



AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS



GEF
Fundo para o
Meio Ambiente Mundial



PNUMA
Programa das Nações Unidas
para o Meio Ambiente



OEA
Organização dos
Estados Americanos

PROJETO DE GERENCIAMENTO INTEGRADO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS EM TERRA NA BACIA DO SÃO FRANCISCO ANA/GEF/PNUMA/OEA

Subprojeto 3.2 - Uso Conjunto das Águas Superficiais e Subterrâneas da Sub-bacia do Rio das Fêmeas - BA



(Imagem de satélite - 2001 - Área da sub-bacia do rio das Fêmeas)

Resumo Executivo do Relatório Final

USO CONJUNTO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS DA SUB-BACIA DO RIO DAS FÊMEAS - BA



SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Salvador/Bahia

**PROJETO DE GERENCIAMENTO INTEGRADO DAS
ATIVIDADES DESENVOLVIDAS EM TERRA NA
BACIA DO SÃO FRANCISCO
ANA/GEF/PNUMA/OEA**

**Subprojeto 3.2 - Uso Conjunto das Águas Superficiais e Subterrâneas da
Sub-bacia do Rio das Fêmeas - BA**

Resumo Executivo do Relatório Final

**USO CONJUNTO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS
E SUBTERRÂNEAS DA SUB-BACIA
DO RIO DAS FÊMEAS - BA**

Coordenação do Subprojeto

Kátia Rejane Freitas do Nascimento
Superintendência de Recursos Hídricos - Bahia

Participantes

Antonio Olivar Lima de Lima
Claudia Margaret Batista Vieira
Emanuel Ubiratan Barros
Ferdinando Yoshio Agapito Urasaki
Hans Dieter Max Schuster
Heráclio Alves de Araújo
Fernando Genz
José Pompeu dos Santos
Jairo Everton Moreira
João Ilton Ribeiro de Oliveira
Lúcia Maria Tenório de Carvalho
Paulo Henrique Prates Maia
Rosane Ferreira de Aquino
Zoltan Romero Cavalcante Rodrigues

Janeiro de 2003

USO CONJUNTO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS DA SUB-BACIA DO RIO DAS FÊMEAS - BA

RESUMO EXECUTIVO

INTRODUÇÃO

A partir de 1988, iniciaram-se os processos de outorga de uso da água na sub-bacia do rio das Fêmeas, na região Oeste do Estado da Bahia. Atualmente, alguns mananciais da região já atingiram o limite legal máximo outorgável, não havendo mais disponibilidade para liberação de uso pela SRH. A partir deste quadro, alguns produtores rurais vêm utilizando o manancial de águas subterrâneas por meio da perfuração de poços profundos com grandes vazões (da ordem de 500 m³/h), para irrigação por pivô-central.

Entretanto, não existiam estudos que definissem os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero, sua real capacidade de exploração, bem como as áreas de recarga, o volume de descarga e a relação entre as águas subterrâneas e as águas superficiais.

Nesse contexto, a sub-bacia do rio das Fêmeas foi selecionada como área piloto do Subprojeto 3.2, parte integrante do Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do Rio São Francisco (ANA/GEF/PNUMA/OEA), que tem como objetivo geral estabelecer diretrizes para o gerenciamento integrado dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, na área estudada, e para as ações desenvolvidas efetivamente no período de março de 2001 a outubro de 2002, subdividido nos seguintes objetivos específicos:

- identificar as características hidrogeológicas dos aquíferos da sub-bacia;
- identificar as características hidrológicas dos principais corpos d'água;
- determinar os parâmetros hidrodinâmicos para a utilização de modelos de simulação;
- estudar a relação existente entre as águas superficiais e as águas subterrâneas;
- definir critérios para outorga e gerenciamento das águas subterrâneas.

Foi adotada para o planejamento dos trabalhos dos consultores e técnicos da SRH base cartográfica, na escala 1:100.000, onde foram definidos os locais para perfuração dos poços, testes de bombeamento e medição dos níveis de água, que forneceram dados importantes para a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos e identificação das características hidrogeológicas do aquífero.

O planejamento e a implantação da rede hidrométrica, realizados com base nos estudos de disponibilidade hídrica, permitem o monitoramento dos recursos hídricos superficiais na sub-bacia, fornecendo dados de precipitação, níveis e vazões dos rios; foi utilizado o período de agosto 2001 a agosto de 2002 para constituir um ano hidrológico.

A integração dos estudos hidrológicos e hidrogeológicos mostra as relações existentes entre as águas superficiais e as subterrâneas. Nesta etapa, foram aplicados modelos hidrodinâmicos no aquífero estudado. A partir do entendimento dos fatores que controlam a hidrologia superficial e subterrânea na sub-bacia é que indicaram os critérios de outorga para a água subterrânea.

1. CARACTERIZAÇÃO FÍSIOGRÁFICA

A sub-bacia do rio das Fêmeas está inserida na bacia do rio Grande, situada na região Oeste do Estado, que por sua vez é afluente da margem esquerda do Médio São Francisco. Ela está



Foto 2. Morfologia de Torres, típica do topo da Serra Geral de Goiás.

As condições meteorológicas da região determinam os seguintes tipos de clima: Úmido (B1wA'), estação seca bem definida de inverno, com chuvas de primavera/verão; e Úmido a Subúmido (C2wA'), de moderado excedente hídrico no inverno, megatérmico ($EP > 1140\text{mm}$), estação seca bem definida no inverno, com chuvas de primavera/verão.

O regime de precipitação compreende a faixa das isoietas entre 900 e 1.200 mm e a temperatura média anual é de 23,2 °C. A umidade relativa do ar apresenta média mensal variando de 45% a 79%. A taxa anual de

evaporação é de aproximadamente 1.580 mm. O período chuvoso ocorre de outubro a abril, sendo os demais meses bastante secos. Nos meses úmidos precipita, em média, quase a totalidade anual (94%), sendo que o rio se mantém perene na estação seca, devido apenas à exudação do aquífero da Formação Urucuia.

A área em estudo caracteriza-se por relevos planos suavemente inclinados para leste, modelados sobre os arenitos da Formação Urucuia. Esses relevos posicionam-se em níveis altimétricos entre 500 e 900 m, com os setores mais elevados na borda ocidental, que forma o divisor das bacias hidrográficas dos rios São Francisco e Tocantins. A vegetação dominante é o cerrado e os solos predominantemente, são os Latossolos.

2. PROCESSAMENTO DO MATERIAL CARTOGRÁFICO E IMAGENS DE SATÉLITE

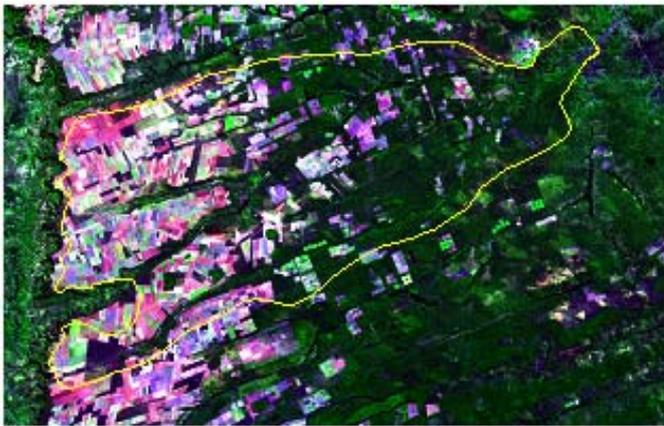


Figura 2. Imagem de satélite correspondente a área da Sub-Bacia do Rio das Fêmeas.

Para elaboração da Base Cartográfica, utilizaram-se os fotolitos das folhas do Levantamento Sistemático ao milionésimo, na escala 1:100.000, nos quais, após “rasterização” em “scanner A0”, procedeu-se a vetorização semi-automática.

