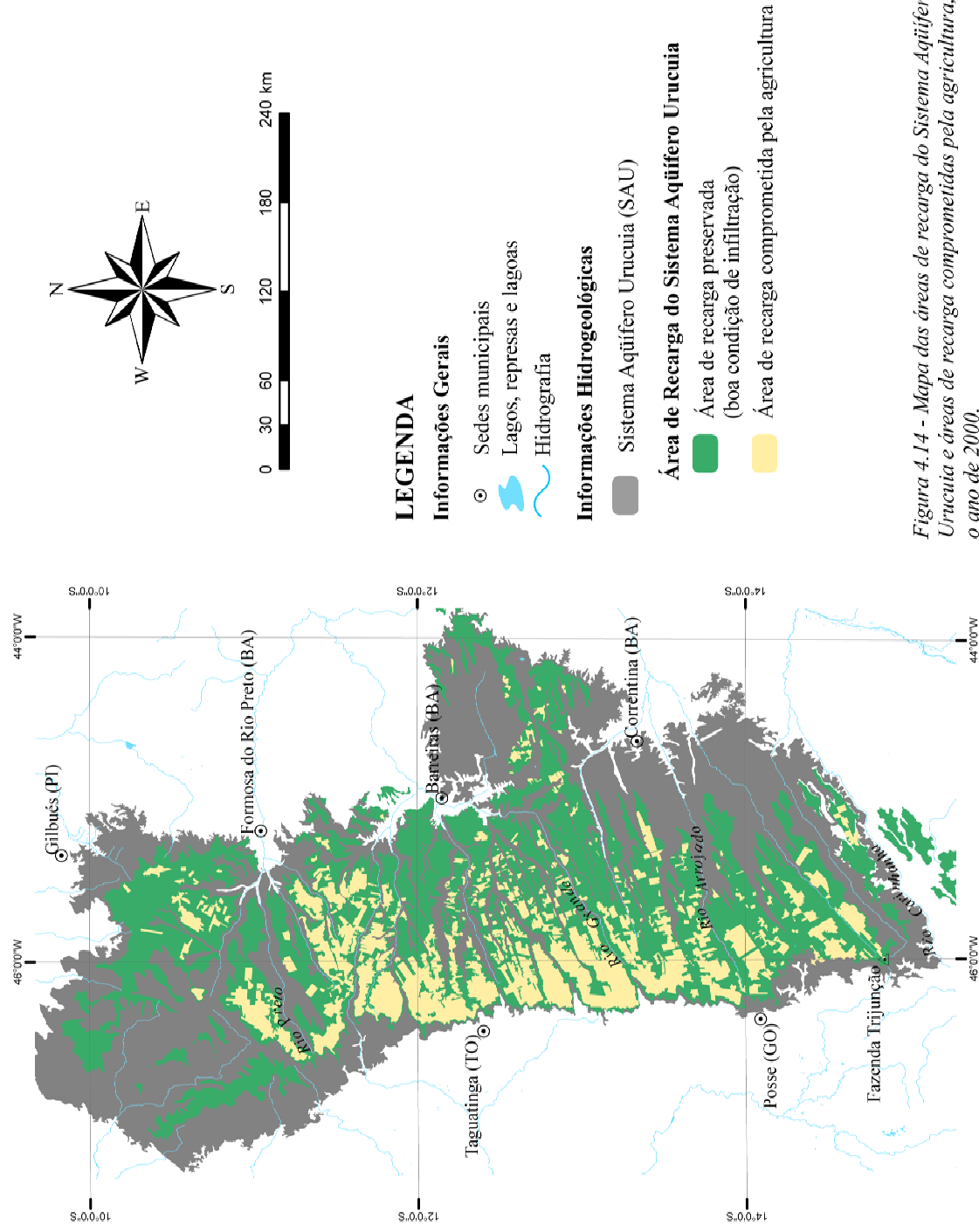


*Caracterização do Sistema Aquífero Urucuia*



*Figura 4.14 - Mapa das áreas de recarga do Sistema Aquífero Urucuia e áreas de recarga comprometidas pela agricultura, até o ano de 2000.*

#### 4.4 SUBTIPOS DE AQUÍFEROS E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

O SAU observado sob o ponto de vista geológico e regional, apresenta-se como um manancial subterrâneo homogêneo e isotrópico. Entretanto, ainda que as rochas do Grupo Urucuia componham uma unidade relativamente homogênea e com pouca variedade de litotipos; pequenas e restritas variações faciológicas nessa unidade conferem ao sistema aquífero importantes mudanças físicas, que se refletem nas propriedades hidrodinâmicas, permitindo-se diferenciar subtipos de aquíferos.

A presença de níveis silicificados, as variações granulométricas dos arenitos e a posição geográfica e espacial são os principais parâmetros controladores da presença e/ou predominância deste ou daquele subtipo de aquífero dentro do sistema.

As informações dos poços construídos na região, disponíveis no cadastro subsidiaram grande parte dessa subdivisão, que admite quatro subtipos de aquíferos: *aquífero livre regional*; *aquífero suspenso local*; *aquífero confinado ou semiconfinado* e *aquífero livre profundo*.

Esses subtipos de aquíferos estão distribuídos de forma diferenciada na região. Sua delimitação preliminar está apresentada na figura 4.15.

Os níveis silicificados ocorrem a profundidades variáveis em toda a região, e são responsáveis pela presença dos subtipos "*aquífero suspenso local*" e "*semiconfinado*". Na região de Luis Eduardo Magalhães esses níveis estão situados entre 40 e 100 m, enquanto que na bacia do rio Arrojado níveis descontínuos ocorrem em cerca de 100 m de profundidade, segundo perfis de alguns poços. A caracterização de cada subtipo dentro do sistema é descrita a seguir:

- *Aquífero livre regional (I)*

Consiste de um aquífero amplo, em termos de distribuição espacial na área. Apresenta nível estático variável, e é normalmente explorado por meio de poços tubulares de cerca de 100 metros de profundidade, estes comumente situados nas sedes das fazendas, onde a água subterrânea é utilizada essencialmente para o abastecimento doméstico e como insumo na diluição e aplicação de agrotóxicos nas lavouras.

Esse tipo de aquífero representa a maior unidade hidrogeológica do SAU, e sobrepõe-se aos demais subtipos.

O fluxo de base desse subtipo de aquífero mantém a perenidade e a elevada vazão específica da rede de drenagem da região do extremo oeste baiano, que por sua vez contribui para a regularização da vazão do médio rio São Francisco no período de recessão das chuvas. Este período seco ocorre praticamente de forma simultânea em toda a bacia.

