writeln('vazao : ', vlr:8:6);
end;

procedure escolhe_funcao(var pc : integer);
begin
  clrscr;tela;windows(5,6,60,15,6);
  writeln('          determine a funcao a ser realizada : ');

```

```

writeln('      ( 1 ) mostra dados ');
writeln('      ( 2 ) mostra vetor irr ');
writeln('      ( 3 ) mostra vetor h (valores centrais) ');
writeln('      ( 4 ) mostra valores de vazao no centro');
writeln('      ( 5 ) mostra cargas ao longo do diametro');
write('      r = ');readln (pc);
end;

```

```

procedure plota_vazao_central(qq : cad_real; imm : integer);

```

```

var
  aux_imm : integer;
begin
  aux_imm := (imm)div(2);
  writeln(' qq[' ,aux_imm,',',aux_imm,'] = ', qq[aux_imm,aux_imm]);
  writeln(' qq[' ,aux_imm+1,',',aux_imm,'] = ', qq[aux_imm+1,aux_imm]);
  writeln(' qq[' ,aux_imm,',',aux_imm+1,'] = ', qq[aux_imm,aux_imm+1]);
  writeln(' qq[' ,aux_imm+1,',',aux_imm+1,'] = ', qq[aux_imm+1,aux_imm+1]);
end;

```

```

procedure interroga(var bol : boolean; cade : string);

```

```

var cc : char;
begin
  bol := false;
  write(cade,' : ');
  cc := readkey; cc:= upcase(cc);
  if (cc= 'S') or (cc='s')
    then bol := true;
end;

```

```

procedure cargas_diametro(hh : cad_real; imm : integer);

```

```

var
  ii, linha : integer;
  boloe : boolean;
begin
  repeat
    clrscr;tela;windows(2,5,50,10,6);
    write('      determine a linha desejada : ');readln(linha);
    clrscr;tela;windows(2,5,79,10,6);
    writeln('      cargas ao longo da linha');
    for ii := 2 to imm-1 do
      write(sqrt(2*hh[ii,linha]):4:3);
    writeln;
    interroga(boloe,'deseja mais alguma linha (s/n)');
  until (not boloe)
end;

```

```

procedure record_file (f:cad_real; m,n:integer; ddx,mmax,mmin : real);

```

```

var
  psipas:text;
  name_output_file:string [14];
  ii,jj:integer;
begin
  {nao ha necessidade de inserir a terminacao .dat, pois o computador
  ja o inseri}
  write('digite o nome do arquivo : ');
  readln (name_output_file);
  name_output_file := name_output_file + '.dat';
  assign (psipas,name_output_file);

```

```

rewrite (psipas);
writeln (psipas,m-2,' ');
writeln (psipas,n-2,' ');
writeln (psipas,sqrt(2*mmax),' ');
writeln (psipas,sqrt(2*mmin),' ');
writeln (psipas,ddx,' ');
writeln (psipas,ddx,' ');
for ii:=2 to m-1 do
  for jj:=2 to n-1 do
    writeln (psipas,sqrt(2*f[jj,ii]):10:6,' ');
close (psipas)
end;

procedure central(hh:cad_real; jmm,imm:integer);
var
  cc : char;
  jjmm, iimm : integer;
  bolea : boolean;
begin
  clrscr;tela;windows(7,6,50,10,6);gotoxy(5,2);
  interroga(bolea,'deseja valores centrais (s/n) ');
  if bolea
    then begin
      clrscr;tela;windows(5,5,60,18,6);
      writeln('          vetor h');
      jjmm := (jmm+1)div(2);
      iimm := (imm+1)div(2);
      plota_ir_h(hh,jjmm+4,iimm+4,jjmm-3,iimm-3,false);
    end
    else begin
      clrscr;tela;windows(5,5,75,22,6);
      writeln('          vetor h');
      plota_ir_h(hh,jmm,imm,2,2,false);
    end;
  cc := readkey;
end;

procedure encontra_max_min(hh:cad_real; jmm,imm:integer; var maxl,minl:real);
var ii, jj :integer;
begin
  minl:=hh[2,1];
  maxl:=hh[2,1];
  for jj:=1 to (jmm-1) do
    for ii:=2 to (imm-1) do
      begin
        if hh[ii,jj] < minl then minl := hh[ii,jj];
        if hh[ii,jj] > maxl then maxl := hh[ii,jj];
      end
    end;
end;

procedure gera_arquivo_vetor(hh:cad_real; imm,jmm:integer; ddxx : real);
var
  bolea : boolean;
  mmaxx, mminn : real;
begin
  clrscr;tela;windows(7,6,63,10,6);gotoxy(5,1);
  interroga(bolea,'criar um arquivo de dados (s/n) ');writeln;gotoxy(5,2);
  if bolea
    then begin
      encontra_max_min(hh,jmm,imm,mmaxx,mminn);
    end;
end;

```

```

        record_file (hh, jmm, imm, ddx, mmaxx, mminn);
    end;
    clrscr;
end;

begin
clrscr;
le_variaveis (im, jm, raio, om, tl, dx, dy, qn, kf, fator, m, valor);
zera_vetor (ir, im+3, jm+3); zera_vetor (h, im+3, jm+3); zera_vetor (t, im+3, jm+3);
zera_vetor (q, im+3, jm+3);
le_ir (ir, im, jm);
le_q_t_h (q, t, h, im, jm, qn, dx, dy, kf, fator, m);
formata_q (q, (im) div (2), (jm) div (2), (im) div (2) + 1, (jm) div (2) + 1, valor);
executa_valores (ir, h, t, q, dx, dy, om, im, jm);
repeat
    clrscr;
    escolhe_funcao (pco);
    case pco of
        1 : mostra_dados (im, raio, om, tl, qn, kf, fator, m, valor);
        2 : begin
            clrscr; tela; windows (2, 2, 80, 25, 6);
            writeln ('          vetor ir');
            plota_ir_h (ir, jm, im, 2, 2, true);
            end;
        3 : begin
            central (h, jm, im);
            gera_arquivo_vetor (h, im, jm, dx);
            end;
        4 : begin
            clrscr; tela; windows (5, 5, 60, 16, 6);
            writeln ('          vetor qq');
            plota_vazao_central (q, im);
            end;
        5 : cargas_diametro (h, im);
    end;
    cc := readkey;
    interroga (bolea, 'deseja finalizar o programa ( s/n ) ');
until (bolea);
end.

```



**PROGRAMA C:**

**PROGRAMA PERDAS**

```

70 REM CONSOLE,,0,1:OPTION BASE 1
80 CLEAR : DEFDBL B,J,K,L,M,R:DEFSTR D,T,Z:DEFINT I,N,U,W
90 Z="PERDAS NOS POCOS":Z1=STRING$(16,"-"):Z2=STRING$(58,"-"):Z2=STRING$(58,"-")
100 Z3=STRING$(58,"-"):Z4=STRING$(38,"-")
110 ON ERROR GOTO 1040
130 GOSUB 650
140 INPUT "Numero de dados";N
150 DIM A(N),Q(N),S(N)
160 INPUT "Qual o maior valor de Cf desejado"; CF
170 INPUT "Qual o incremento";C
180 PRINT:PRINT "Entre com os valores de : ":PRINT
190 PRINT "Rebaixamento, em m, vazao em m3/dia:'
191 REM PRINT "Rebaixamento, em m.":PRINT SPC(10);"vazao em m3/dia:'
200 FOR I=1 TO N
210 PRINT TAB(2) USING"## =";I:INPUT S(I)
220 PRINT USING "Q ## =";I:INPUT Q(I)
221 REM LOCATE 29,1+10:PRINT USING "Q ## =";I:INPUT Q(I)
230 NEXT
240 PRINT:INPUT "CONFIRMA (S/N)";D
260 REM***ROTINA PARA IMPRIMIR TABELA
270 FOR Y=0 TO CF+.0005 STEP C
280 GOSUB 650
290 PRINT USING"CF = ##.####";Y
300 GOSUB 700
310 FOR U = 1 TO N
320 A(U)=S(U)/Q(U)-Y
330 IF A(U) < 0 THEN 350
340 PRINT Q(U);TAB(10)S(U);TAB(19)A(U);TAB(36)LOG(A(U));TAB(49)LOG(Q(U))
350 NEXT U
360 GOSUB 750
370 PRINT "PARA CONTINUAR APERTE UMA TECLA ";T = INPUT$(1)
380 NEXT Y
400 REM***ROTINA PARA CALCULAR PERDAS
420 GOSUB 650:PRINT
430 INPUT "COEFICIENTE ANGULAR DA RETA =";M
440 INPUT "VALOR DE CF = ";CF
450 PRINT:INPUT "CERTEZA (S/N) ";D
460 IF D = "N" OR D = "n" THEN 420
470 M1 = M + 1:N1 = INT((N+1)/2)
480 REM***IMPRIME RESULTADOS
500 PRINT:PRINT USING"Cw = ###.^^^",CW:PRINT Z4
530 FOR U = 1 TO N
540 SW(U) = CF*Q(U)
550 SE(U) = CW*Q*(U)^M1
560 PRINT TAB(1)Q(U);TAB(12)USING "##.##";S(U);:PRINT TAB(21)USING "##.##";SW(U)
:PRINT TAB(30) USING "##.###";SF(U)
570 NEXT U
580 PRINT Z4
590 PRINT:INPUT "OUTROS DADOS (S/N)";D
600 IF D = "S" OR D = "s" THEN 80
610 CONSOLE,,1,0:END
620 '
630 ' subrotina cabeçario
640 '
650 ' cls : color 5 : print z1 : color 6 : print z: color 5 : print z1:print col
or 6
660 RETURN
680 ' subrotina cabeçario tabela
690 '
700 PRINT Z2, "Q", "siw", "A=SIW/Q-CF", "LOG A","LOG Q", Z2

```