Utilizou-se a cena ponto-órbita 220/69 do satélite Landsat, na qual foi possível inserir limites, plotar poços tubulares, postos pluviométricos e fluviométricos, assim como outros dados de interesse deste Subprojeto (Figura 2).

3. CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA

3.1. Monitoramento dos Recursos Hídricos

O monitoramento dos recursos hídricos constitui um instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997). Com objetivo de caracterizar o comportamento hidrológico e subsidiar a definição de critérios para a gestão dos recursos hídricos, foi instalada uma rede de monitoramento na sub-bacia do rio das Fêmeas, complementando a rede existente na área subjacente operada pela ANA.

3.2. Rede de Monitoramento

A rede de monitoramento da sub-bacia do rio das Fêmeas para fins dos estudos hidrológicos analisa os dados de postos pluviométricos, fluviométricos e evaporimétrico, envolvendo postos existentes e novos postos instalados pelo Subprojeto. Os postos instalados pelo Subprojeto compreendem seis postos fluviométricos (Quadro 1), três postos pluviométricos e um posto evaporimétrico (Quadro 2), ilustrados na Foto 3.



Foto 3. Equipamentos da rede hidrométrica.

Quadro 1. Postos fluviométricos instalados na sub-bacia do rio das Fêmeas.

N.	Posto	Rio	Coordenadas [UTM]		Área [km ²]*	Tipo
			Leste	Norte		
F1	BR-020	Rio Mosquito	399185	8597072	376	FD
F2	Mosquito	Rio Mosquito	407620	8597020	415	FRD
F3	Estivas	Rio Estivas	478252	8619244	2.204	FRD
F4	Fazenda São João	Rio das Fêmeas	403514	8619360	281	FRD
F5	Fazenda Soya	Rio Pratinha	433107	8594252	103	FRD
F6	Fêmeas Grande	Rio das Fêmeas	472657	8621176	4.078	FRD

Legenda: FRD – Estação fluviográfica com medição de descarga; FD – Estação fluviométrica com medição de descarga; * área delimitada em mapa com escala 1:100.000.

Quadro 2. Postos pluviométricos e evaporimétrico instalados na sub-bacia do rio das Fêmeas.

N.	Estação	Coordenadas [UTM]		Tipo
		Leste	Norte	
P1	Fazenda Rio Brillhante	420942	8584738	PR
P2	Fazenda Buritis	450971	8602356	PR
P3	Fazenda Palotina	371369	8601906	PR
P4	Roda Velha de Cima	397688	8588880	ER

Legenda: PR- Estação pluviográfica; ER - Estação evaporimétrica.

Os Quadros 3 e 4 apresentam os dados dos postos fluviométricos e pluviométricos operado pela ANA, na sub-bacia hidrográfica do rio das Fêmeas e seu entorno.

Quadro 3. Postos fluviométricos em operação – ANA.

N.	Estação	Código	Rio	Coordenadas [UTM]		Área [km ²]	Início	Tipo
				Leste	Norte			
FA1	Roda Velha de Baixo	46420000	Roda Velha	408822	8595864	895	12/2001	FD
FA2	Derocal	46455000	Das Fêmeas	486714	8628028	6.300	01/1977	FRD

Legenda: FRD – Estação fluviográfica com medição de descarga; FD – Estação fluviométrica com medição de descarga.

Quadro 4. Postos pluviométricos em operação – ANA.

N.	Estação	Código	Município	Coordenadas [UTM]		Altitude [m]	Início	Tipo
				Leste	Norte			
PA1	Derocal	01245005	São Desidério	487047	8627905	502	06/1972	P
PA2	Faz. Joha	01245014	Barreiras	411465	8659415	725	07/1984	P
PA3	Roda Velha	01245015	São Desidério	397086	8588770	761	07/1984	P
PA4	Aurora do Norte	01246001	Aurora do Tocantins	347055	8594012	700	10/1973	P
PA5	Faz. Prainha	01346007	Correntina	384954	8526076	824	06/1981	P

Legenda: P - Estação pluviométrica.

3.3. Comportamento Hidrológico

3.3.1. Hidrologia Geral na Sub-bacia do Rio das Fêmeas

Os dados pluviométricos e fluviométricos foram analisados, considerando o ano hidrológico, que tem seu início em setembro de um determinado ano até agosto do ano seguinte.

3.3.2. Caracterização Pluviométrica

Em termos de precipitação média anual, verifica-se o gradiente da precipitação aumentando da foz em direção às nascentes da sub-bacia hidrográfica do rio das Fêmeas.

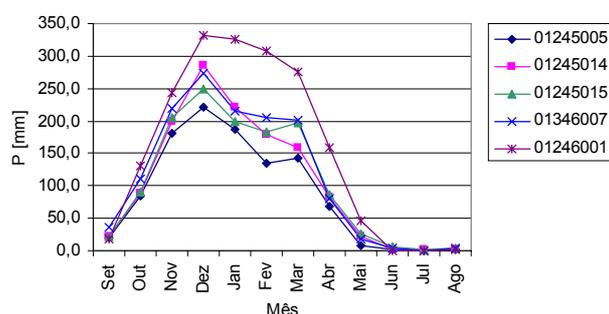


Figura 3. Distribuição da precipitação média mensal ao longo do ano.

acontecer chuvas significativas em fevereiro e março.

A distribuição da precipitação mensal ao longo do ano é praticamente igual para todos os postos, considerando os valores médios para o período. A época de chuva é bem marcada, estendendo-se de outubro a abril. Em junho, julho e agosto a precipitação é quase nula (Figura 3). O mês de maior precipitação é dezembro, seguido por janeiro e novembro, com exceção do posto Aurora do Norte 01246001, onde o pico ocorre em janeiro, seguido de dezembro e fevereiro. Na parte média da sub-bacia podem

3.3.3. Caracterização Fluviométrica

O posto Derocal-46455000 está localizado praticamente na foz do rio das Fêmeas, antes da confluência com o rio Grande, possibilitando uma visão geral da fluvimetria na sub-bacia, permitindo analisar o comportamento hidrológico dos últimos 22 anos.

A vazão média anual para o rio das Fêmeas é de 52,17 m³/s e as vazões diárias máximas e mínimas registradas foram 214 m³/s e 29,9 m³/s, respectivamente. Observa-se que as vazões mínimas anuais têm o mesmo comportamento das vazões médias e, devido aos valores significativos (>50% da média), representam a potencialidade da contribuição subterrânea.

3.3.4. Chuva e Vazão Mensal

Analisando as respostas da vazão em função da precipitação mensal, destaca-se, à primeira vista, certa falta de correspondência entre a vazão em resposta à precipitação, além da defasagem entre a ocorrência da máxima vazão em relação à máxima precipitação. No caso da Sub-bacia, algumas considerações adicionais devem ser feitas:

- A capacidade de armazenamento de água no solo e subsolo deve ser satisfeita pelas primeiras chuvas.
- Na análise dos dados diários foi verificada a existência de um tempo de retardo entre a chuva e a vazão, aumentando das nascentes (dois dias de defasagem) para a foz (dez dias).
- Os dados são totalizados segundo o calendário mensal e pode acontecer que um evento seja dividido em partes com características diferentes.
- O divisor das águas subterrâneas difere do topográfico na região da cabeceira.
- A distribuição espacial da precipitação média pode não ser bem representada pela ponderação do método de Thiessen.

Deve-se considerar que o sistema tem uma defasagem evidenciada nos dados diários, que também influencia a resposta do escoamento. A maior precipitação do ano hidrológico, na maioria das sub-bacias, foi em novembro, sem resultar no pico de vazão. É possível que a precipitação ainda estivesse satisfazendo a capacidade de armazenamento no solo e sub-solo.