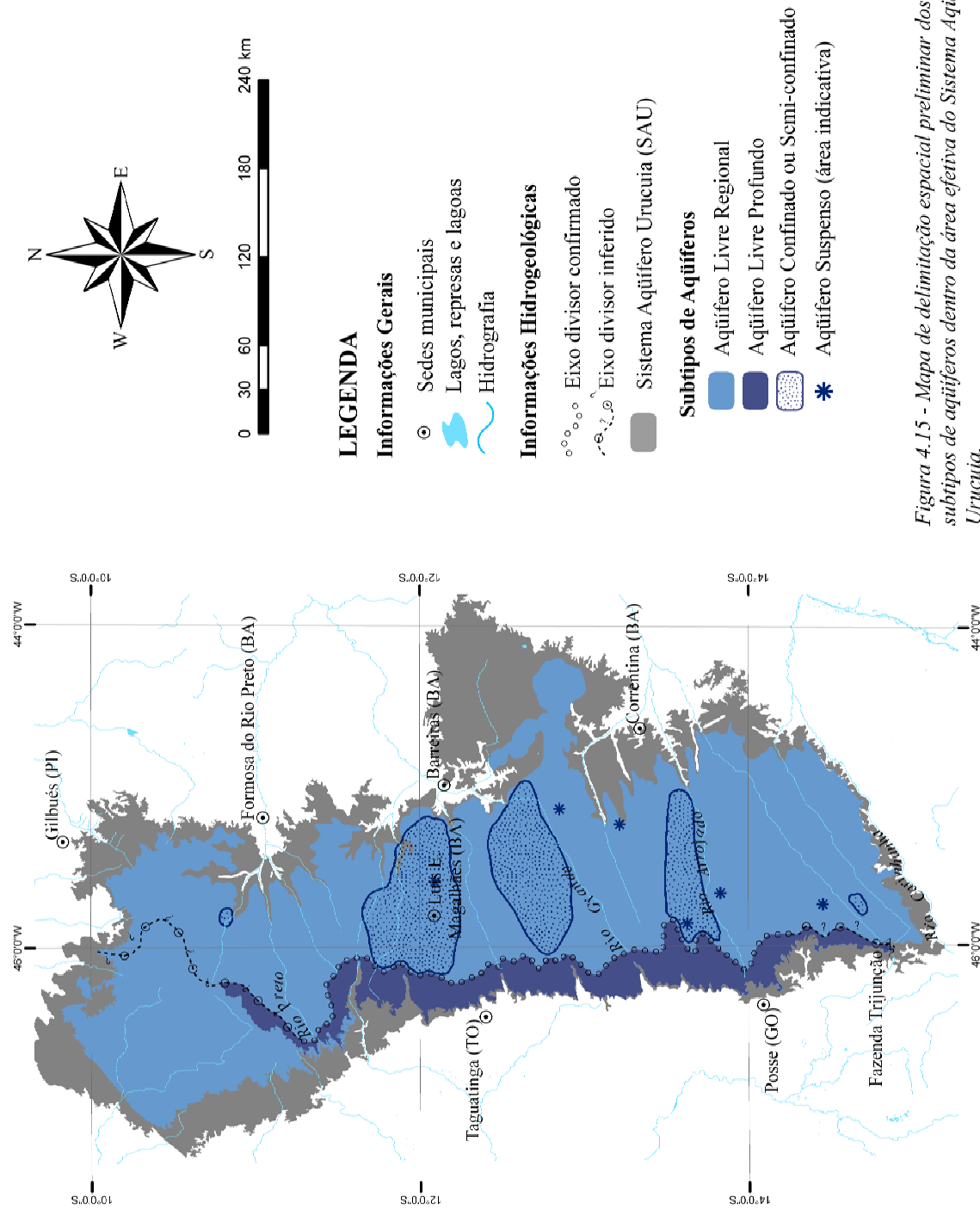


Figura 4.15 - Mapa de delimitação espacial preliminar dos subtipos de aquíferos dentro da área efetiva do Sistema Aquífero Urucuia.

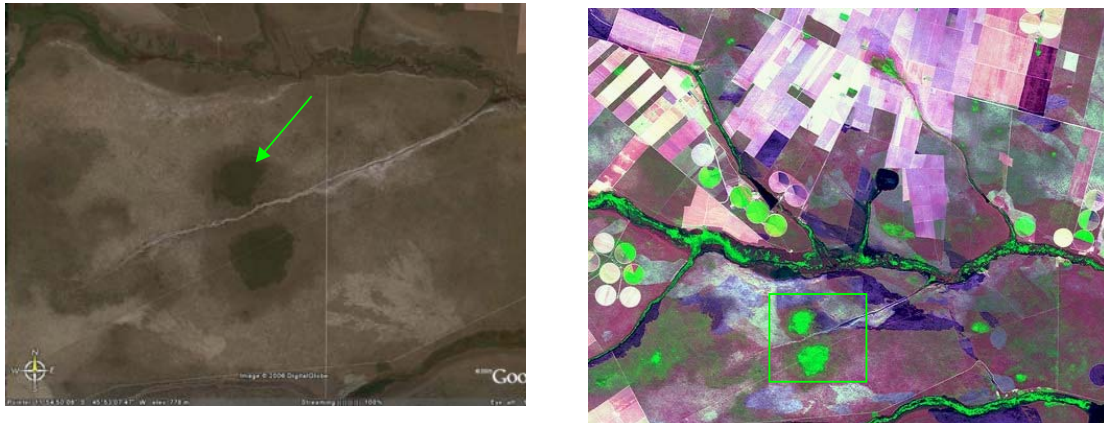
- *Aquífero suspenso local (II)*

Constitui um subtipo de aquífero desenvolvido em função da presença de níveis silicificados rasos e de extensão limitada. Esses níveis funcionam como um aquitarde, retardando a drenagem vertical da água, o que permite o acúmulo de água, provavelmente temporário, acima do nível d'água regional; podendo assim, dispor-se acima de outros subtipos dentro do sistema.

Segundo Geo Brasil (2002), esse tipo de aquífero é muito freqüente na topografia de planaltos ou chapadas arenosas do Brasil, tais como na Chapada do Araripe (fronteira entre os estados do Ceará, Pernambuco, Piauí), do Grupo Urucuia (fronteira dos estados da Bahia, Goiás, Tocantins, Minas Gerais) e no Grupo Barreiras, recobrimento arenoso que ocorre ao longo do litoral brasileiro, do Amapá ao estado do Rio de Janeiro. Nesse contexto hidrogeológico, segundo os autores o nível d'água poderá ser temporário, ou seja, seca ao longo do período sem chuvas.

Martins *et al.* (1993) citaram a presença de "aquíferos suspensos temporários" identificados na área da Fazenda Jatobá, localizada na bacia do rio Arrojado, parte sul da área. Os autores associaram a presença desse tipo de aquífero na área com um adensamento da vegetação em superfície, sendo descartada a hipótese de variações da fertilidade nos solos analisados. A presença do argilomineral lepidocrocita nos mosqueados dos perfis de solos evidencia, segundo os autores, processos de redução por estagnação de água.

A sua distribuição ocorre de forma irregular na área e é de difícil delimitação espacial. Portanto, no mapa de delimitação espacial dos subtipos de aquíferos dentro do SAU (figura 4.15), é apenas atribuída uma indicação de possíveis ocorrências desse subtipo na área. As indicações dessas áreas foram feitas com base em imagens de satélites, por meio das seguintes observações: reconhecimento de feições com formatos irregulares com baixa reflectância, que podem ser indicativas da presença de umidade em superfície; localizadas em áreas adjacentes às áreas de vegetação densa (figura 4.16) e à presença de amplas lagoas rasas. Essas feições muitas vezes estão associadas às cabeceiras das drenagens de 1ª ordem na região, o que possivelmente indica que deve haver fluxo de base local desses aquíferos para as drenagens menores. No cadastro realizado neste trabalho não foi constatada a presença de poços rasos, tipo cacimbas, que extraíssem água desse subtipo de aquífero.