```

701 REM PRINT Z2 : PRINT TAB(1) "Q"; TAB(10) "siw"; TAB(20) "A"=SIW/Q-CF"; tab
(38) "LOG A"; tab(51) "LOG Q" : print z2
710 RETURN
720 '
750 J=0 : K=0 : L=0 : M=0 : R=0
760 FOR W=1 TO N
770 IF A(W)<0 THEN 850
780 A1(W) = LOG(A(W)) : Q1(W) = LOG (Q(W))
790 '-- acumula somas intermediarias
800 J = J+Q1(W)
810 K = K+A1(W)
820 L = L+Q1(W)^2
830 M = M+A1(W)^2
840 R = R+Q1(W)*A1(W)
850 NEXT W
860 '-- acumula coeficientes da curva
870 B2 = (N*R-K*J)/(N*L-J^2)
880 B1 = (K-B2*J)/N
890 'imprime função
900 PRINT Z3 : PRINT "y=" ; CSNG(B1);"+";CSNG(B2);"*x";" < dados logaritmado s
! >"
910 '-- calcula a analise da regressao
920 J = B2*(R-J*K/N)
930 M = M-K^2/N
940 K = M-J
950 R = J/M
960 PRINT USING "coeficiente de determinacao (r^2) =#.####";R
970 PRINT USING "coeficiente de correlacao = ##.####" ; SQR(R)
980 PRINT USING "erro padrao da estimativa = #.####"; (ABS(K/(N-2)))^.5
990 PRINT Z2
1000 RETURN
1010 '
1020 'rotina para tratamento de erro
1030 '
1040 IF ERR <> 11 AND ERL <> 870 THEN ON ERROR GOTO 0
1050 BEEP : PRINT : PRINT "divisao por zero em " ERL; "!"
1060 PRINT : PRINT "para continuar aperte uma tecla ." ; : T = INPUT $(1)
1070 RESUME 420

```

**PROGRAMA D:**

**PROGRAMA ISONOVO5**

```

program isolines;
{$N+,e+,M 53600,0,53600}
uses graph,crt,dos;
type
  vector = array [1..30,1..30] of real;
  cadeias = array [1..8] of string[48];
  cadeia = string[40];
var
  h:vector;
  fl1,numero,l,ll,c0,c1,ey:integer;
  dx,dy,dx1,dy1,max,min,max1,min1:real;
  opc:char;
  graficos : cadeias;
  boleana : boolean;

procedure tela;
var
  ii, tt : integer;
begin
  clrscr;
  window (1,1,80,25);
  textbackground (1);
  clrscr;
  textcolor (15);
  for tt:=1 to 24 do
    for ii:=1 to 80 do
      write (chr (178));
  gotoxy (1,1);
  writeln ('          PROGRAMA DE APERFEICOADO DE PSI PHI');
end;

procedure windows(z,z1,z2,z3,z4:word);
var
  ii, tt : integer;
begin
  window (z,z1,z2,z3);
  clrscr;
  textbackground(z4);
  clrscr;
  gotoxy(1,1);
  write ('É');
  gotoxy(2,1);
  for tt:=1 to (z2-z-1) do
    write ('I');
  gotoxy(2,z3-z1+1);
  for tt:=1 to (z2-z-2) do
    write ('I');
  gotoxy(1,2);
  for tt :=1 to (z3-z1-1) do
    writeln ('°');
    gotoxy(z2-z,2);z4:=2;
  for tt:=1 to (z3-z1-1) do
    begin
      gotoxy(z2-z,z4);
      writeln ('°');
      z4:=z4+1;
    end;
  gotoxy(z2-z,1);
  write ('»');

```

```

gotoxy(1,z3-z1+1);
write ('È');
gotoxy(z2-z,z3-z1+1);
write ('¼');
window (1,1,80,25);
window (z+1,z1+1,z2-2,z3-1);
gotoxy(1,1);
end;

```

```

procedure cria_grade(y01:integer; x01,lx1,ly1,nx1,sx1,syl,nyl:integer);
var
  ii : integer;
begin
  moveto (x01,y01);
  lineto (lx1+x01,y01);
  lineto (lx1+x01,y01+ly1);
  lineto (x01,y01+ly1);
  lineto (x01,y01);
  for ii:=0 to (nx1-1) do
    begin
      putpixel (x01+ii*sx1,y01-1,15);
      putpixel (x01+ii*sx1,y01,0);
      putpixel (x01+ii*sx1,y01+ly1+1,15);
      putpixel (x01+ii*sx1,y01+ly1,0);
    end;
  for ii:=0 to (nyl-1) do
    begin
      putpixel (x01-1,y01+ii*syl,15);
      putpixel (x01,y01+ii*syl,0);
      putpixel (x01+lx1+1,y01+ii*syl,15);
      putpixel (x01+lx1,y01+ii*syl,0);
    end;
  end;
end;

```

```

procedure blocol(var ddx,del:real; nooftim,dx1,dyl:real;
  eyl,y01,nyl,nx1:integer; var ex1,lx1,ly1,provl,
  sobrl,x01,syl,sx1 : integer; fat:real);
var
  gd,gm : integer;
  invert : string;
begin
  if nooftim = 1
    then begin
      gd:=detect;
      initgraph (gd,gm,'d:\pas');
    end;
  ddx:=dx1/dyl;
  ex1:=round(ddx*eyl*1.057);
  lx1:=(nx1-1)*ex1;
  ly1:=(nyl-1)*eyl;
  provl:=getmaxx;gotoxy(0,35);
  str(getmaxx,invert);
  {outtextxy(150,350,invert);}
  sobrl:=(provl-lx1);
  x01:=round(sobrl * fat);
  if ((lx1+abs(x01)>getmaxx) or (lx1+abs(x01)<0))
    then begin
      lx1:=getmaxx-2;
      x01:=1;
    end;
end;

```

```

if ((ly1+y01>getmaxy) or (ly1+y01<0))
  then ly1:=getmaxy-y01-1;
syl:=ly1 div (ny1-1);
ly1:=syl*(ny1-1);
sxl:=lx1 div (nx1-1);
lx1:=sxl*(nx1-1);
del:=1/(syl+1)
end;

procedure calcula_laco(valor, kk1, kk2, kk3, kk4, dde:real; var ee, nne, zza, ffl:real;
var yyi : extended;
      sxx, syy, xxr, yyr:integer; var xxp, yyp:integer);
begin
  while ee<=valor do
    begin
      nne:=ee*kk1-kk3;
      if nne <> 0
        then begin
          zza:=ee*kk2+kk4; yyi:=zza/nne;
          if ((yyi<=1) and (yyi>=0))
            then begin
              xxp:=trunc (xxr+sxx*ee+0.5);
              yyp:=trunc (yyr+syy*yyi+0.5);
              if ffl=0
                then begin
                  putpixel (xxp, yyp, 15);
                  ffl:=1;
                  moveto (xxp, yyp);
                end;
              lineto (xxp, yyp);
            end
          else ffl:=0;
        end;
      ee:=ee+dde;
    end;
  end;

procedure plota_texto(xx0, yy0, lly : integer);
begin
  outtextxy(xx0-30, yy0-30,
    '(For given increments, No.of Phi Lines are 20 & Psi lines are 10.4)');
  outtextxy(xx0-75, 130, 'Phi-lines ');
  outtextxy(xx0-75, 140, 'Psi-Lines ');
  outtextxy(xx0-20, lly+100,
    ' FIG. 2. PHI-PSI LINE NETWORK FOR 110-110 V POTENTIALS');
  outtextxy(xx0-40, lly+130,
    '(ddx=ddy=10 cm; Matrix 7x13(6x11 real); Gradient m= 10Volts/meter)');
end;

procedure design_graph (h:vector; var dx, dy, co, cu:real;
      ny, nx, nooftimes, ey, Y0:integer; fator
:real);
var
  tes, escap:char;
  i, j, sx, py, sy, xr, yr, yp, xp, lx, ly, ex, x0, sobr, prov:integer;
  de, dcl, c, z1, z2, z3, z4, k1, k2, k3, k4, kpr, e, xa, dxy:real;
  xe, fl, ne, za:real;
  res, xi, yi:extended;
begin

```