Pelo estudo hidrogeológico, o mapa de nível potenciométrico define o divisor de águas a cerca de 30 km antes do limite topográfico, mais ou menos onde a rede de drenagem do rio se forma. Então, parte da precipitação e do escoamento subterrâneo da região da cabeceira deve seguir em direção ao estado de Tocantins e, assim, espera-se um divisor de águas variável em termos da elevação do nível do aquífero, alterando a superfície de contribuição ao escoamento dos rios da Sub-bacia.

3.3.5. Relação da Vazão com Fatores Físicos

Diante da análise anterior, outros fatores físicos foram escolhidos visando estabelecer a relação com a vazão, além da tradicional variação em virtude da área de drenagem. Na variação da vazão em função da área de drenagem, confirma-se o aumento da vazão média do período de monitoramento com o crescimento da área de drenagem na Sub-bacia. Por sua vez, a vazão específica mostrou duas tendências opostas.

Para análise do comprimento do rio, os valores foram extraídos da carta topográfica de 1:100.00. No caso do entalhamento do rio, considerado aqui como o grau de mergulho da calha do rio no aquífero, a altitude do posto fluviométrico foi estimada pela carta topográfica e o nível potenciométrico obtido no estudo hidrogeológico (Quadro 5).

Quadro 5. Área, comprimento do rio, altitude, nível potenciométrico e entalhamento.

Posto	Área (km ²)	Comprimento do Rio		Altitude Nível		Entalhamento (m)
		Principal (km)	Altitude (m)	Potenciométrico (m)		
São João	281	39	755+	756	1*	
BR-020	376	26	753	771	18	
Mosquito	415	36	735	764	29	
Soya	103	22	745+	746+	1*	
Estivas	2204	138	644	650	6	
F. Grande	4078	110	650	655+	5	
46420000	895	39	725	764	39	
46455000	6300	118	635	-	1*	

OBS: + valor estimado; * adotado como valor mínimo por falta de dados

Com relação ao grau de entalhamento da calha fluvial, os dados de nível potenciométrico foram obtidos em somente duas ocasiões, julho/2001 (maior parte das medidas) e junho/2002, praticamente com a mesma condição hidrológica. A vazão mínima do mês de junho/2002 foi utilizada para comparação com o entalhamento.

Observa-se que nas nascentes (altitude maior) a vazão cresce quase que proporcionalmente com o aumento do entalhamento, enquanto que na parte inferior da sub-bacia a vazão é inversamente proporcional à diminuição da altitude.

Os postos com maior entalhamento, que representam dados de maior confiabilidade, apontaram uma produção específica de vazão com uma taxa de aproximadamente 0,19 m³/s/m. Desta forma, induz-se que a contornaçãõ topográfica da sub-bacia ou da calha em relação ao aquífero influencia diretamente a geração de escoamento dos rios na sub-bacia.

3.3.6. Caracterização do Período Hídrico

A caracterização do período hídrico buscou identificar a época em que se enquadrava o ano de monitoramento do rio das Fêmeas, realizado pelo Subprojeto, se úmida, média ou seca, de forma que os resultados ficassem vinculados à condição hídrica do sistema, dentro de uma perspectiva temporal maior.

A precipitação mensal ocorrida no ano de 2002 sobre a Sub-bacia foi inferior à média histórica, com exceção dos meses de outubro e novembro de 2001. A distribuição da chuva ao longo do ano se manteve a mesma, porém houve a antecipação da máxima de dezembro para novembro.

A precipitação total no ano de monitoramento foi de 1.044,1 mm, ficando cerca de um desvio padrão abaixo do valor médio obtido a partir da série histórica. Como a precipitação mínima da série foi inferior à média em aproximadamente dois desvios-padrão, o ano de monitoramento do Subprojeto situou-se em um período intermediário entre seco e médio.

A Figura 4 mostra o gráfico com a chuva e a vazão anual, onde é possível notar que a reposta do sistema depende das precipitações ocorridas no(s) ano(s) anterior(es) e confirma-se também a tendência geral de decréscimo das vazões.

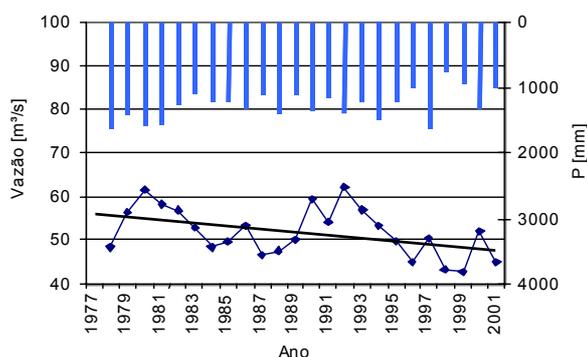


Figura 4. Chuva e vazão anual na sub-bacia do rio das Fêmeas - 1978 a 2001.

desenvolvimento de projetos de uso, monitoramento, preservação e recuperação dos recursos hídricos, e adequação de obras civis.

3.4.1. Vazão Média, Máxima e Mínima

As vazões de interesse devem expressar as características do sistema de pelo menos um ciclo hidrológico completo. As vazões características podem ser estabelecidas para intervalos de tempo mensal e anual.

Verifica-se que quase sempre a variação da vazão mínima mensal ocorre em correspondência com a vazão mensal (julho a setembro), dentro da normalidade, uma vez que a contribuição do aquífero é mais significativa para essas vazões. No caso das vazões máximas mensais (novembro a março), o comportamento é diferente, pois a influência da característica da chuva é mais importante para o escoamento superficial, destacando-se a intensidade.

Nas áreas de drenagem maiores, como há um retardo maior no escoamento e é menor a possibilidade de ocorrência de precipitação intensa no mesmo dia em áreas maiores, resulta no amortecimento e na defasagem da resposta hidrológica.

As vazões características anuais, que são a média anual, a máxima diária anual e a mínima diária anual, da sub-bacia do rio das Fêmeas, são apresentadas no Quadro 6.

Quadro 6. Vazões características anuais na sub-bacia do rio das Fêmeas.

	F4-Faz. São João	F1-BR-020	F2-Mosquito	F5-Faz. Soya	F3-Estivas	F6-Fêmeas Roda Velha Grande	Bacia Toda 46420000	46455000
Média	0,825	4,17	6,12	0,189	12,12	28,51	7,90	42,10
Máxima	1,144	6,15	10,97	0,225	19,15	50,25	12,35	65,36
Mínima	0,749	3,61	5,07	0,124	9,68	22,04	6,60	29,34
Med/min	1,10	1,15	1,21	1,52	1,25	1,29	1,20	1,43
Max/min	1,53	1,71	2,16	1,81	1,98	2,28	1,87	2,23

O Quadro 5 também apresenta os fatores de proporção entre a vazão média e a mínima e entre a vazão máxima e a mínima. O primeiro fator dá uma idéia da contribuição das vazões de base, e o segundo destaca a amplitude de variação das vazões. Como o clima, o relevo e tipo de solo são praticamente os mesmos para todas as áreas de drenagem, os valores dos fatores de proporção são da mesma magnitude. Ocorre maior diferenciação na relação entre vazão máxima e mínima, em consequência do comportamento fluviométrico.

Nos postos de maior sensibilidade o fator de proporção tem valor praticamente superior a 2. O Quadro 5 mostra que a vazão média é superior à mínima em percentuais que variaram de 10 a

Comparando-se os diferentes resultados quanto ao posicionamento da precipitação e da vazão de 2002 em relação aos dados históricos, verifica-se que a vazão foi mais afetada, o que pode ser consequência dos vários anos com chuva abaixo da média na última metade da década de 90 e também devido à captação de água para irrigação.