**Figura 4.16** – Exemplo de área indicativas da presença de aquíferos suspensos locais. Feições indicadas com setas. Recorte de fotografia (esquerda) e cena 220/68 da imagem Landsat 7/ETM (direita), composição RBG 5,4,3, de 2000.

- *Aquífero confinado ou semiconfinado (III)*

A condição de artesianismo desse subtipo de aquífero é controlada dentro do sistema pela presença de níveis silicificados mais profundos. Entretanto, é comum a presença de vários níveis silicificados no perfil em diferentes profundidades. Esses níveis funcionam muitas vezes como aquitardes, permitindo uma drenagem vertical lenta de água da camada superior. Schuster *et al.* (2002) atestaram a ocorrência desse subtipo de aquífero por meio de estudo de poços localizados na bacia do rio do Cachorro, afluente do rio Grande (figura 4.17).

A maioria dos poços tubulares profundos utilizados em pivôs extrai água desse subtipo de aquífero. São comuns na região de Luis Eduardo Magalhães (BA), nas bacias dos rios das Éguas e Arrojado, na bacia do rio das Fêmeas, e na parte norte, no município de Formosa do Rio Preto.

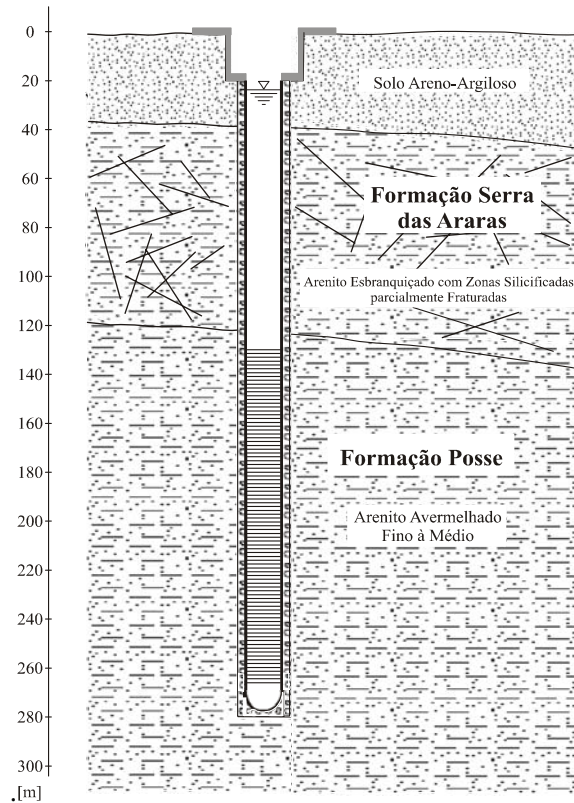
O nível potenciométrico nesse subtipo de aquífero é bastante variável. No cadastro existem poços instalados nesse contexto hidrogeológico com níveis da ordem de 12 a 70 metros.

- *Aquífero livre profundo (IV)*

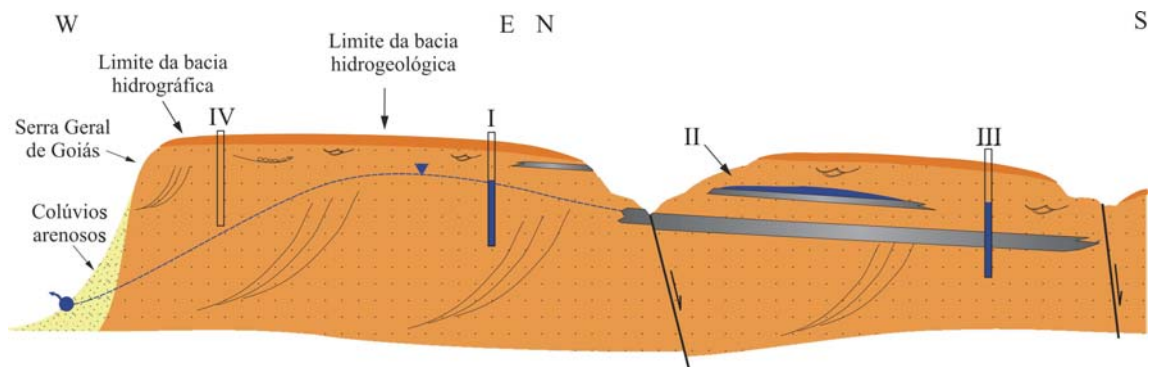
O contexto desse aquífero inclui a bacia hidrogeológica oeste, situada à oeste do eixo divisor de fluxo do SAU. Os poços perfurados nesse aquífero apresentam níveis estáticos profundos, em sua maior parte, mais profundo que 100 metros.

A superfície potenciométrica nesse contexto tem um aumento progressivo da profundidade, na direção do limite físico da Serra Geral de Goiás. O seu fluxo de base contribui para alimentação das nascentes na base da chapada, que alimentam os rios da região cárstica e cristalina de Goiás e Tocantins.

A disposição espacial dos quatro subtipos de aquíferos dentro do SAU está apresentada no perfil esquemático na figura 4.18. O perfil leste-oeste exibe o contexto dos subtipos *aquífero livre regional* (I) e *aquífero livre profundo* (IV), enquanto que o perfil norte-sul apresenta a disposição espacial dos subtipos *aquífero suspenso local* (II) e *aquífero semiconfinado* (III).



**Figura 4.17** – Exemplo de poço perfurado em aquífero semiconfinado no SAU. Poço Nº 3 instalado na Fazenda Poleta (LEM). Modificado de Schuster et al. (2002).



**Figura 4.18** - Modelo esquemático dos subtipos de aquíferos presentes no SAU. Perfil composto de uma seção EW e NS. Linha tracejada representa a superfície potenciométrica regional.

#### 4.5 PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS

Os parâmetros dimensionais dos subtipos de aquíferos foram obtidos pela interpretação de ensaios de bombeamento com o *software* Aquifer Test Pro®, da Waterloo Hydrogeologic Inc. As informações utilizadas no programa incluem: a localização geográfica dos poços, a espessura saturada do aquífero, o nível estático, as vazões de bombeamento, os níveis dinâmicos e rebaixamento no decorrer do ensaio e as informações construtivas, como o diâmetro da perfuração, do revestimento e comprimento total da seção de filtros.

Os dados disponíveis permitiram uma caracterização preliminar para os subtipos:  *aquífero livre regional, aquífero livre profundo e aquífero semiconfinado*. O subtipo  *aquífero suspenso local* não foi passível de avaliação, visto que não foram obtidos poços cadastrados nesse contexto.

É importante salientar que apesar do número significativo de poços cadastrados apenas um número restrito tem os dados de ensaios de bombeamento disponibilizados. Esse é um fato recorrente no Brasil, onde a maioria das empresas não tem responsável técnico e não realizam os ensaios nas fases finais de completação dos poços.

Outro aspecto digno de nota é que nenhum dos poços estudados é totalmente penetrante pois, não há poços até o presente que alcançaram o embasamento da bacia. Mesmo com essas limitações os resultados de ensaios considerados adequados foram tratados e os resultados deverão ser avaliados com cautela considerando essa característica.