```

bloco1(dx,de,nooftimes,dx,dy,ey,y0,ny,nx,ex,lx,ly,prov,sobr,x0,sy,sx,fator);
cria_grade(y0,x0,lx,ly,nx,sx,sy,ny);
if nooftimes=1
  then moveto (0,0)
  else moveto (0,10);
outtext('      Entre com o valor do incremento : ');
moverel(40,40);
readln(dcl);
while (dcl=0) do
  begin
    moveto (0,0);
    read(dcl);
  end;
c:=cu;
moveto(xr,yr);

while c<=co do
  begin
    for j:=0 to (ny-2) do
      for i:=0 to (nx-2) do
        begin
          escap='D';
          z1:=h[i+1,j+1];z2:=h[i+2,j+1];
          z3:=h[i+2,j+2];z4:=h[i+1,j+2];
          if ((z1>c) and (z2>c) and (z3>c) and (z4>c))
            then escap='F';
          if ((z1<c) and (z2<c) and (z3<c) and (z4<c))
            then escap='F';
          if ((z1=c) and (z2=c) and (z3=c) and (z4=c))
            then begin
              xr:=(x0+i*sx);
              yr:=(y0+j*sy);
              moveto (xr,yr);
              for py:=yr to (yr+sy) do
                line (xr,py,xr+sx,py);
              escap='F';
            end;
          if escap='D'
            then begin
              k2:=z1-z2;k1:=k2+z3-z4;k3:=z1-z4;k4:=c-z1;
              xr:=x0+i*sx;yr:=y0+j*sy;
              moveto (xr,yr);
              tes='N';
              res:= (k1*k4+k2*k3);
              if res <> 0
                then begin
                  kpr:=k1;tes='P';
                end;
              if tes='P'
                then k1:=1;
              if(k1=0) and (k2=0) and (k3<>0)
                then begin
                  e:=-k4/k3;
                  yp:=trunc(yr+sy*e+0.5);
                  if ((yp <= yr+sy) and (yp>=yr))
                    then line (xr,yp,xr+sx,yp);
                end;
              if ((k1=0) and (k2<>0) and (k3=0))
                then begin
                  e:=-k4/k2;
                  xp:=trunc(xr+sx*e+0.5);

```



```

        if ((xp>=xr) and (xp<=xr+sx))
            then line (xp,yr,xp,yr+sy);
        end;

if(k1=0) and (k2<>0) and (k3=0)
then begin
    e:=-k4/k2;
    xp:=trunc(xr+sx*e+0.5);
    if ((xp<xr) or (xp>xr+sx))
        then begin
            e:=-k4/k3;
            yp:=trunc(yr+sy*e+0.5);
            if ((yp<=yr+sy) and (yp>=yr))
                then line (xr,yp,xr+sx,yp);
            end
        else begin
            line (xp,yr,xp,yr+sy);
            e:=-k4/k3;
            yp:=trunc(yr+sy*e+0.5);
            if ((yp<=yr+sy) and (yp>=yr))
                then line (xr,yp,xr+sx,yp);
            end;
        end;
    end;
if tes='P'
then k1:=0;
if k1<>0
then begin
    e:=k3/k1;
    xp:=trunc(xr+sx*e+0.5);
    if ((xp<xr) or (xp>xr+sx))
        then begin
            e:=k2/k1;
            yp:=trunc(yr+sy*e+0.5);
            if ((yp <= yr+sy) and (yp>=yr))
                then line (xr,yp,xr+sx,yp);
            end
        else begin
            line (xp,yr,xp,yr+sy);
            e:=k2/k1;
            yp:=trunc(yr+sy*e+0.5);
            if ((yp <= yr+sy) and (yp>=yr))
                then line (xr,yp,xr+sx,yp);
            end;
        end;
    end;
xa:=1;xe:=0;fl:=0;
if tes='P'
then k1:=kpr;
e:=0;

while e<=1 do
begin
    ne:=e*k1-k2;
    za:=e*k3+k4;
    if ne<>0
        then begin
            xi:=za/ne;
            if ((xi<=1) and (xi>=0))
                then begin
                    xp:=trunc (xr+sx*xi+0.5);
                    yp:=trunc (yr+sy*e+0.5);
                    if fl=0

```

```

                                then begin
                                    putpixel (xp,yp,15);
                                    moveto (xp,yp);
                                    fl:=1;
                                end;
                                lineto (xp,yp);
                                if xe<xi
                                    then xe:=xi;
                                if xa>xi
                                    then xa:=xi;
                                end
                                else fl:=0;
                                end;
                                e:=e+de;
                                end;
                                xa:=de*trunc(xa/de+1);fl:=0;e:=0;
                                calcula_laco(xa,k1,k2,k3,k4,de,e,ne,
                                                za,fl,yi,sx,sy,xr,yr,xp,yp);
                                fl:=0;e:=xe;
                                calcula_laco(1,k1,k2,k3,k4,de,e,ne,za,
                                                fl,yi,sx,sy,xr,yr,xp,yp);
                                end
                                end;
                                c:=c+dcl;
                                end;
end;

```

```

procedure abre_arquivo(var hh:vector; var ddx,ddy,mmax,mmin:real;
                        var ll,cc0 : integer; flag:integer);

```

```

var
    exercis : text;
    name_file : string[14];
    ii, jj : integer;
begin
    gotoxy(10,18+flag);
    write('Give ',flag,'st Datafile Name ');
    readln(name_file);
    assign(exercis,name_file);
    reset(exercis);
    readln(exercis,ll);
    readln(exercis,cc0);
    readln(exercis,mmax);
    readln(exercis,mmin);
    readln(exercis,ddx);
    readln(exercis,ddy);
    for jj:=0 to (ll-1) do
        for ii:=0 to (cc0-1) do
            readln(exercis,hh[ii+1,jj+1]);
        end;
    end;
    close(exercis);
end;

```

```

procedure seleciona_grafico(var escolha:integer; grap : cadeias);

```

```

var
    oopc : char;
    ii : integer;
begin
    gotoxy (0,20);
    writeln('          Escolha o grafico a ser selecionado');
    for ii := 1 to 5 do
        writeln('          ( ',ii,' ) ',grap[ii]);
    end;
end;

```

```

        writeln;write('                R =');
        readln(escolha);
end;

```

```

function compara_parametro(ll, lll, cc0, ccl, ddx, ddx1, ddy, ddy1:real):boolean;
begin
    compara_parametro := FALSE;
    if (l=ll) and (c0=c1) and (dx=dx1) and (dy=dy1)
        then compara_parametro := TRUE;
end;

```

```

procedure retoma_vetor(var hh:vector; flag,cc0,ll:integer; file1:cadeia);
var
    vet : text;
    ii,jj : integer;
begin
    assign(vet, file1);
    if flag = 1
        then begin
            reset(vet);
            for jj:=0 to (ll-1) do
                for ii:=0 to (cc0-1) do
                    readln(vet,hh[ii+1,jj+1]);
                {
                    erase(vet);}
            end
        else begin
            rewrite(vet);
            for jj:=0 to (ll-1) do
                for ii:=0 to (cc0-1) do
                    writeln(vet,hh[ii+1,jj+1]);
            end;
        close(vet);
end;

```

```

procedure atribui_graficos(var graf : cadeias);
begin
    graf[1] := 'Phi';graf[2] := 'Psi';graf[3] := 'Phi-Psi';
    graf[4] := 'Phi e Psi separadamente';
    graf[5]:='Phi, Psi e Phi-Psi separadamente';
    graf[7] := '    Novo grafico (S/N) ?';
end;

```

```

function interroga(xx,yy:integer;grap:cadeia;flag:boolean):boolean;
var opc : char;
begin
    interroga := FALSE;
    if(flag)
        then begin
            gotoxy(xx,yy);
            write(grap);
        end
        else outtextxy(xx,yy,grap);

    opc := readkey;opc:=upcase(opc);
    if (opc = 'S')
        then interroga:= TRUE;
end;

```