3.4. Vazões Características

As vazões máximas, médias e mínimas de um rio fornecem subsídios para o

43% (desconsiderando o valor de F5-Faz. Soya), indicando uma forte contribuição do escoamento subterrâneo.

Em relação à série completa do posto Bacía Toda-46455000, vale ressaltar que a vazão mínima em 2002 (29,34 m³/s) é inferior à menor registrada em todo o período (29,9 m³/s). Isto é resultado da ocorrência de um ano mais seco, embora não extremo (a vazão média não é a menor da história - ver item 3.3.6.), combinado com as captações de água para irrigação.

3.4.2. Curva de Permanência

A curva de permanência analisa a frequência de ocorrência das vazões de um determinado ponto do rio. Ela relaciona a vazão do rio e a permanência no tempo em que a vazão é maior ou igual ao valor especificado. Na Figura 5 os valores da curva de permanência de cada posto foram divididos pela vazão média anual, permitindo verificar melhor o comportamento das vazões em uma mesma escala. São as curvas de permanência adimensionais.

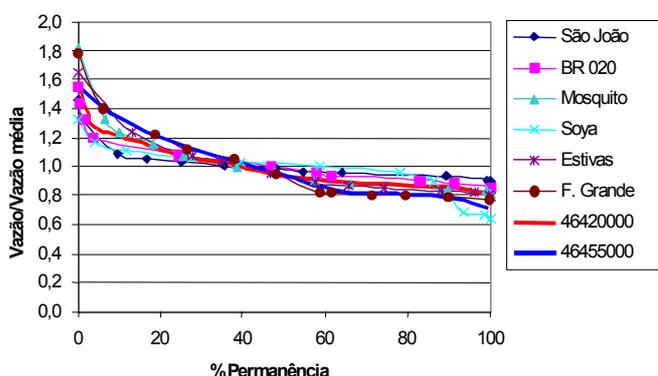


Figura 5. Curvas de permanência adimensionais na sub-bacia do rio das Fêmeas.

para os postos Mosquito, Estivas e Fêmeas Grande, que correspondem àqueles de comportamento fluviométrico mais sensível. Novamente, os postos F4-Faz. São João e F5-Faz. Soya ficaram fora da tendência.

Estabelecendo a permanência de 50% como divisor de análise, observa-se que na faixa de maior permanência das vazões as curvas dos postos praticamente se sobrepõem, com exceção dos postos F4-Faz. São João e F5-Faz. Soya, que tiveram problemas para definição da curva-chave e os dados ficaram como de baixa qualidade.

De outro lado, na faixa de baixa permanência, somente abaixo de 5% ocorrem divergências, com destaque

3.5. Balanço Hídrico

Na sub-bacia do rio das Fêmeas, o balanço hídrico (Quadro 7) foi realizado para o período de monitoramento de set/01 a ago/2002 considerando toda sua área de drenagem.

Quadro 7. Balanço hídrico simplificado na sub-bacia do rio das Fêmeas.

	Area (km ²)	P (mm)	Q (mm)	I + ET (mm)	I+ET (%)	C (%)	E Sub Min		E Sub Med	
							(mm)	(%)	(mm)	(%)
F4-Faz. São João	281	1231,1	92,6	1138,6	92,5	7,5	84,1	90,8	87,2	94
F1-BR-020	376	1235,5	344,9	890,6	72,1	27,9	302,7	87,8	330,3	96
F2-Mosquito	415	1236,7	458,9	777,8	62,9	37,1	377,1	82,2	412,3	90
F5-Faz. Soya	103	1018,0	57,1	960,9	94,4	5,6	38,0	66,6	55,6	97
F3-Estivas	2204	990,5	171,2	819,3	82,7	17,3	138,5	80,9	156,8	92
F6-Fêmeas Grande	4078	1080,6	217,8	862,8	79,8	20,2	170,4	78,3	200,8	92
Roda Velha-46420000	895	1246,7	274,8	971,9	78,0	22,0	232,6	84,6	253,4	92
Toda Bacía-46455000	6300	1044,1	207,7	836,4	80,1	19,9	135,4	65,2	200,8	97

Onde: P = Precipitação no período; Q = Vazão no rio; I = Infiltração; ET = Evapotranspiração; E Sub Min = Escoamento subterrâneo mínimo; E Sup = VE - E Sub Min; C = Coeficiente de escoamento = Q/P;

Considerando o balanço hídrico realizado para o ano de 2002 nas áreas de drenagem e o resultado de Pimentel et al. (2000), verifica-se que a contribuição das águas subterrâneas para o escoamento dos rios tem magnitude superior a 90%, caracterizando seu domínio sobre os processos de geração das vazões na sub-bacia do rio das Fêmeas.

4. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

4.1. Cadastramento de Poços Existentes

Na Figura 6 estão dispostos os 139 poços cadastrados. Após o levantamento constatou-se que existem apenas três poços outorgados e que todos os outros são apenas para o consumo doméstico, com vazões que independem da outorga, pela legislação atual.

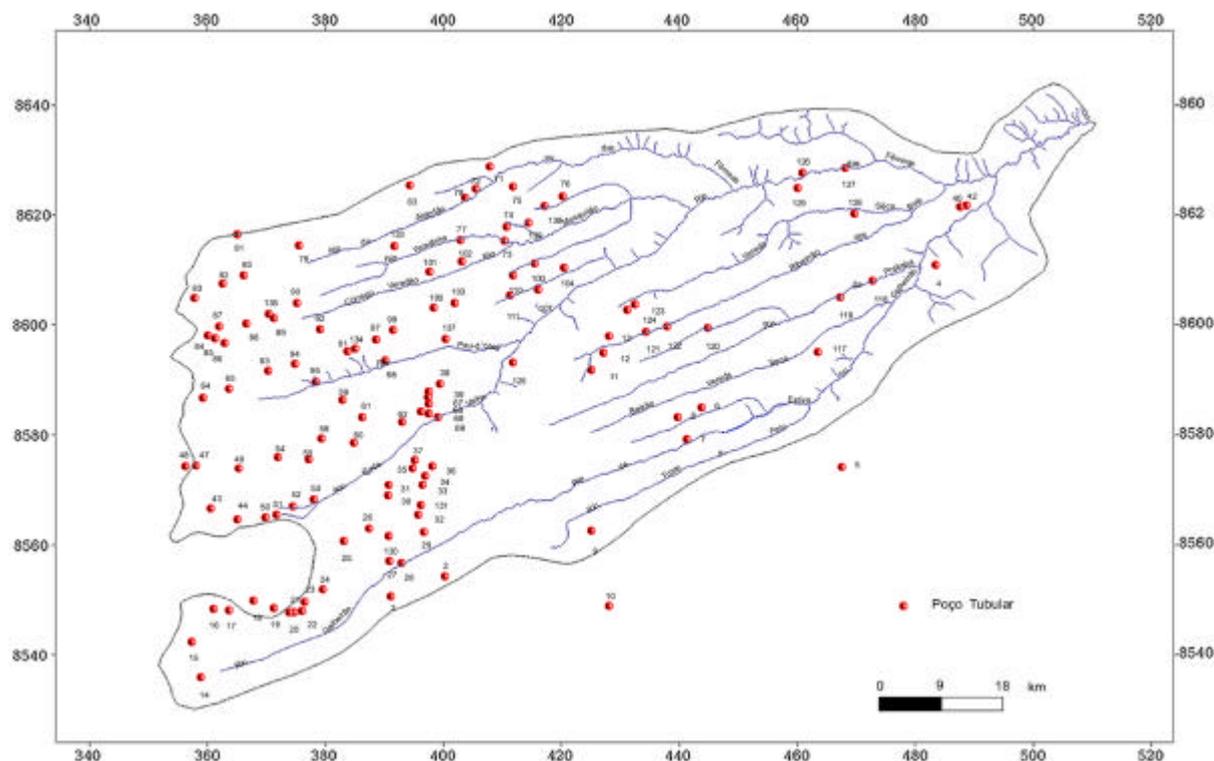


Figura 6. Localização dos poços tubulares perfurados na sub-bacia do rio das Fêmeas.