##### ▪ *Aquífero livre regional*

As informações disponíveis para a avaliação desse subtipo de aquífero são correspondentes a quatro poços situados na Fazenda Trijunção, extremo sul da área efetiva do SAU. Os poços são relativamente rasos, com níveis estáticos igualmente rasos, com vazões de teste de cerca de 10 m<sup>3</sup>/h. As descrições dos perfis dos poços indicam arenitos médios, finos a muito finos, bem selecionados, pouco consolidados, com grãos bem arredondados e aspecto homogêneo.

A tabela 4.2 relaciona os parâmetros obtidos e outras informações dos poços. Os valores de K obtidos da ordem de 10<sup>-6</sup> e 10<sup>-7</sup> m/s são característicos de areia fina a areia argilosa (Fetter 1994), o que corresponde ao material descrito nos perfis dos poços.

Os gráficos das figuras 4.19 e 4.20 apresentam exemplos das interpretações obtidas nos poços 1 e 2 com o método de Neuman.

**Tabela 4.2** – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos em poços do aquífero livre regional.

Poço/código	Prof. (m)	NE (m)	K (m/s)	T (m <sup>2</sup> /s)
1 (1953)	60	3,6	$2,46 \cdot 10^{-7}$	$4,92 \cdot 10^{-5}$
2 (1907)	40	3,2	$1,38 \cdot 10^{-6}$	$2,76 \cdot 10^{-4}$
3 (950)	40	9,0	$3,98 \cdot 10^{-7}$	$7,96 \cdot 10^{-5}$
4 (1976)	40	3,10	$7,87 \cdot 10^{-7}$	$1,57 \cdot 10^{-4}$

O comportamento de ambas as curvas de rebaixamento versus tempo (s x t) caracteriza-se praticamente pela ausência do primeiro segmento, com forma mais inclinada, descrito em Neuman (1972). A curva da figura 4.19 apresenta apenas o primeiro e segundo ponto de leitura no segmento mais inclinado. Esse segmento representaria a liberação da água do armazenamento apenas pela compactação do material do aquífero e pela expansão da água, quando a solução se ajustaria na curva de Theis. Esse comportamento reflete-se nos valores de  $\sigma$  obtidos para ambas as análises ( $\sigma = 0,0001$ ), o que indica valores de  $S_y$  muito superiores aos de  $S$ . Segundo Neuman (1972), o período de tempo ocupado pelo primeiro segmento da curva torna-se menor à medida que  $\sigma$  decresce, ou seja, quanto maior for  $S_y$  em relação a  $S$ .

Portanto, nesses ensaios as curvas s x t exibem predominância do segundo segmento, a parte achatada da curva, que representa a drenagem gravitacional no topo do aquífero. O terceiro seguimento, também ausente, representaria o período em que a curva s x t tornar-se-ia novamente paralela à solução de Theis, voltando a apresentar um segmento inclinado. Este terceiro segmento, segundo Walton (1960) *apud* Neuman (1972), pode iniciar de alguns minutos a vários dias depois do início do bombeamento, a depender das condições do aquífero. Portanto, é provável que necessitasse de mais tempo de bombeamento para que a curva viesse a exibir este último segmento.

Embora o comportamento das curvas s x t e dos valores obtidos desses ensaios sejam característicos desse subtipo no sistema, é provável que haja uma variação nos valores dos parâmetros à medida que se obtenham informações de outros poços, situados em locais onde os arenitos apresentem composições granulométricas diferentes.

O mesmo é esperado à medida que poços totalmente penetrantes sejam construídos no Sistema Aquífero Urucuia. Estima-se que os valores obtidos estejam ligeiramente subestimados, haja vista que os arenitos do Grupo Urucuia descritos nos perfis dos poços citados são arenitos finos, mas há no domínio desse subtipo de aquífero, poços perfurados em arenitos com granulometria maior que provavelmente resultaria em valores maiores de condutividade hidráulica.



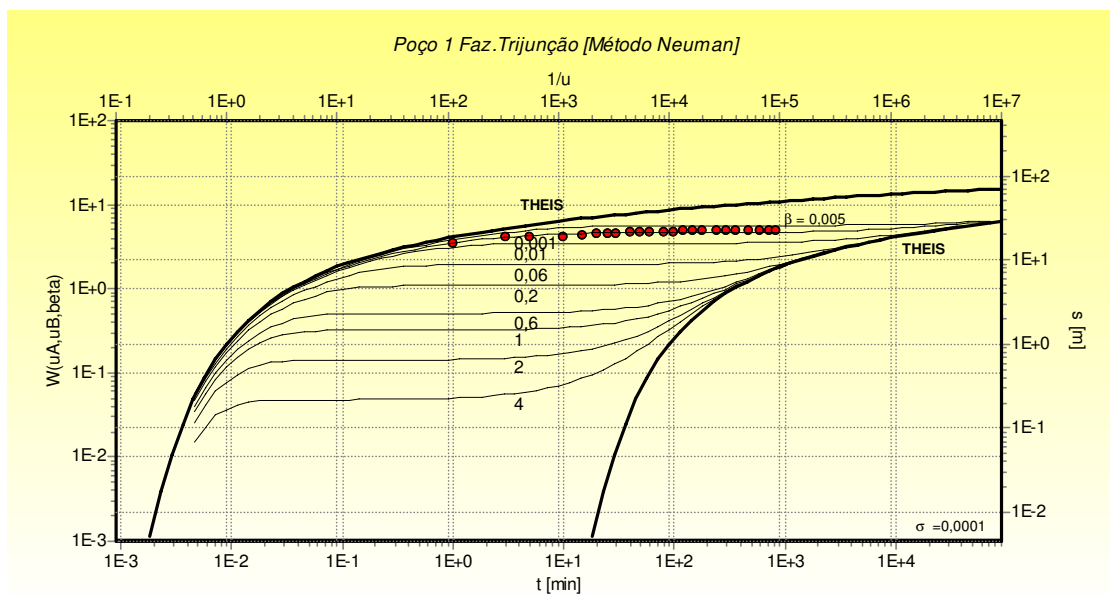


Figura 4.19 – Gráfico de interpretação do ensaio de bombeamento do poço 1 da Fazenda Trijunção, pelo método de Neuman (1975).