```

begin
  clrscr;
  fl1 := 1;
  atribui_graficos(graficos);
  gotoxy(29,6);
  writeln('PROGRAM ISOLINES');
  abre_arquivo(h,dx,dy,max,min,l,c0,1);
  retoma_vetor(h,2,c0,1,'primeiro');
  abre_arquivo(h,dx1,dy1,max1,min1,l1,c1,2);clrscr;
  retoma_vetor(h,2,c1,l1,'segundo');

repeat
  seleciona_grafico(numero,graficos);
  case numero of
    1 : begin
      retoma_vetor(h,1,c0,1,'primeiro');
      design_graph (h,dx,dy,max,min,l,c0,1,36,79,0.5);
    end;
    2 : begin
      retoma_vetor(h,1,c1,l1,'segundo');
      design_graph(h,dx1,dy1,max1,min1,l1,c1,1,36,79,0.5);
    end;
    3 : begin
      retoma_vetor(h,1,c0,1,'primeiro');
      design_graph (h,dx,dy,max,min,l,c0,1,36,79,0.5);
      retoma_vetor(h,1,c1,l1,'segundo');
      design_graph(h,dx1,dy1,max1,min1,l1,c1,2,36,79,0.5);
    end;
    4 : begin
      retoma_vetor(h,1,c0,1,'primeiro');
      design_graph (h,dx,dy,max,min,l,c0,1,15,28,0.18);
      retoma_vetor(h,1,c1,l1,'segundo');
      design_graph(h,dx1,dy1,max1,min1,l1,c1,2,15,250,0.18);
    end;
    5 : begin
      retoma_vetor(h,1,c0,1,'primeiro');
      design_graph (h,dx,dy,max,min,l,c0,1,10,28,0.12);
      retoma_vetor(h,1,c1,l1,'segundo');
      design_graph(h,dx1,dy1,max1,min1,l1,c1,2,10,28,0.85);
      if compara_parametro(l,l1,c0,c1,dx,dx1,dy,dy1) then
        begin
          retoma_vetor(h,2,c0,1,'primeiro');
          design_graph (h,dx,dy,max,min,l,c0,2,20,200,0.45);
          retoma_vetor(h,2,c1,l1,'segundo');
          design_graph(h,dx1,dy1,max1,min1,l1,c1,2,20,200,0.45);
        end
      end;
  end;
end;