4.2. Reconhecimento Geológico

A área em estudo está situada no setor oeste do Cráton do São Francisco, na porção norte da bacia Sanfranciscana. A principal unidade geológica é o Grupo Urucuia, subdividido nas Formações Posse e Serra das Araras (Campos 1996). Secundariamente, afloram calcários do Grupo Bambuí e sedimentos aluvionares do Quaternário (Figuras 7 e 8).



Foto 4. Dobramento nos Calcários da Formação São Desidério.

Grupo Bambuí/Formação São Desidério

Esta Formação é constituída por calcários cinza escuros a negros. Na entrada da cidade de São Desidério estas litologias se apresentam dobradas, com vergência para NW (Foto 4).

- Grupo Urucuia

revelaram que a porção superior do Grupo Urucuia, cuja espessura varia de 80 a 150 metros, encontra-se silicificada, o que mascara parte dos atributos físicos originais do arenito.

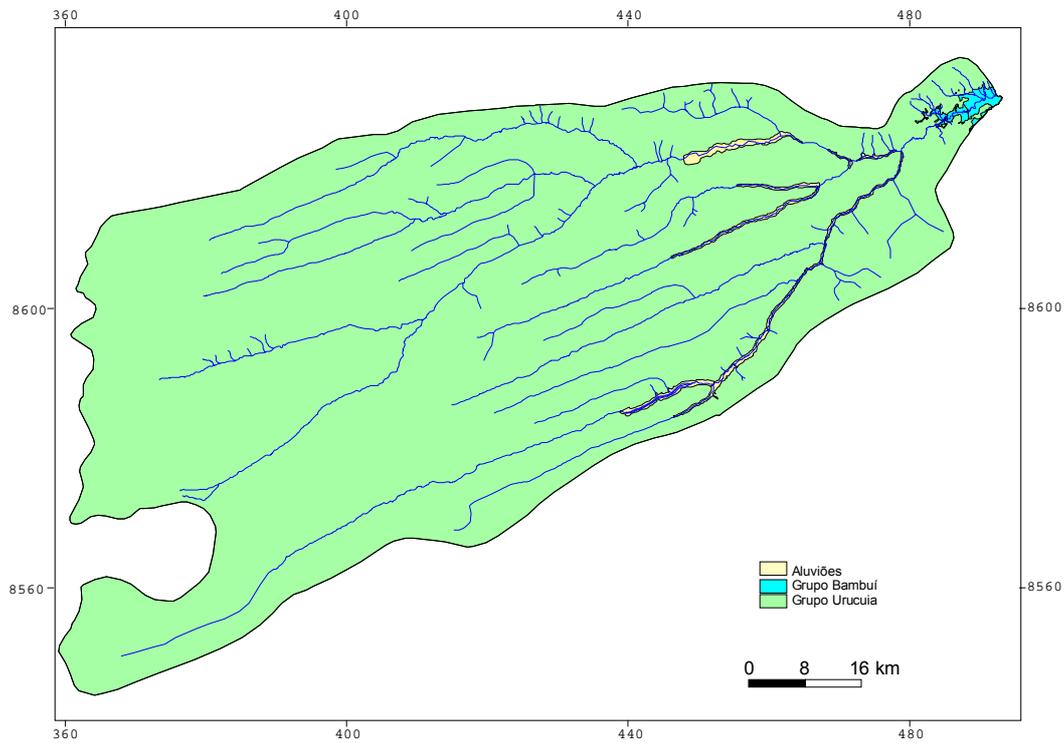


Figura 7. Mapa geológico da sub-bacia do rio das Fêmeas.

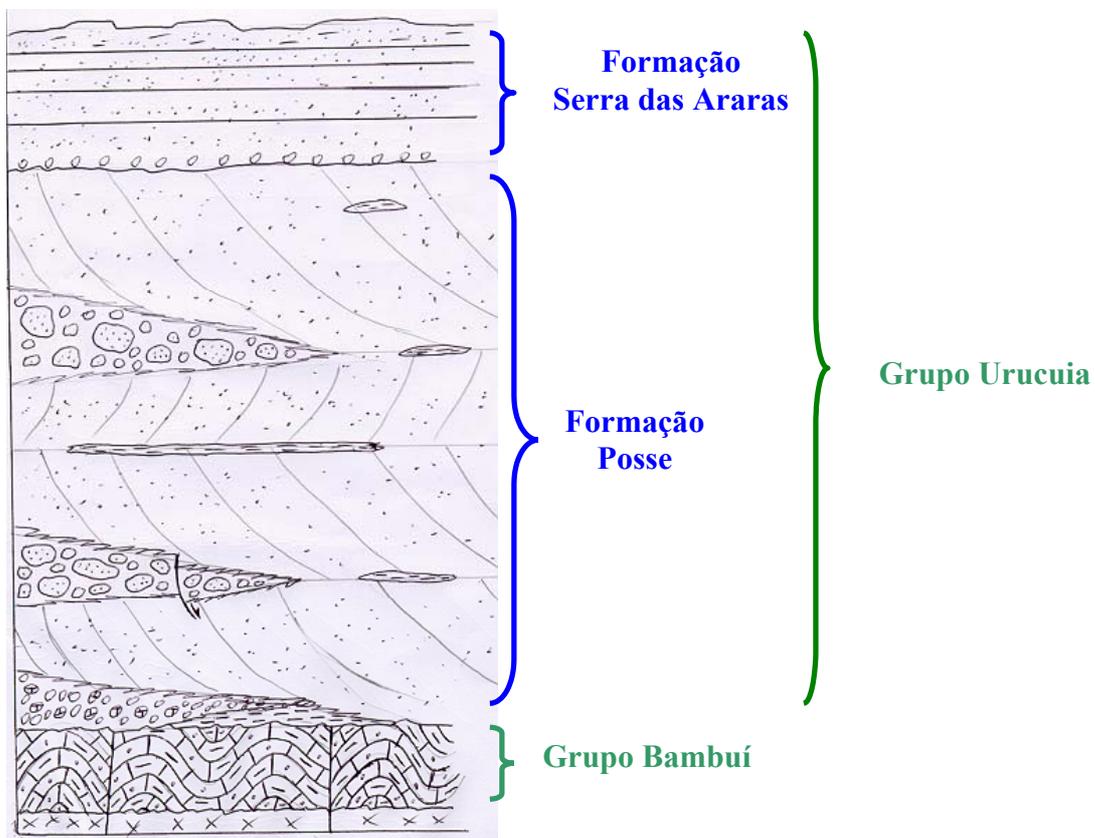


Figura 8. Perfil geológico da região.



Foto 5. Paleodunas do Grupo Urucuia na estrada para Taguatinga (TO).

A Formação Posse (Campos, 1996) é constituída por arenitos eólicos, finos a médios, com grãos de quartzo subarredondados a arredondados e estratificações cruzadas de grande porte, formando uma geometria clássica de migração de campo de dunas (Foto 5). Secundariamente, ocorrem lentes argilosas e leitos conglomeráticos constituídos por seixos e matacões de arenitos finos, imersos em matriz areno-argilosa.

A Formação Serra das Araras, sobreposta aos sedimentos da Formação Posse, evidencia uma mudança de ambiente desértico para um ambiente úmido, com predomínio de depósitos fluviais em áreas de planície. É caracterizada pela presença de arenitos brancos, amarelados e avermelhados, argilitos e conglomerados intercalados (Foto 6).