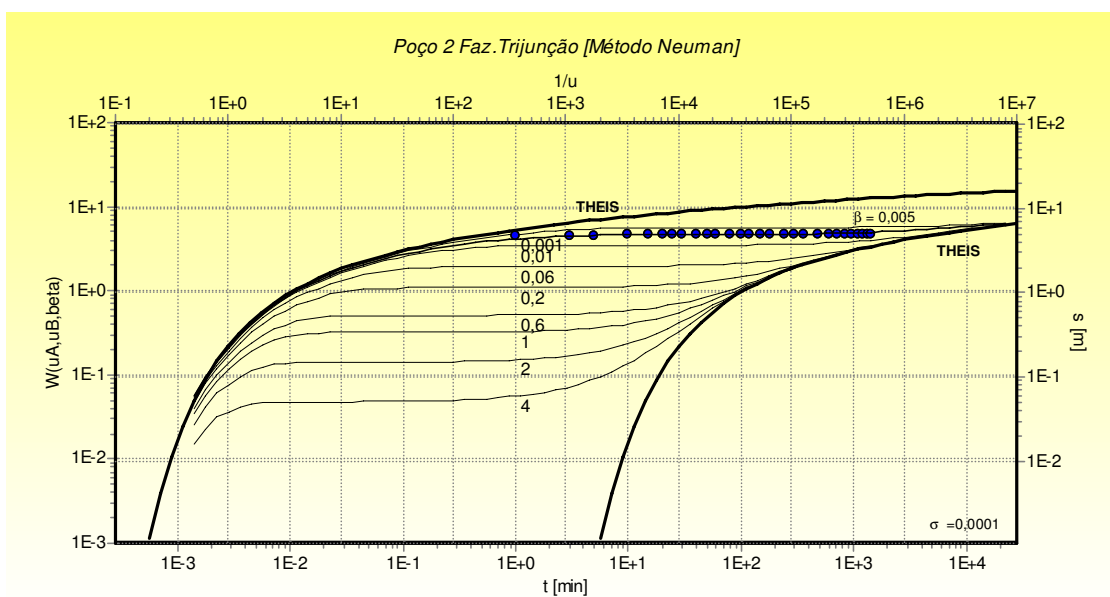


Figura 4.20 – Gráfico de interpretação do ensaio de bombeamento do poço 2 da Fazenda Trijunção, pelo método de Neuman (1975).

▪ *Aquífero livre profundo*

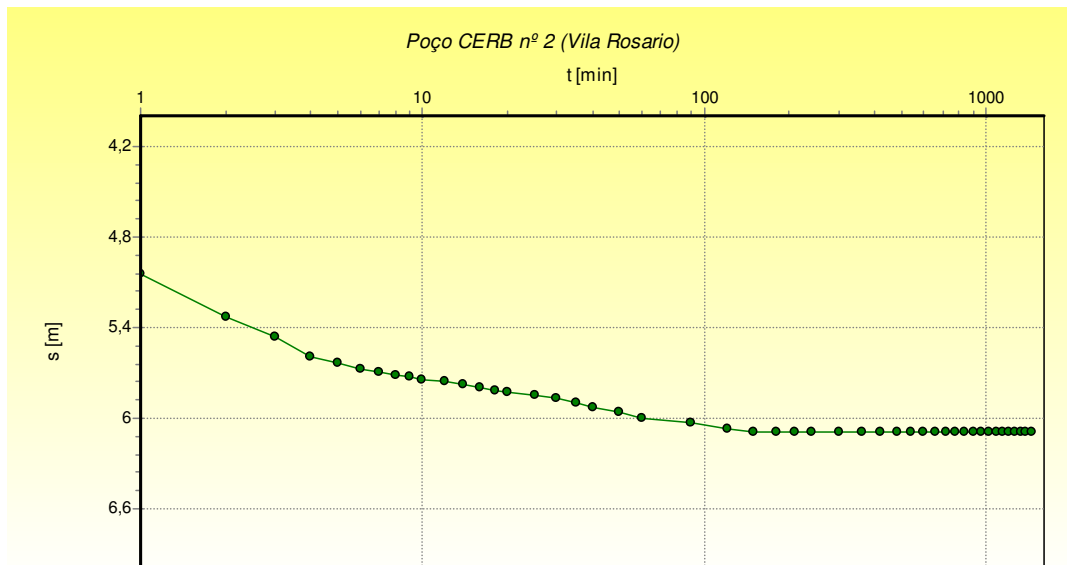
O subtipo aquífero livre profundo, situado à oeste do eixo divisor de fluxo subterrâneo, tem como exemplo de dimensionamento hidrodinâmico as informações do ensaio realizado no poço CERB №2, localizado na Vila Rosário, oeste do município de Correntina (BA). O poço com 242 metros de profundidade e nível estático de 132 metros atravessou quartzos arenitos médios, bem selecionados, com bimodalidade granulométrica e de coloração avermelhada.

O ensaio foi realizado pela equipe de profissionais da CERB e consistiu num bombeamento contínuo durante 24 horas a uma vazão constante média de 80 m<sup>3</sup>/h, e recuperação do rebaixamento de 6,09 metros em apenas um minuto. Os dados foram interpretados pelo método de Neuman (1975) e os parâmetros obtidos estão listados na tabela 4.3.

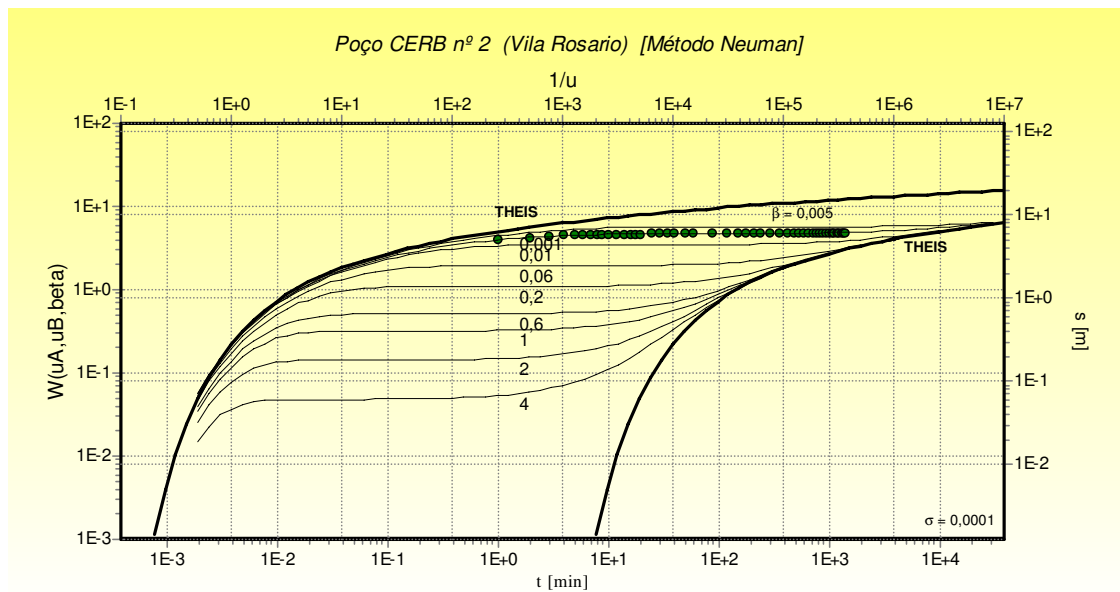
**Tabela 4.3** – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos no poço CERB № 2 (Vila Rosário, Correntina-BA).

Poço	Prof. (m)	NE (m)	K (m/s)	T (m <sup>2</sup> /s)
CERB № 2	242	132	$3,92 \cdot 10^{-6}$	$1,44 \cdot 10^{-3}$

O gráfico da figura 4.21 apresenta a curva s x t do ensaio, o qual exibe estabilização do nível dinâmico em 150 minutos após o início do bombeamento. A figura 4.22, por sua vez, apresenta a curva s x t interpretada pelo método de Neuman (1975). Pela observação do comportamento da curva pode-se notar a predominância de um segmento achatado, representativo, segundo Neuman (1972), da drenagem gravitacional da água nos poros. Apenas os dois primeiros pontos alinham-se no segmento levemente inclinado no começo da curva.



**Figura 4.21** - Gráfico de rebaixamento versus tempo do ensaio de bombeamento do poço CERB № 2 da Vila Rosário, Correntina (BA).