boleana := interroga(0,450,graficos[7],FALSE);
if(boleana)
  then closegraph;
until (boleana=FALSE);
end.□

```

# **LISTA DE TABELAS**



**Tabela B: Resultados da calibragem do modelo MSPT para Ibiara.**

Cargas hidráulicas, dos nós da malha (13,15)

3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.39	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.37	3.36	3.37	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.40	3.35	3.32	3.31	3.32	3.35	3.40	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.35	3.29	3.25	3.22	3.25	3.29	3.35	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.35	3.29	3.22	3.14	3.10	3.14	3.22	3.29	3.35	3.40	3.40
3.40	3.37	3.32	3.25	3.14	3.01	2.87	3.01	3.14	3.25	3.32	3.37	3.40
3.39	3.36	3.31	3.22	3.10	2.87	2.27	2.87	3.10	3.22	3.31	3.36	3.39
3.40	3.37	3.32	3.25	3.14	3.01	2.87	3.01	3.14	3.25	3.32	3.37	3.40
3.40	3.40	3.35	3.29	3.22	3.14	3.10	3.14	3.22	3.29	3.35	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.35	3.29	3.25	3.22	3.25	3.29	3.35	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.40	3.35	3.32	3.31	3.32	3.35	3.40	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.37	3.36	3.37	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40
3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.39	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40



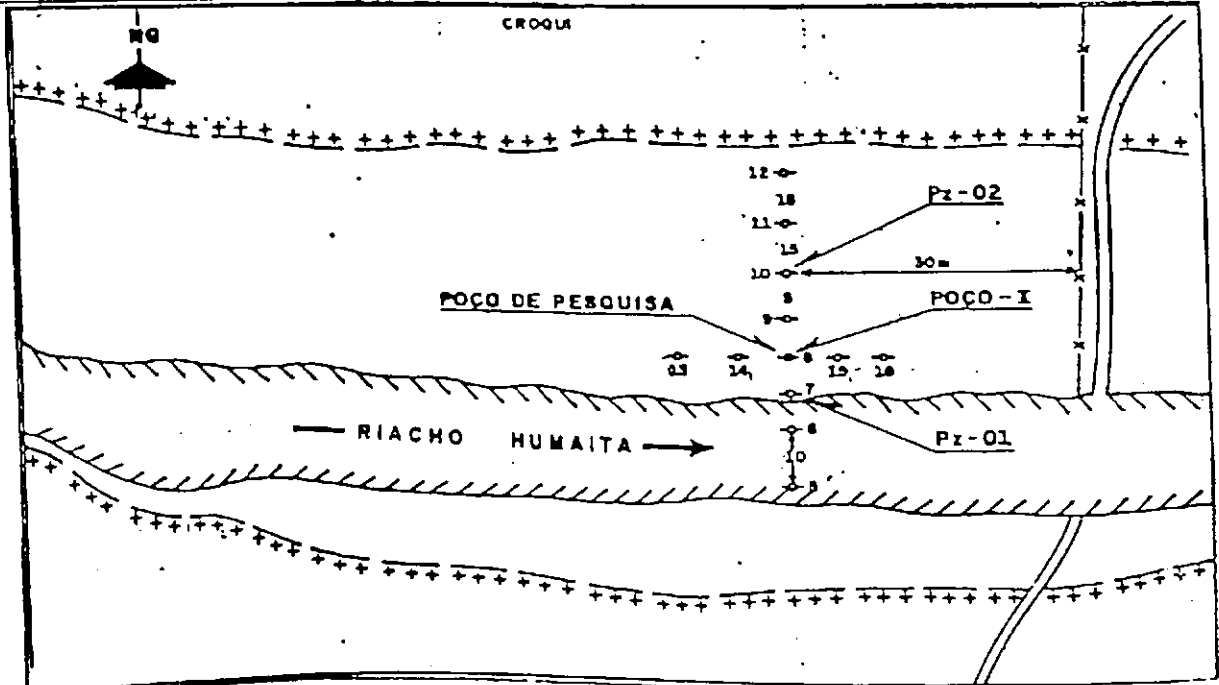
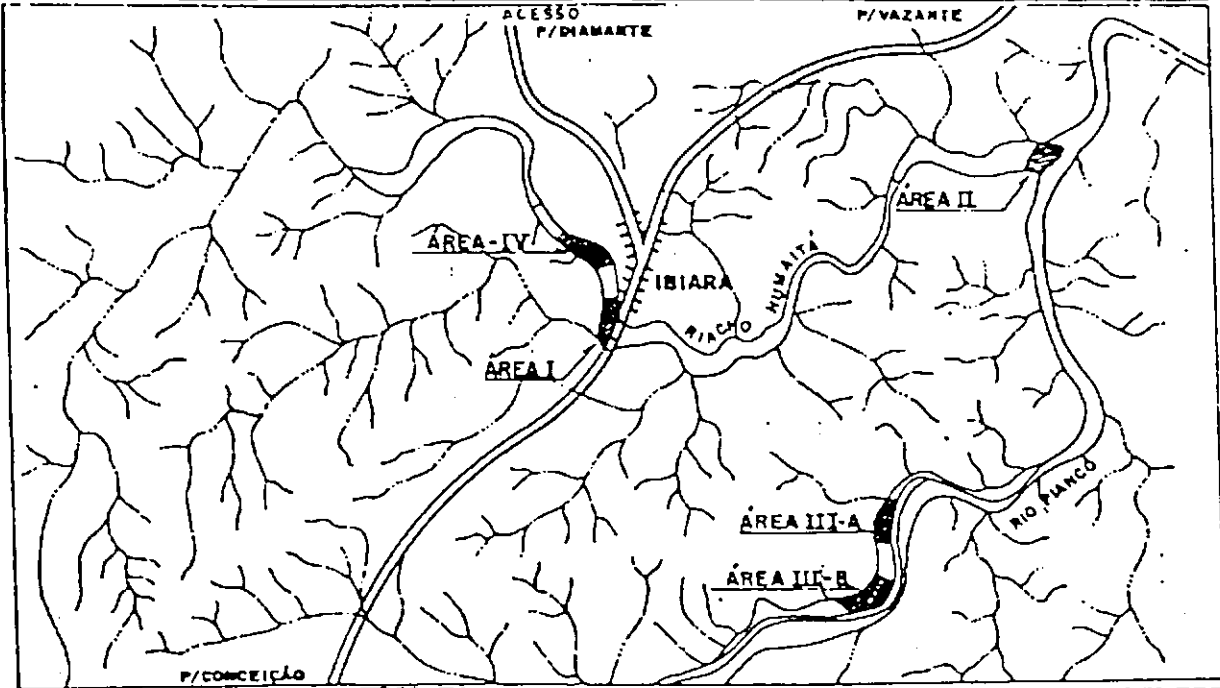


# **LISTA DE FIGURAS**



# FICHA DE LOCAÇÃO DE POÇO

MUNICÍPIO: IBIARA	FOTOÍNDICE: Q - 26
LOCALIDADE: SEDE	AEROFOTO: 2277/78
PROPRIETÁRIO: ANTONIO KERLEY	ESCALA: 1/40.000
INTERESSADO: CDRM/CAGEPA	MAPA BASE:
DATA DA VISITA: 06.03.88	FOLHA: ITAPORANGA
POSSIBILIDADE DE INUNDAÇÃO: EXISTENTE	ESCALA: 1/100.000
ELETRIFICAÇÃO: a 200 m	COORDENADAS GEOGRÁFICAS:
DISTÂNCIA À CIDADE: -	LAT S                      LONG. W



DAOS ADICIONAIS  
Distâncias entre as sondagens de detalhamento 5 m.

FIGURA A: Ficha de locação de poço - Ibiara. (FONTE: Ribeiro, 1988)

# PERFIL LITOLÓGICO E CONSTRUTIVO

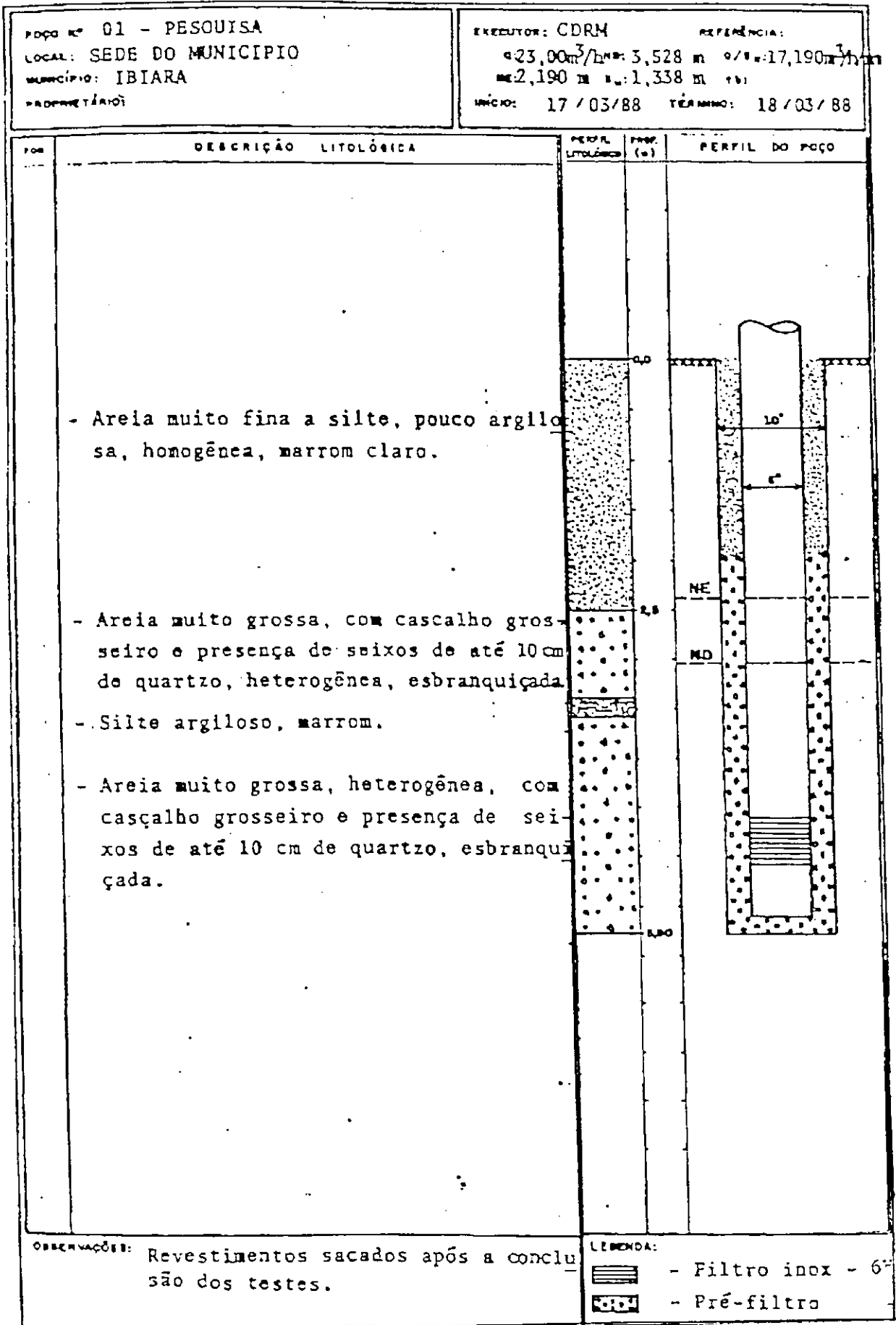


FIGURA B. Perfil litológico e construtivo - Ibiara. (FONTE: Ribeiro, 1988)



Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais do Paraíba  
 Divisão de Hidrogeologia e Sondagens  
**TESTE DE PRODUÇÃO**

Equipe: Poço Amazonas

POÇO Nº. 1		PROF: 0,90m	Q: 50,126m³/h						
MUNICÍPIO: IBIARA		CRIVO: 5,300 m	R: 1,5 m (interno)						
LOCAL: SEDE		NE: 2,425 m	INÍCIO: 7.3.89						
TB: 44h,00m		NO: 2,510 m	TÉRMINO: 10.3.89						
HORA	T (min)	ND (m)	S (m)	Q (m³/h)	Q/S (m³/h/m)	RECUPERAÇÃO			T <sub>b</sub> + 1
						T	ND	S	
19h01m	1	2,502	0,077	50,448	655,17	1	2,725	0,300	2,641
19h02m	2	2,560	0,135	50,448	373,89	2	2,685	0,260	1,521
19h03m	3	2,607	0,182	50,448	277,19	3	2,660	0,255	881
19h04m	4	2,625	0,200	50,448	252,24	4	2,645	0,220	661
19h05m	5	2,645	0,220	50,448	229,51	5	2,650	0,205	529
19h06m	6	2,660	0,235	50,448	214,67	6	2,610	0,185	441
19h08m	8	2,695	0,268	50,448	188,24	8	2,590	0,165	351
19h10m	10	2,702	0,277	50,448	182,12	10	2,560	0,155	265
19h15m	15	2,720	0,297	50,448	169,86	15	2,550	0,105	177
19h20m	20	2,725	0,300	50,448	168,16	20	2,520	0,095	155
19h25m	25	2,730	0,305	50,448	165,40	25	2,515	0,090	106,6
19h30m	30	2,735	0,310	50,448	162,74	30	2,510	0,085	89
19h40m	40	2,745	0,320	50,448	157,65	40	2,507	0,082	67
19h50m	50	2,750	0,325	50,448	155,22	50	2,505	0,080	55,8
20h	60	2,755	0,329	50,448	153,54	60	2,505	0,080	45
20h10m	70	2,755	0,330	50,448	152,87	70	2,503	0,078	38,7
20h20m	80	2,760	0,335	50,448	150,59	80	2,500	0,075	34
20h40m	100	2,767	0,342	50,448	147,51	100	2,495	0,070	27,4
21h	120	2,775	0,348	50,448	144,97	120	2,493	0,068	23
21h30m	150	2,775	0,350	50,126	145,22	150	2,490	0,065	18,6
22h	180	2,776	0,351	50,126	142,81	180	2,484	0,059	15,7