Foto 6. Conglomerado Fluvial da Formação Serra das Araras.

- **Coberturas Aluviais**

Os sedimentos aluvionares distribuem-se preenchendo as calhas das principais drenagens e estendendo-se pelas planícies de inundação. Constituem-se essencialmente de areias, cascalhos, silte e argila, de coloração cinza

escuro e cinza claro, resultantes do retrabalhamento fluvial recente de materiais detríticos diversos.

- **Tectônica do Terciário**

Corresponde à tectônica registrada por toda a sub-bacia, que definiu o padrão de drenagem retangular observado nos rios, com sistemas de falhas e fraturas associados, de direção predominantemente N50-70E (Figura 9), bem representado no Grupo Bambuí, decorrente de uma provável reativação de falhas deste Grupo no Terciário.

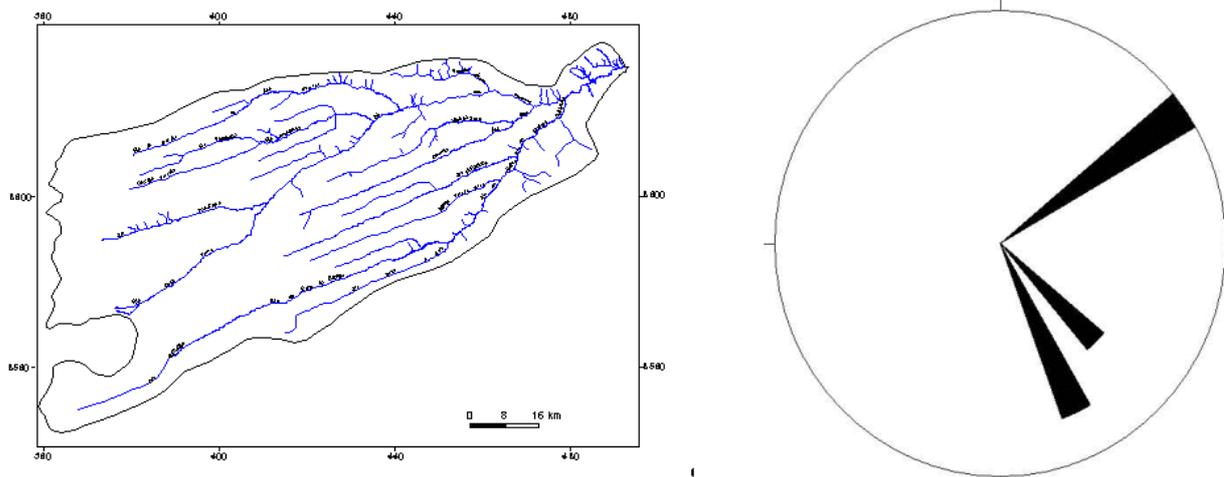


Figura 9. Rede de drenagem da sub-bacia do rio das Fêmeas e diagrama em roseta das falhas e fraturas do Grupo Bambuí.

4.3. Sondagens Geofísicas

Entre as técnicas de exploração geofísica, os métodos elétricos são muito utilizados devido à possibilidade de aplicação em várias áreas, tais como: hidrologia, mineração, geologia, geotecnia e meio ambiente. A aplicação destes métodos possibilita a investigação de parâmetros importantes para o estudo integrado de águas superficiais e subterrâneas, como a distribuição da litologia na subsuperfície, os níveis saturados, a salinidade da água, a profundidade da base do aquífero.



Foto 7. Trabalho de aquisição das sondagens geofísicas.

A aquisição dos dados geofísicos elétricos na sub-bacia do rio das Fêmeas ocorreu em duas etapas, perfazendo um total de 80 (oitenta) sondagens elétricas de resistividade e polarização induzida (IP) no domínio do tempo, com o arranjo de eletrodos do tipo Schlumberger. A Foto 7 mostra o trabalho de aquisição das sondagens.

Em todas as sondagens foram plotados, no campo, gráficos (resistividade aparente versus espaçamento $AB/2$) para garantir a segurança das medidas, pois qualquer anormalidade na execução da sondagem poderia ser detectada imediatamente e feita

a correção. Todas as SEV's (sondagens elétricas verticais) apresentaram boa qualidade de dados e, invariavelmente, mostram terminais descendentes, indicando a presença de um substrato regional bem mais condutivo sob os pacotes arenosos.

A partir da configuração da superfície freática ou distribuição do nível de saturação no aquífero (Figura 10), verifica-se que o fluxo é aproximadamente uniforme e, na maior parte da área, se dirige de oeste para leste. Observa-se a existência de alguns contornos fechados que podem ser atribuídos à exploração atual da água subterrânea na área. Destaca-se ainda a

zona próxima à borda da serra, mostrando que o nível estático ultrapassa 200 m de profundidade, onde o movimento da água é invertido de leste para oeste.

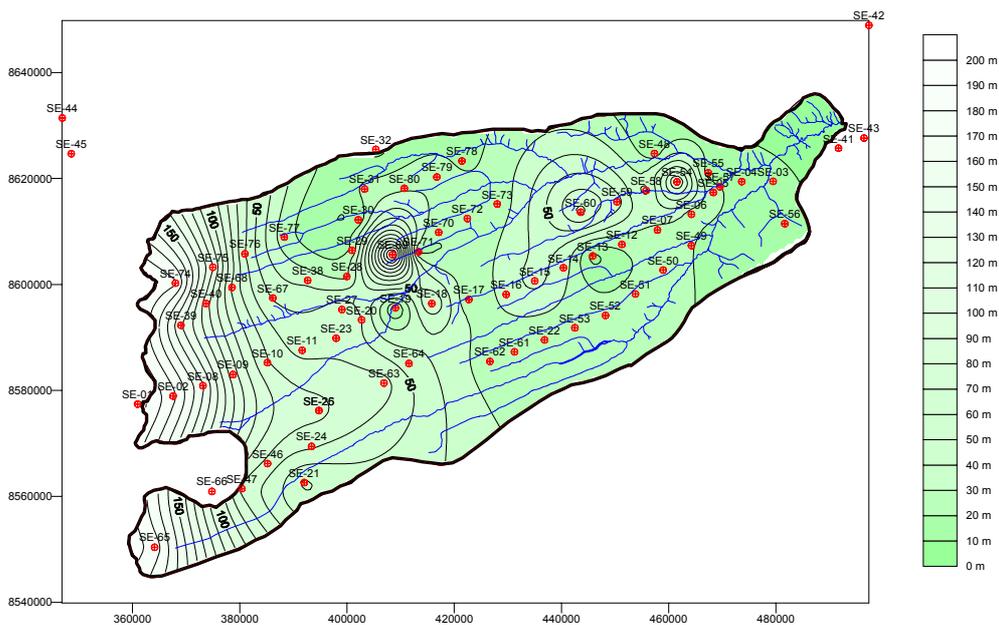


Figura 10. Nível da água obtido pela interpretação das sondagens geológicas (os símbolos vermelhos representam centros de sondagens e as linhas em azul a hidrografia).

A variação da topografia da base do aquífero evidencia-se na Figura 11, que mostra um afinamento do reservatório de 400 m de espessura na borda oeste do planalto para menos de 100 m na borda leste.