**Figura 4.22** - Gráfico de interpretação de ensaio de bombeamento no poço CERB Nº 2 na Vila Rosário, Correntina (BA), pelo método Neuman (1975).

▪ **Aquífero confinado ou semiconfinado**

Esse subtipo de aquífero tem muitos poços produtores instalados no seu domínio, os quais são utilizados em projetos de irrigação. Utilizou-se, entretanto, neste trabalho apenas dois poços para apresentação dos gráficos obtidos na interpretação das informações dos ensaios de bombeamento, e somados outros dois para apresentação de valores médios obtidos dos parâmetros hidrodinâmicos.

A tabela 4.4 apresenta alguns parâmetros hidrodinâmicos obtidos da interpretação de ensaios de bombeamento com o método de Theis (1935). Os valores apresentaram certa uniformidade nos resultados, com valores da ordem de  $10^{-6}$  m/s para K, e  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s para T. Os valores de S obtidos ( $10^{-4}$ ) nesta pesquisa mostraram coerência com àqueles considerados típicos para aquíferos confinados por diversos autores (Freeze & Cherry 1979, Fetter 1994, Driscoll 1986).

**Tabela 4.4** – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos em poços do aquífero confinado ou semiconfinado, obtidos com o método de Theis (1935).

Poço Nº/Localização	K (m/s)	T (m <sup>2</sup> /s)	S
Poço Nº 1/Faz. Marechal Rondon	$8,08 \cdot 10^{-6}$	$3,23 \cdot 10^{-3}$	$1,48 \cdot 10^{-4}$
Poço Nº 2/Faz. Espírito Santo	$7,49 \cdot 10^{-6}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$1,17 \cdot 10^{-4}$
Poço Nº 1/Fazenda Hirata	$7,39 \cdot 10^{-6}$	$2,59 \cdot 10^{-3}$	$1,01 \cdot 10^{-4}$
Poço Sede Nº 2/LEM	$9,38 \cdot 10^{-6}$	$4,69 \cdot 10^{-3}$	$1,87 \cdot 10^{-4}$

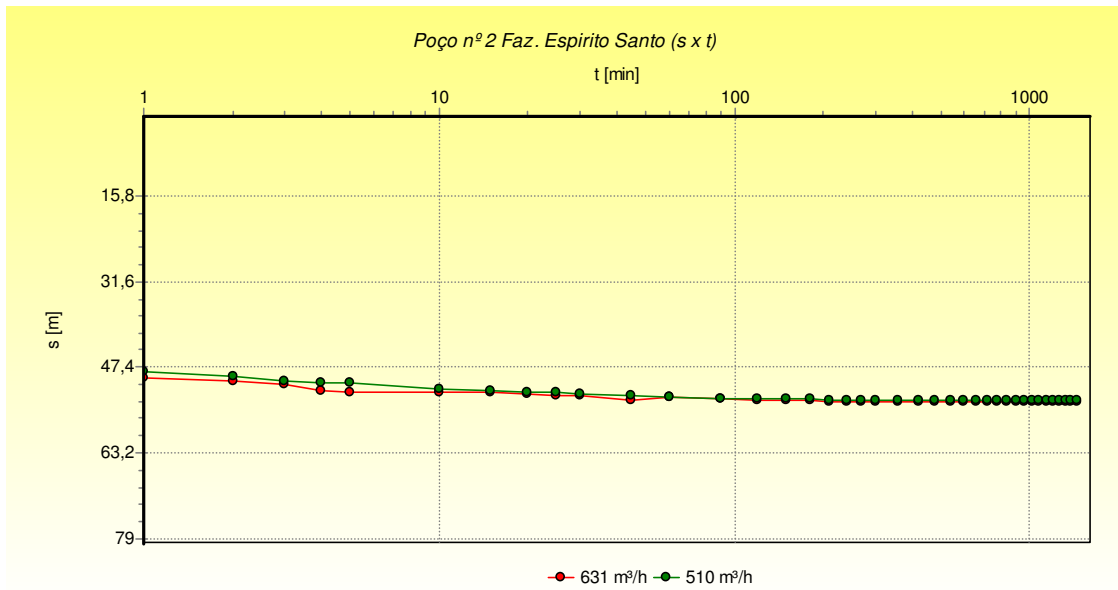
Os mesmos dados foram também interpretados com o método de Cooper & Jacob (1946), o qual considera grandes valores de tempo e distâncias pequenas do poço bombeado, ou seja, valores muito pequenos de  $u$  ( $u < 0,01$ ), pela simplificação da solução de Theis (1935). Os parâmetros obtidos com a utilização desse método estão apresentados na tabela 4.5.

**Tabela 4.5** – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos em poços do aquífero confinado ou semiconfinado, obtidos com o método de Cooper & Jacob (1946).

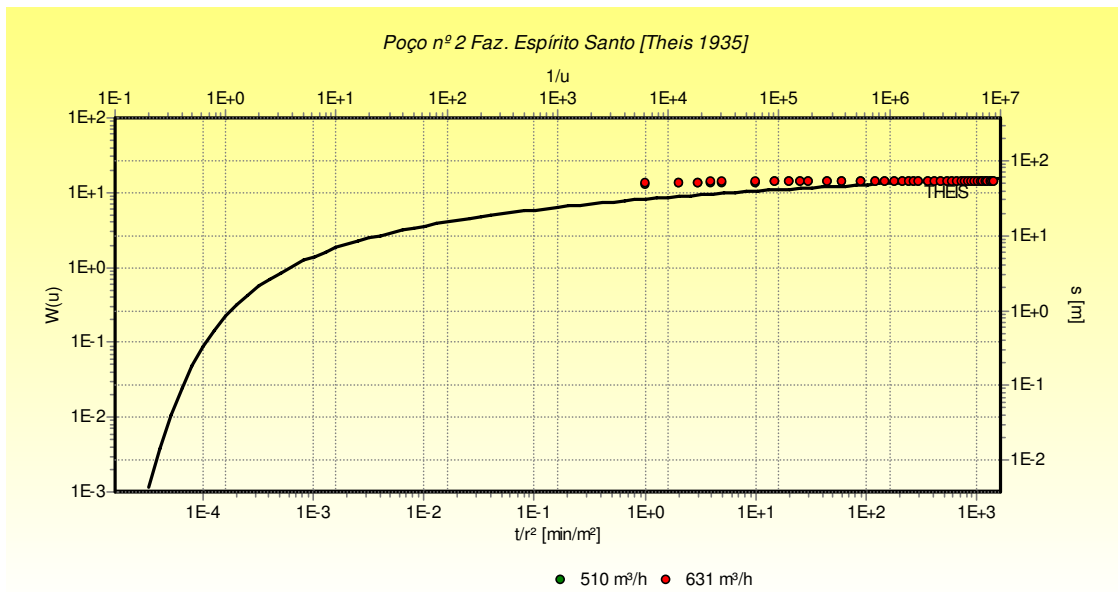
Poço Nº/Localização	$K$ (m/s)	$T$ (m <sup>2</sup> /s)
Poço Nº 1/Faz. Marechal Rondon	$6,46 \cdot 10^{-5}$	$2,59 \cdot 10^{-2}$
Poço Nº 2/Faz. Espírito Santo	$6,49 \cdot 10^{-5}$	$2,59 \cdot 10^{-2}$
Poço Nº 1/Fazenda Hirata	$2,55 \cdot 10^{-5}$	$8,91 \cdot 10^{-3}$
Poço Sede Nº 2/LEM	$3,89 \cdot 10^{-5}$	$1,95 \cdot 10^{-2}$

Os valores de  $K$  e  $T$  obtidos pela interpretação dos métodos de Theis (1935) e Cooper & Jacob (1946) apresentaram valores diferentes. Aqueles obtidos com o método Cooper & Jacob (1946) apresentaram os valores mais altos, e ajustam-se melhor àqueles obtidos por outros autores, como Schuster *et al.* (2002), Schuster (2003), Nascimento (2003), em avaliações de poços localizados nesse subtipo de aquífero na bacia do rio Grande, que também utilizaram o método de Cooper & Jacob (1946) para avaliação.