23h	240	2,778	0,355	50,126	142,00	240	2,475	0,050	12
23h30m	300	2,790	0,365	50,126	157,53	300	2,470	0,045	9,8
1h	360	2,796	0,371	50,126	155,11	360	2,468	0,043	8,3
2h	420	2,800	0,375	50,126	155,67	420	2,464	0,039	7,3
3h	480	2,800	0,375	50,126	155,67	480	2,462	0,037	6,5
4h	540	2,800	0,375	50,126	155,67	540	2,460	0,035	5,9
5h	600	2,800	0,375	50,126	155,67	600	2,458	0,035	5,4
7h	720	2,800	0,375	50,126	155,67	720	2,455	0,030	4,7
9h	840	2,800	0,375	50,126	155,67	840	2,440	0,015	4,1
11h	960	2,800	0,375	50,126	155,67	960	2,435	0,010	3,7
13h	1080	2,805	0,380	50,126	151,91	1080	2,435	0,010	3,4
15h	1200	2,805	0,380	50,126	151,91	1200	2,437	0,012	3,2
17h	1320	2,805	0,385	50,126	150,88	1320	-	-	-
19h	1440	2,805	0,385	50,126	150,88	1440	-	-	-

FIGURA C: Teste de Produção poço Amazonas de Ibiara. (FONTE: Ribeiro, 1988)



Equipe:

Poco N.º: 01 (Pesquisa)	Prof.: 6,00 m	Q: 23,00 m <sup>3</sup> /h
Município: Ibiara	Crivo: 5,90 m	R: 0,075 m
Local: SEDE DO MUNICÍPIO	NE: 2,190 m	Início: 17.03.88
Tb: 24 HORAS	ND: 3,528 m	Término: 18.03.88

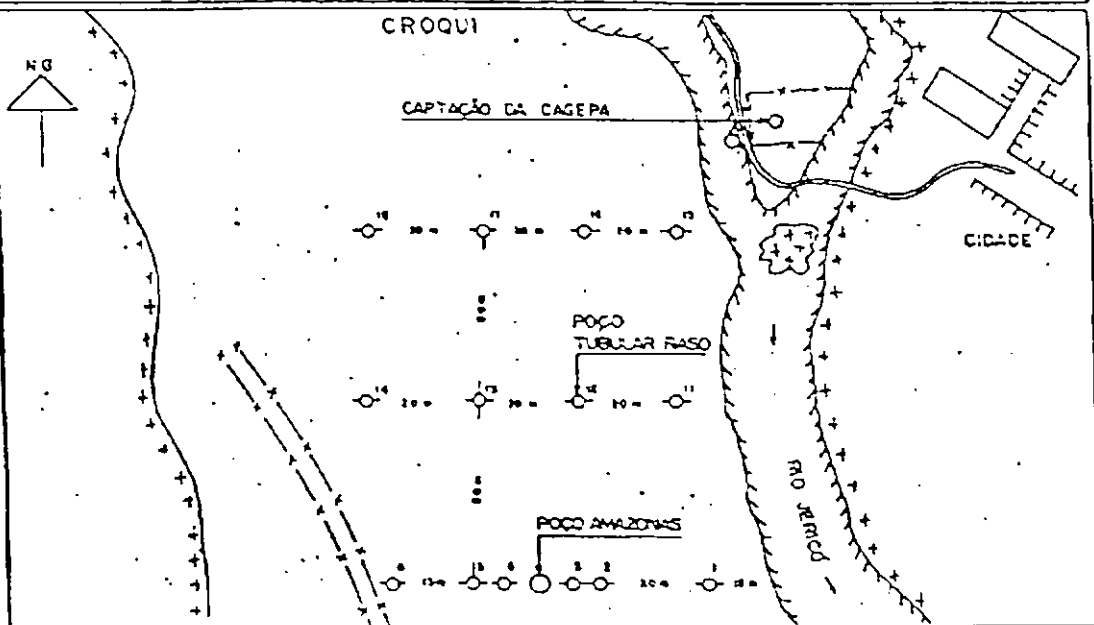
HORA	t (min)	ND (m)	S (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q/S (m <sup>3</sup> /h/m)	RECUPERAÇÃO			$\frac{1b}{t+1}$
						t	ND	S	
06:48	1	3,367	1,177	23,000	19,541	1	2,358	0,148	1441,0
06:49	2	3,390	1,200	23,000	19,167	2	2,350	0,140	721,0
06:50	3	3,393	1,203	23,000	19,119	3	2,326	0,136	481,0
06:51	4	3,402	1,212	23,000	18,977	4	2,325	0,135	361,0
06:52	5	3,404	1,214	23,000	18,946	5	2,320	0,130	289,0
06:53	6	3,405	1,215	23,000	18,950	6	2,315	0,125	241,0
06:55	8	3,405	1,215	23,000	18,950	8	2,310	0,120	181,0
06:57	10	3,406	1,216	23,000	18,914	10	2,309	0,119	145,0
07:02	15	3,407	1,217	23,000	18,899	15	2,308	0,118	97,0
07:07	20	3,409	1,219	23,000	18,868	20	2,304	0,114	75,0
07:12	25	3,412	1,222	23,000	18,822	25	2,300	0,110	58,6
07:17	30	3,415	1,225	23,000	18,776	30	2,288	0,098	49,0
07:27	40	3,418	1,228	23,000	18,730	40	2,284	0,094	37,0
07:37	50	3,420	1,230	23,000	18,699	50	2,283	0,093	29,8
07:47	60	3,421	1,231	23,000	18,684	60	2,283	0,093	25,0
07:57	70	3,421	1,231	23,000	18,684	70	2,283	0,093	21,6
08:07	80	3,423	1,233	23,000	18,654	80	2,283	0,093	19,0
08:27	100	3,425	1,235	23,000	18,623	100	2,283	0,093	15,4
08:47	120	3,429	1,239	23,000	18,563	120	2,283	0,093	13,0
09:17	150	3,433	1,243	23,000	18,504	150	2,283	0,093	10,6
09:47	180	3,439	1,249	23,000	18,815	180	2,283	0,093	9,0
10:47	240	3,445	1,255	23,000	18,327	240	2,277	0,087	7,0
11:47	300	3,450	1,260	23,000	18,254	300	2,277	0,087	5,8
12:47	360	3,458	1,268	23,000	18,139	360	2,277	0,087	5,0
13:47	420	3,467	1,277	23,000	18,011	420	2,277	0,087	4,4
14:47	480	3,477	1,287	23,000	17,871	480	2,277	0,087	4,0
15:47	540	3,482	1,292	23,000	17,802	540			
16:47	600	3,487	1,297	23,000	17,733	600			
18:47	720	3,502	1,312	23,000	17,550	720			
20:47	840	3,510	1,320	23,000	17,424	840			
22:47	960	3,513	1,323	23,000	17,385	960			
00:47	1080	3,515	1,325	23,000	17,358	1080			
02:47	1200	3,521	1,331	23,000	17,280	1200			
04:47	1320	3,525	1,335	23,000	17,228	1320			
06:47	1440	3,528	1,338	23,000	17,190	1440			

FIGURA D: Teste de Produção poço Tubular de Ibiara. (FONTE: Ribeiro, 1988)

## FICHA DE LOCAÇÃO DE POÇO

MUNICÍPIO: JERICÓ - M. R. H. 89  
 LOCALIDADE: SEDE - CAPTAÇÃO DA CAGEPA  
 PROPRIETÁRIO: CLETO PEREIRA  
 INTERESSADO: CAGEPA / CDRM  
 DATA DA VISITA: 22/08/86  
 POSSIBILIDADE DE RINCAÇÃO: EXISTENTE  
 ELETRIFICAÇÃO: NO LOCAL  
 DISTÂNCIA À CIDADE: 300 m

FOTOÍNDICE: Q - 22  
 AEROFOTO: 1144/45  
 ESCALA: 1/40.000  
 MAPA BASE:  
 FOLHA: CATOLÉ DO ROCHA  
 ESCALA: 1/100.000  
 COORDENADAS GEOGRÁFICAS:  
 LAT. S                      LONG. W



INFORMANTE NO LOCAL: OPERADORES DA CAGEPA  
 DISTÂNCIA ENTRE AS SONDAJENS Nº 2; 3; POÇO; 4; E 5; É 3,0 m.