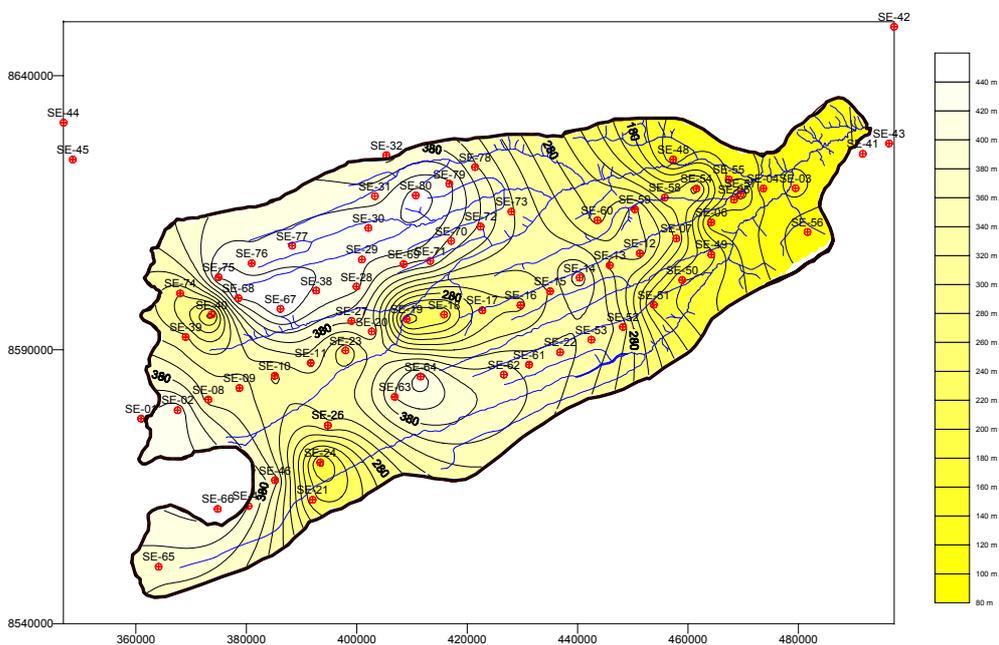


Figura 11. Topografia da base do aquífero (os símbolos vermelhos representam centros de sondagens e as linhas em azul a hidrografia).

4.4. Determinação dos Parâmetros Hidrodinâmicos

Os resultados dos estudos hidrogeológicos foram obtidos a partir da utilização de dados de testes de aquífero (ensaios de bombeamento) de poços existentes tanto na sub-bacia do rio das

Fêmeas quanto na sub-bacia do rio do Cachorro, uma vez que são vizinhas e estão inseridas no mesmo contexto geológico/hidrogeológico do Aquífero Urucuia, apresentando comportamento hidrodinâmico similar.

A comparação dos resultados com os dados obtidos pelas equipes da SRH, na Fazenda Campinas, na Fazenda Santo Antônio e na Fazenda Edilio Poletto, este último interpretado por Schuster (2002), mostraram valores da transmissividade (T) e de coeficiente de armazenamento (Ss) (correspondente à resposta elástica do aquífero) muito próximos, da ordem de 1.394 m²/dia e 1.403 m²/dia e de 1,85 x 10⁻⁴ a 2,05 x 10⁻⁴, respectivamente.

No entanto, devido provavelmente à duração insuficiente do ensaio na Fazenda Edilio Poletto, não foi possível obter o valor da “porosidade eficaz” (Sy), enquanto que utilizando o modelo de Neumann (1975) com os dados da Fazenda Campinas (poço com 90 metros de profundidade) e da Fazenda Santo Antônio, a “porosidade eficaz” (Sy) teve valores da ordem de 1,25 x 10⁻² e 1,43 x 10⁻², respectivamente, mostrando a característica de “aquífero não confinado com drenagem retardada” do pacote Urucuia, como já inferido a partir das observações geológicas, visto que a cimentação silicosa, pós deposicional, ao obstruir parte da porosidade primária dos sedimentos do topo, conferiu ao aquífero granular estas características de semi-livre.

Os valores do Quadro 8 revelam uma notável uniformidade quando comparados os resultados de transmissividade obtidos por Schuster na Fazenda Edilio Poletto (poços P4 e P3) e aos da Fazenda Campinas e Fazenda Santo Antônio. Na Fazenda Santo Antônio, no entanto, a condutividade hidráulica calculada com a espessura inferida pela geofísica revela um valor significativamente mais alto do que na Fazenda Campinas e na Fazenda Edilio Poletto.

Sendo verdadeira a espessura do aquífero, da ordem de 50 metros, ter-se-á na área uma variação faciológica importante, provavelmente com sedimentos arenosos grosseiros, com alta uniformidade e arredondamento.

Quadro 8. Resumo dos valores dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Urucuia.

Poço	T (m ² /dia)	k (m ² /h)	Ss	Sy	Método	Sub-bacia
Edilio Poletto P4	1.973	0,303	-	-	Jacob	Rio do Cachorro
Íris Basso	2.956	0,439	-	-	Jacob	Rio do Cachorro
Edilio Poletto P4 B - P3 O	1.397	0,360	2,6x10 ⁻⁴	-	Jacob	Rio do Cachorro
Edilio Poletto P4 B – P3 O	1.728	0,468	-	-	Jacob	Rio do Cachorro
Edilio Poletto P4 B – P3 O	1.411	0,390	1,5x10 ⁻⁴	-	Jacob	Rio do Cachorro
Edilio Poletto P4 B – P4 O	1.137	0,316	-	-	Jacob	Rio do Cachorro
Faz. Campinas P250 O	1.321	0,243	7,5x10 ⁻⁴	-	Neumann	Rio das Fêmeas
P B	1.542	0,284	-	-	Jacob	Rio das Fêmeas
P90 O	1.467	0,247	3x10 ⁻⁴	1,25x10 ⁻²	Neumann	Rio das Fêmeas
Faz. Santo Antônio	1.506	1,580	5,9x10 ⁻⁴	1,43x10 ⁻²	Neumann	Rio das Fêmeas

B – Bombeado // **O** - Observado

A elaboração do mapa da superfície freática mostrou, relativamente à distribuição geométrica espacial das equipotenciais, dois importantes aspectos: os rios dependem fundamentalmente do aquífero Urucuia, pois suas descargas de base correspondem ao volume de água restituído pelo aquífero e; há uma compartimentação do aquífero, por meio de um divisor de água

subterrânea, na direção aproximada norte – sul, dividindo o escoamento subterrâneo para leste, para o vale do rio das Fêmeas, e para oeste, para o vale do rio Tocantins (Figura 12).

A partir desse divisor, todos os demais, seja para oeste ou para leste do vale do Fêmeas, são grosseiramente paralelos aos divisores de águas superficiais dos vales secundários. Por outro lado, chama ainda a atenção o fato de que a partir do médio Fêmeas os gradientes hidráulicos são mais suaves para leste e mais fortes para oeste, com valores que variam de 10^{-4} e de 10^{-3} a 10^{-2} , respectivamente.

Essa feição está seguramente relacionada a diferenças na transmissividade, e pode ser devida tanto à variação da espessura saturada do aquífero quanto à mudança na condutividade hidráulica ou, ainda, a ambos os parâmetros.