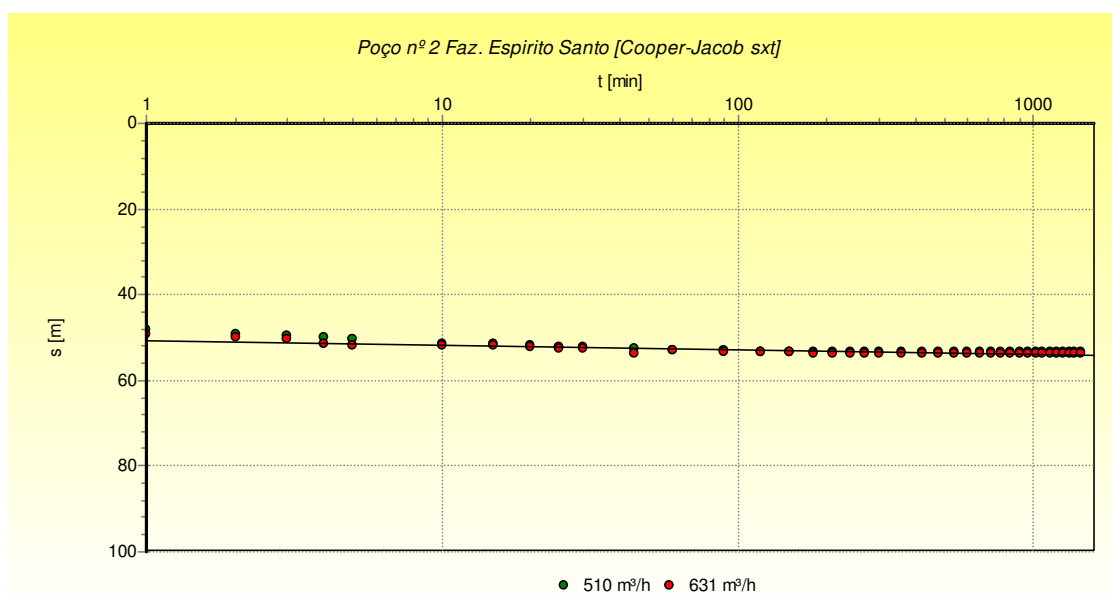
A figura 4.23 mostra o gráfico  $s$  x  $t$  de dois ensaios de 24 horas cada, realizados no poço nº 2 da Fazenda Espírito Santo, localizado na bacia do rio de Janeiro, com vazões de teste de 510 e 631 m<sup>3</sup>/h. Os gráficos das figuras 4.24 e 4.25, por sua vez, apresentam as interpretações dos dados desses ensaios com utilização dos métodos de Theis (1935) e Cooper & Jacob (1946), respectivamente. Adiante, as figuras 4.26, 4.27 e 4.28 apresentam os mesmos gráficos para dois ensaios realizados no poço nº 1 da Fazenda Hirata, localizada na bacia do rio das Fêmeas, realizados com vazões de 350 e 460 m<sup>3</sup>/h.



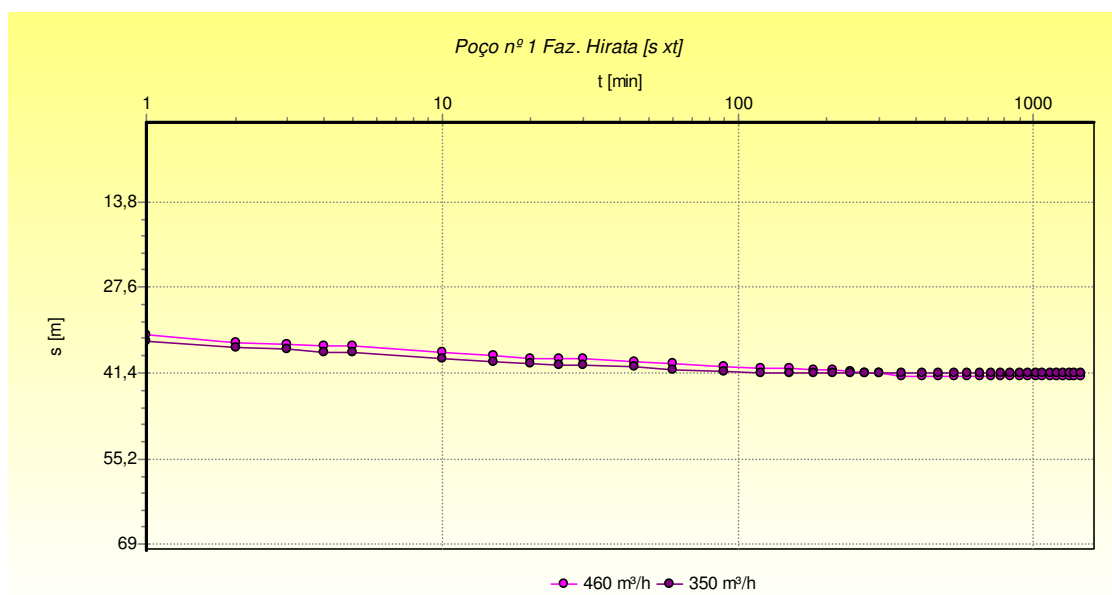
**Figura 4.23** – Gráfico do  $s \times t$  referente aos ensaios com vazões de 510 e 631  $m^3/h$  no poço nº 2 da Fazenda Espírito Santo, na bacia do rio de Janeiro.