\* FONTE: CDRM

FIGURA E: Ficha de locação de poço - Jericó. (FONTE: Ribeiro, 1988)



# PERFIL LITOLÓGICO E CONSTRUTIVO

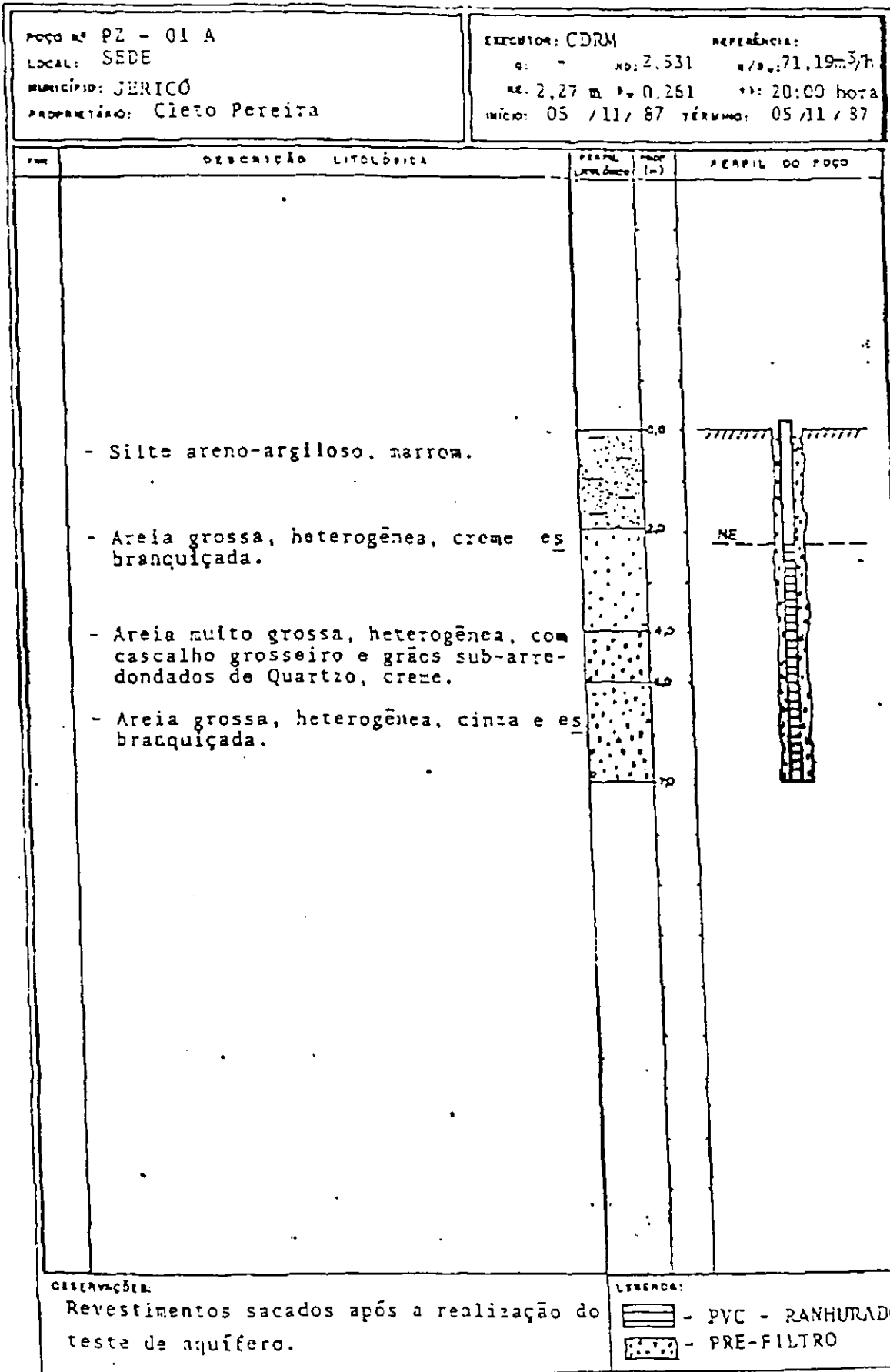


FIGURA F: Perfil litológico e construtivo - Jericó. (FONTE: Ribeiro, 1988)



Equipe: ALVINO

Poço N.º: P.A	Prof.: 8,20 m	Q: 65,00 m <sup>3</sup> /h
Município: JERICÓ	Crivo:	R: 3,80 m
Local:	NE: 2,697 m	Início: 09.11.87
Tb. 20:00 Horas	ND: 3,610 m	Término: 10.11.87

HORA	t (min)	ND (m)	S (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q/S (m <sup>3</sup> /h/m)	RECUPERAÇÃO			$\frac{15}{t+1}$
						t	ND	S	
07:31	1	2,750	0,053	65,000	1226,42	1			
07:32	2	2,908	0,211	65,000	308,06	2	3,272	0,575	601,0
07:33	3	2,954	0,257	65,000	252,92	3	3,207	0,510	401,0
07:34	4	3,033	0,336	65,000	193,45	4	3,144	0,447	301,0
07:35	5	3,059	0,362	65,000	179,56	5	3,065	0,368	241,0
07:36	6	3,113	0,416	65,000	156,25	6	3,010	0,313	201,0
07:38	8	3,167	0,470	65,000	133,30	8	2,970	0,273	151,0
07:40	10	3,239	0,542	65,000	119,93	10	2,924	0,227	121,0
07:45	15	3,272	0,575	65,000	113,04	15	2,900	0,203	81,0
07:50	20	3,309	0,612	65,000	106,21	20	2,875	0,178	61,0
07:55	25	3,340	0,643	65,000	101,09	25	2,844	0,147	49,0
08:00	30	3,382	0,685	65,000	94,89	30	2,842	0,145	41,0
08:10	40	3,415	0,718	65,000	90,53	40	2,822	0,125	31,0
08:20	50	3,441	0,744	65,000	87,36	50	2,809	0,112	25,0
08:30	60	3,471	0,774	65,000	83,98	60	2,804	0,107	21,0
08:40	70	3,464	0,764	65,000	85,08	70	2,795	0,098	18,1
08:50	80	3,469	0,772	65,000	84,20	80	2,785	0,088	16,0
09:10	100	3,474	0,777	65,000	83,66	100	2,774	0,077	13,0
09:30	120	3,485	0,788	65,000	82,49	120	2,760	0,065	11,0
10:00	150	3,506	0,809	65,000	80,35	150	2,747	0,050	09,0
10:30	180	3,514	0,817	65,000	79,56	180	2,735	0,038	07,7
11:30	240	3,524	0,827	65,000	78,60	240	2,720	0,023	06,0
12:30	300	3,541	0,844	65,000	77,01	300	2,705	0,008	05,0
13:30	360	3,546	0,849	65,000	76,56	360	2,695	-0,002	04,3
14:30	420	3,547	0,850	65,000	76,47	420	2,694	-0,003	03,9
15:30	480	3,534	0,837	65,000	77,66	480	2,692	-0,005	03,5
16:30	540	3,550	0,853	65,000	76,20	540			
17:30	600	3,559	0,862	65,000	75,41	600			
19:30	720	3,570	0,873	65,000	74,46	720	OBS :	Poço não bombeado	
21:30	840	3,571	0,874	65,000	74,37	840			
23:30	960	3,600	0,903	65,000	71,98	960			
01:30	1080	3,610	0,913	65,000	71,19	1080			
03:30	1200	3,610	0,913	65,000	71,19	1200			
	1320					1320			
	1440					1440			

FIGURA G: Teste de Produção poço Amazonas de Jericó. (FONTE: Ribeiro, 1988)





Equipe:

Poço N.º: 01 (pesquisa)  
Município: Jericó  
Local: Sede  
Tb. 24 Horas

Pret.: 7,50 m  
Crivo:  
NE: 2,20 m  
ND: 2,899 m

Q: 29,00 m<sup>3</sup>/h  
R:  
Início: 03.11.87  
Término: 04.11.87

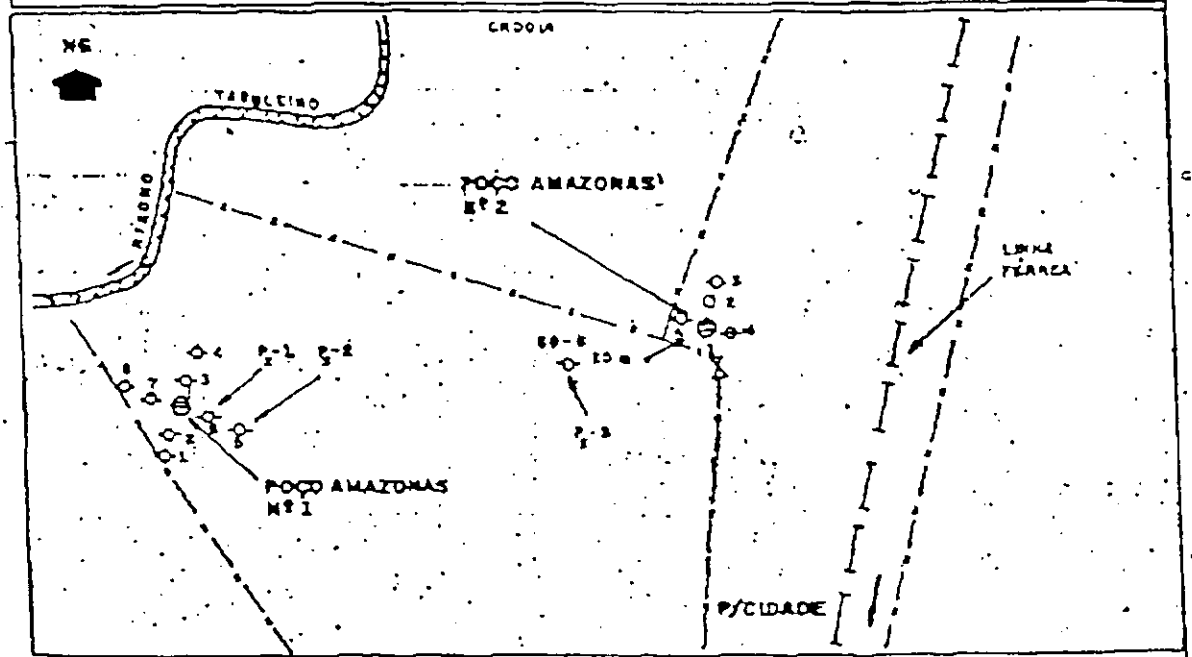
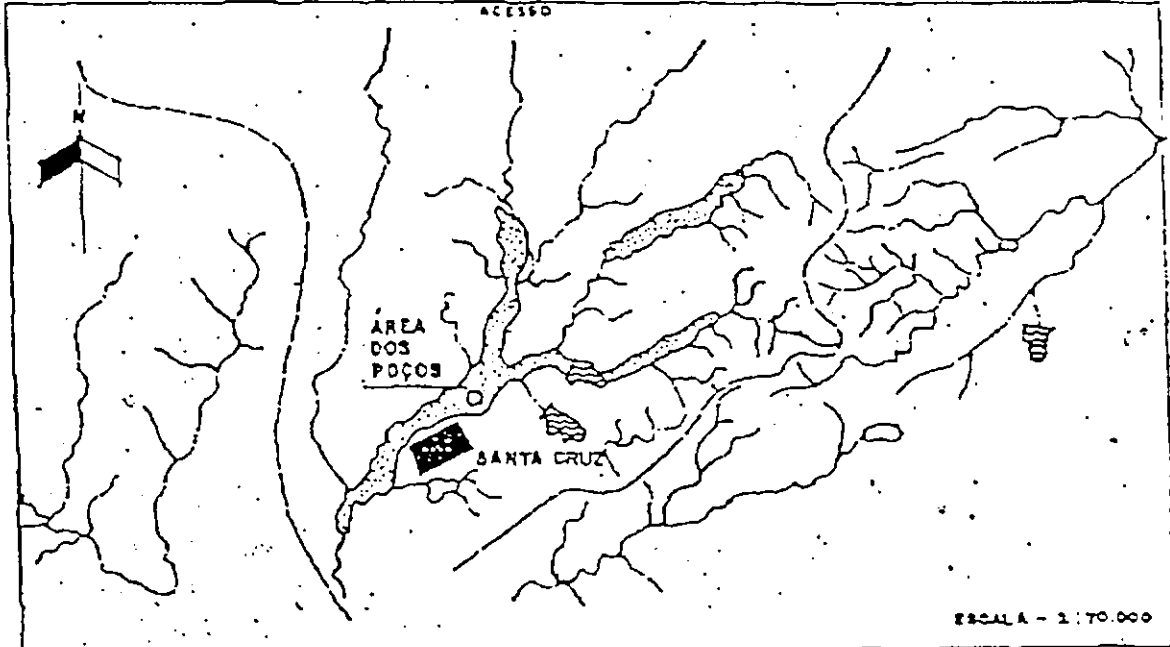
HORA	t (min)	ND (m)	S (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q/S (m <sup>3</sup> /h/m)	RECUPERAÇÃO			$\frac{1b}{1} + 1$
						t	ND	S	
07:01	1	3,760	1,560	29,000	18,590	1	2,280	0,080	1441,0
07:02	2	3,770	1,570	29,000	18,471	2	2,275	0,075	721,0
07:03	3	3,780	1,580	29,000	18,354	3	2,270	0,070	481,0
07:04	4	3,781	1,581	29,000	18,343	4	2,270	0,070	361,0
07:05	5	3,782	1,582	29,000	18,331	5	2,262	0,062	289,0
07:06	6	3,782	1,582	29,000	18,331	6	2,260	0,060	241,0
07:08	8	3,785	1,585	29,000	18,520	8	2,260	0,060	181,0
07:10	10	3,785	1,585	29,000	18,297	10	2,260	0,060	145,0
07:15	15	3,787	1,587	29,000	18,273	15	2,257	0,057	97,0
07:20	20	3,789	1,589	29,000	18,250	20	2,256	0,056	73,0
07:25	25	3,810	1,610	29,000	18,012	25	2,254	0,054	53,6
07:30	30	3,811	1,611	29,000	18,001	30	2,253	0,053	49,0
07:40	40	3,812	1,612	29,000	17,990	40	2,251	0,051	37,0
07:50	50	3,815	1,615	29,000	17,957	50	2,250	0,050	29,8
08:00	60	3,816	1,616	29,000	17,946	60	2,249	0,049	25,0