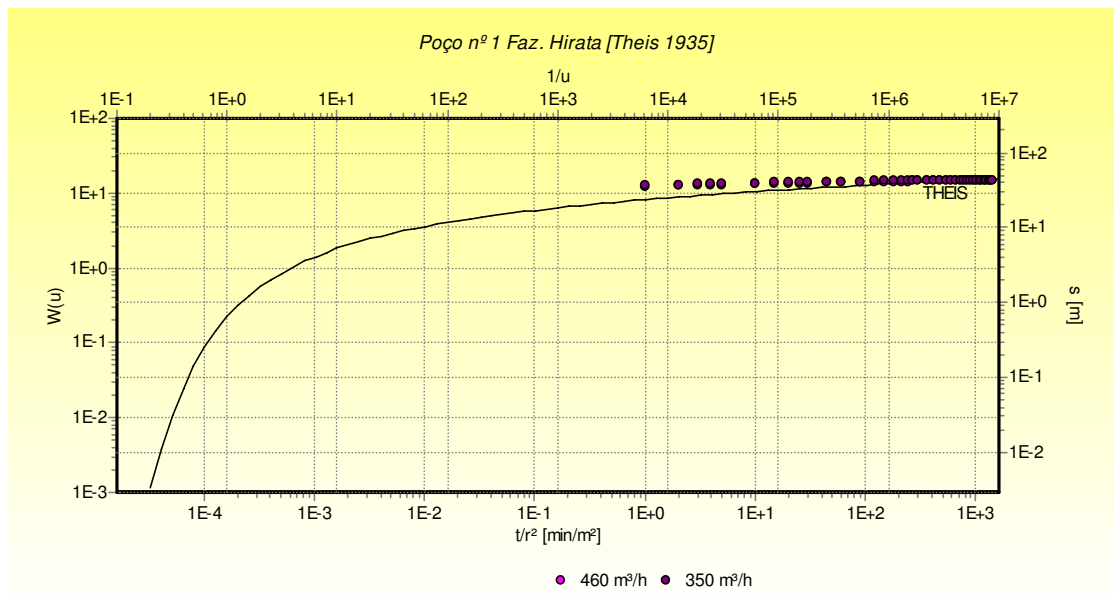
**Figura 4.24** - Gráfico de interpretação de ensaio de bombeamento no poço nº 2 da Fazenda Espírito Santo, na bacia do rio de Janeiro, pelo método Theis (1935).



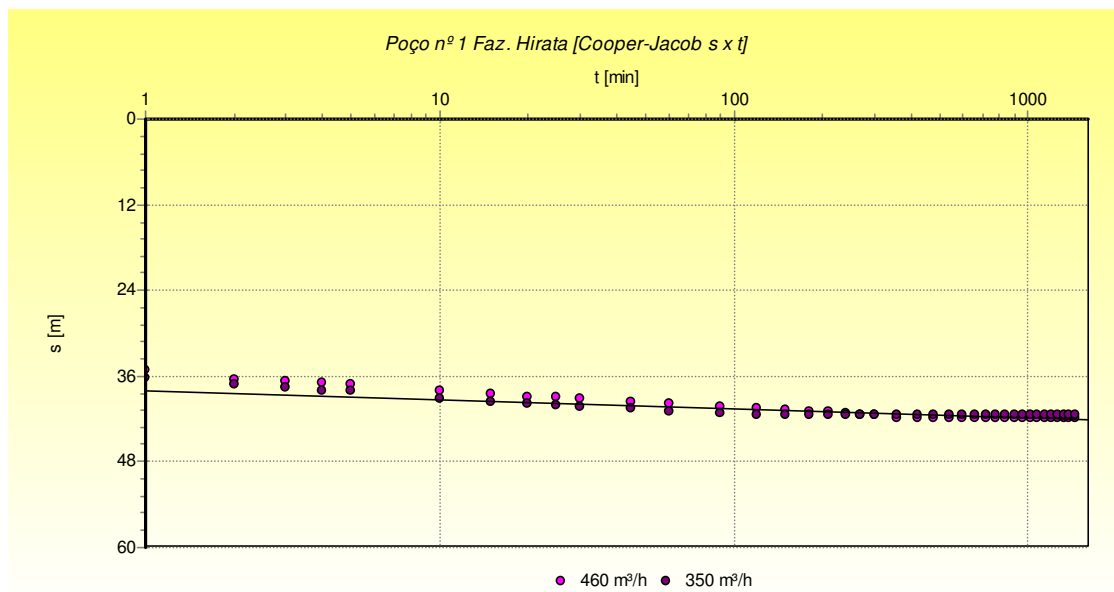
**Figura 4.25** - Gráfico de interpretação de ensaio de bombeamento no poço nº 2 da Fazenda Espírito Santo, na bacia do rio de Janeiro, pelo método Cooper & Jacob (1946).



**Figura 4.26** – Gráfico do  $s \times t$  referente aos ensaios com vazões de 350 e 460 m³/h no poço nº 1 da Fazenda Hirata, na bacia do rio das Fêmeas.



**Figura 4.27** - Gráfico de interpretação de ensaio de bombeamento no poço nº 1 da Fazenda Hirata, na bacia do rio das Fêmeas, pelo método Theis (1935).



**Figura 4.28** - Gráfico de interpretação de ensaio de bombeamento no poço nº 2 da Fazenda Hirata, na bacia do rio das Fêmeas, pelo método Cooper & Jacob (1946).

#### 4.5.1 Produtividade dos poços

Do universo de poços incluídos no cadastro desta pesquisa obteve-se dois perfis de poços produtivos para a região do oeste baiano. Os poços utilizados para abastecer pivôs centrais que são aqueles nos quais a água extraída é utilizada em projetos de irrigação e os poços de uso doméstico aqueles onde a água é essencialmente utilizada para o abastecimento doméstico das sedes das fazendas e eventualmente na pulverização de agrotóxicos nas lavouras.

Os poços de pivôs estão normalmente localizados no contexto do aquífero confinado ou semiconfinado dentro do SAU, possuem profundidade média de 300 metros, com diâmetro de perfuração de 26' e 20', e revestimento médio de 14' e 10'. Operam normalmente com vazões superiores a 300 m<sup>3</sup>/h, para suprir a demanda de água para projetos de irrigação em lavouras de café, frutas, entre outras culturas (figura 4.29).

A transmissividade do aquífero obtida por meio da interpretação de alguns ensaios disponíveis nesses poços está entre 10<sup>-2</sup> e 10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/s. Segundo Driscoll (1986), quando os valores de transmissividades são da ordem de 10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/s ou maiores o rendimento dos poços podem ser adequados para uso industrial, municipal ou com propósitos de irrigação.

As vazões ou capacidades específicas obtidas em alguns ensaios dos poços de pivôs são, em regra, altas, com valor médio de 12 m<sup>3</sup>/h/m (tabela 4.6).

**Tabela 4.6** – Valores de vazão específica obtidos de ensaios realizados em poços de pivôs.

Poço Nº/Localização	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q/s (m <sup>3</sup> /h/m)
Poço Nº 1/Faz. Marechal Rondon	126	10,68
	185	13,06
	410	17,20
Poço Nº 2/Faz. Espírito Santo	510	9,54
	631	11,76
Poço Nº 1/Fazenda Hirata	460	10,97
	350	8,45
Poço Sede Nº 2/LEM	175	15,12
Poço Nº 2/ Fazenda Poletto	152	14,29
	280	12,37
	450	16,15

Os poços de uso doméstico são menores, com profundidade variada, de até cerca de 200 metros; normalmente revestidos em 4'ou 6'. Operam com vazões médias de 10 m<sup>3</sup>/h, acoplados a pequenos reservatórios (figura 4.30). A vazão específica obtida em ensaios nesses tipos de poços foi muito variada, com variação da ordem de 1 a 13 m<sup>3</sup>/h/m.





**Figura 4.29** – Exemplos de poços de pivôs da Fazenda Hirata (a e b), São Desidério e da Fazenda Espírito Santo (c), Luís Eduardo Magalhães. Fotografias cedidas por: Mauerberg Poços Artesianos Ltda.



**Figura 4.30** – Exemplos de poços de uso doméstico, comuns nas sedes das fazendas.