08:10	70	3,815	1,615	29,000	17,957	70	2,245	0,045	21,6
08:20	80	3,815	1,615	29,000	17,957	80	2,243	0,043	19,0
08:40	100	3,816	1,616	29,000	17,946	100	2,240	0,040	15,4
09:00	120	3,818	1,618	29,000	17,923	120	2,240	0,040	13,0
09:30	150	3,819	1,619	29,000	17,912	150	2,240	0,040	10,6
10:00	180	3,820	1,620	29,000	17,901	180	2,240	0,040	09,0
11:00	240	3,830	1,630	29,000	17,791	240	2,240	0,040	07,0
12:00	300	3,850	1,650	29,000	17,576	300	2,240	0,040	05,8
13:00	360	3,851	1,651	29,000	17,565	360	2,240	0,040	05,0
14:00	420	3,860	1,660	29,000	17,470	420	2,240	0,040	04,4
15:00	480	3,861	1,661	29,000	17,459	480	2,240	0,040	04,0
16:00	540	3,862	1,662	29,000	17,449	540	2,240	0,040	03,7
17:00	600	3,863	1,663	29,000	17,438	600			
19:00	720	3,865	1,665	29,000	17,417	720	OBS.: Poço de pesquisa bombeado.		
21:00	840	3,867	1,667	29,000	17,397	840			
23:00	960	3,870	1,670	29,000	17,365	960			
01:00	1080	3,894	1,694	29,000	17,119	1080			
03:00	1200	3,895	1,695	29,000	17,109	1200			
05:00	1320	3,897	1,697	29,000	17,089	1320			
07:00	1440	3,899	1,699	29,000	17,069	1440			

FIGURA H: Teste de Produção poço Tubular de. (FONTE: Ribeiro, 1988)



# FICHA DE LOCAÇÃO DE POÇO NºS 1 e 2

MUNICÍPIO: SANTA CRUZ	FOTOCÍNDICE: SB - 24 - P
LOCALIDADE: SEDE	AEROFOTO: 669/71
PROPRIETÁRIO: PREFEITURA	ESCALA: 1/70.000
INTERESSADO: SEM/CDRM	MAPA BASE: TOPOGRÁFICO
DATA DA VISITA: 02/08/84	FOLHA: SOUSA
POSSIBILIDADE DE INUNDAÇÃO: INEXISTENTE	ESCALA: 1/100.000
ELETRIFICAÇÃO: NO LOCAL	COORDENADAS GEOGRÁFICAS:
DISTÂNCIA À CIDADE: 700 m	LAT S                      LONG. W



NOTAS ADICIONAIS

FIGURA I: Ficha de Localização de poço - Santa Cruz. (FONTE: Ribeiro & Sousa, 1986)



# TESTE DE AQUIFERO

4.ª ETAPA

POÇO Nº : 01 (COPM) PROF. : 7,300m Q : 12,000m<sup>3</sup>/h  
 LOCAL : Sede CRAVO : 6,000m R : -  
 MUNICÍPIO : Santa Cruz-PA NG : 3,135m INÍCIO : 24.08.85  
 TB : 12 boreas ND : 4,275m TERM. ND. : 24.08.85

HORA	I (min)	ND (m)	SW (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q/SW (m <sup>3</sup> /m)	RECUPERAÇÃO			16 I' + 1
						I'	ND	SW	
05:21	1	3,700	0,0-5	14,400	350,0	1	4,225	0,070	221,0
05:22	2	3,557	0,102	14,400	141,1	2	4,170	0,015	361,0
05:23	3	3,315	0,160	14,400	90,0	3	4,110	0,065	501,0
05:24	4	3,350	0,195	14,400	73,8	4	4,080	0,025	181,0
05:25	5	3,325	0,230	14,400	62,6	5	4,037	0,082	145,0
05:26	6	3,420	0,265	14,400	54,3	6	4,000	0,08-5	121,0
05:28	8	3,450	0,295	14,400	48,8	8	3,9-5	0,290	91,0
05:30	10	3,525	0,370	14,400	38,9	10	3,900	0,7-5	73,0
05:35	15	3,613	0,458	14,400	31,4	15	3,800	0,6-5	49,0
05:40	20	3,675	0,570	14,400	25,4	20	3,735	0,580	37,0
05:45	25	3,725	0,570	14,400	25,2	25	3,685	0,530	28,0
05:50	30	3,675	0,610	14,400	23,6	30	3,650	0,495	25,0
06:00	40	3,8-5	0,690	14,400	20,8	40	3,600	0,445	19,0
06:10	50	3,872	0,737	14,400	19,5	50	3,557	0,402	15,0
06:20	60	3,970	0,765	14,400	18,8	60	3,510	0,375	13,0
06:30	70	3,9-5	0,790	14,400	18,2	70	3,510	0,355	11,2
06:40	80	3,965	0,810	12,000	14,8	80	3,490	0,335	10,0
07:00	100	3,992	0,837	12,000	14,3	100	3,455	0,300	8,2
07:20	120	4,000	0,8-5	12,000	14,2	120	3,432	0,277	7,0
07:50	150	4,035	0,800	12,000	13,6	150	3,405	0,250	5,5
08:20	180	4,060	0,905	12,000	13,2	180	3,385	0,230	5,0
09:20	240	4,110	0,955	12,000	12,5	240	3,350	0,195	4,0
10:20	300	4,155	1,000	12,000	12,0	300	3,330	0,175	3,4
11:20	360	4,180	1,025	12,000	11,7	360	3,310	0,155	3,0
12:20	420	4,205	1,050	12,000	11,4	420			
13:20	480	4,224	1,069	12,000	11,2	480			
14:20	540	4,240	1,085	12,000	11,0	540			
15:20	600	4,245	1,090	12,000	11,0	600			
17:20	720	4,275	1,120	12,000	10,7	720			
	840					840			
	960					960			
	1080					1080			
	1200					1200			
	1320					1320			
	1440					1440			

FIGURA J: Teste de Produção – Santa Cruz.(FONTE: Ribeiro & Sousa, 1986)