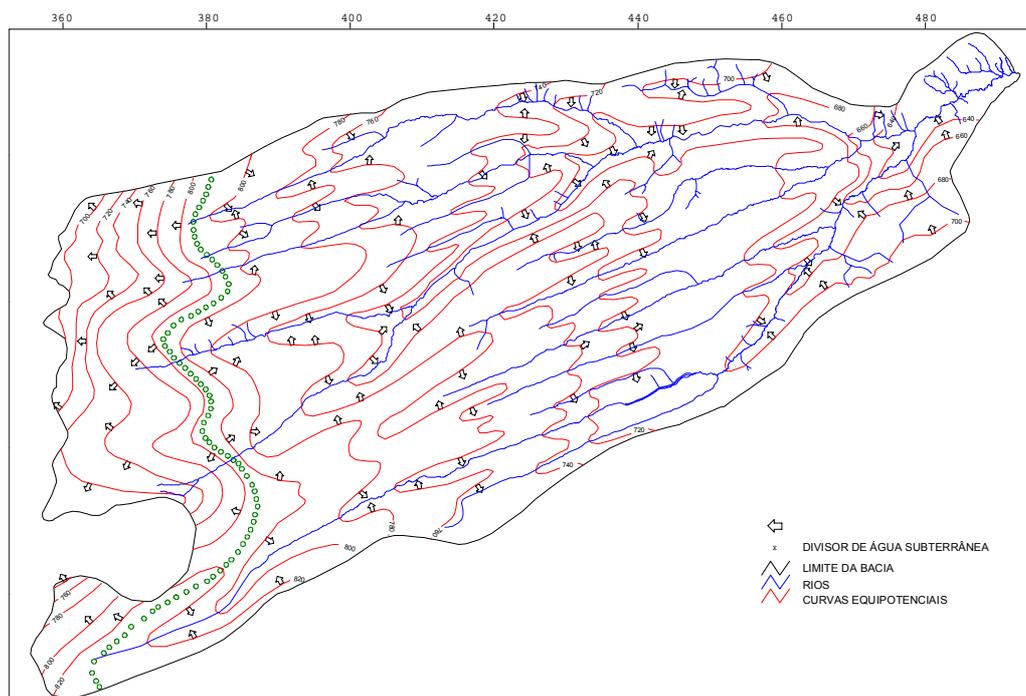


Figura 12. Mapa Potenciométrico do Aquífero Urucuia na Sub-bacia do Rio das Fêmeas.

Levando-se em conta ainda que o Aquífero Urucuia se limita a leste com os sedimentos do Grupo Bambuí e a oeste, já na bacia do Rio Mosquito, com o Complexo Cristalino, a formulação do modelo hidráulico deverá contemplar esses dois importantes aspectos, pois nessas áreas de contato poderão ser definidos limites físicos reais. Limites físicos, reais, externos, são sempre preferidos aos limites hidráulicos artificiais, pois influenciam de forma permanente o padrão de fluxo subterrâneo do aquífero (Kresic, 1997).

4.5. Qualidade das Águas

4.5.1. Metodologia

Foram adotados 98 pontos em poços tubulares profundos, cisternas e rios e realizadas duas campanhas (maio de 2001 e junho de 2002). Em cada campanha foram realizadas análises, em campo, com o uso da sonda de qualidade da água Horiba U-10 e o ECOKIT. Para a análise dos parâmetros físico-químicos e dos pesticidas foram coletadas amostras em frascos específicos (Foto 8), sendo acondicionadas em caixas de isopor com gelo e enviadas para os laboratórios imediatamente, em intervalo inferior a 24 horas.



Foto 8. Coleta de amostras para análise em laboratório.

Para verificar se a concentração total de cátions é aproximadamente igual à de ânions foi calculado o erro de análise (Fenzl, 1986).

4.5.2. Resultados e Discussões

Foram encontrados valores médios do erro de análise (ϵ) de 36,46 e 48,75 nos anos de 2001 e 2002, respectivamente, valores estes maiores que 7 na maioria dos pontos amostrados nas duas campanhas. Este comportamento indica

que as águas da região em estudo são pouco mineralizadas, ou seja, apresentam baixas concentrações iônicas em sua composição química.

O pH variou de 4,01 a 7,68, com média de 5,48, caracterizando a água como ácida a pouco neutra. Conforme Resolução do CONAMA 020/86 este valor está abaixo dos limites estabelecidos para as classes 1, 2, 3 e 4. A seguir é apresentada a variação espacial do pH na campanha de maio de 2001 (Figura 13).

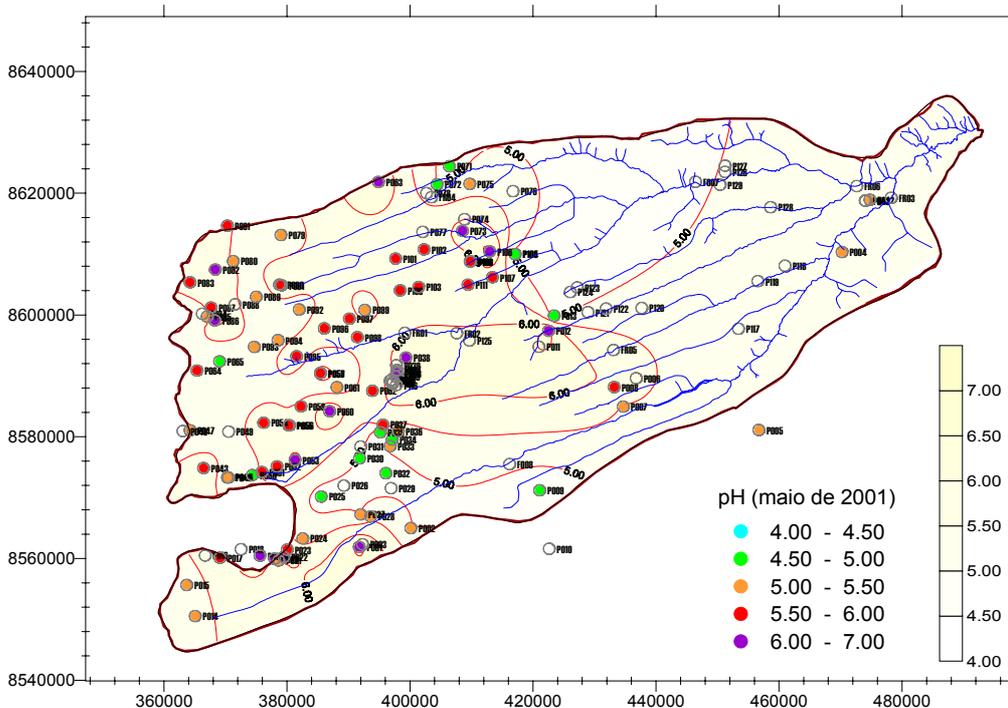


Figura 13. Variação espacial do pH na sub-bacia do rio das Fêmeas em maio/2001.

Os resultados das análises de Pesticidas Organoclorados e Organofosforados apresentaram valores abaixo do limite de detecção de cada um dos elementos, indicando que mesmo havendo atividades agrícolas que utilizam estes insumos na região, aparentemente, a qualidade das águas ainda não foi comprometida.

Os íons predominantes nas águas naturais são: Ca^{++} , Mg^{++} , Na^{++} , Cl^- , SO_3^{2-} e HCO_3^- . A quantidade de sódio presente na água é um elemento limitante de seu uso na agricultura.

Segundo a OMS, o valor máximo recomendável de sódio na água potável é 200mg/L (Fenzl, 1986). Na sub-bacia do rio das Fêmeas a concentração média de sódio foi de 0,03 mg Na⁺/L.

Em todas as campanhas efetuadas nos anos de 2001 e 2002 não foi detectada salinidade nos pontos amostrados, tanto na água subterrânea como na superficial, o que caracteriza uma água com baixas concentrações de sais, podendo ser utilizada para irrigação sem causar riscos de salinização do solo. Foi encontrada uma dureza média de 15,3 mg CaCO₃ /L na campanha de 2001, enquanto que no ano de 2002 a média foi de 3,35 mg CaCO₃ /L, com um valor máximo de 25,40 mg CaCO₃ /L; de acordo com a classificação proposta por Custódio (in Feitosa, 1997), as águas da sub-bacia do rio das Fêmeas são brandas.

As concentrações médias de sólidos totais dissolvidos (STD) foram de 48,39 mg/L e 28,60 mg/L para as campanhas de 2001 e 2002, respectivamente. Estes valores de STD caracterizam a água como boa, tanto para consumo humano (máximo de 500 mg/L), animal (máximo de 2.500 mg/L e para o uso agrícola).

5. MODELAGEM MATEMÁTICA

O modelamento tem como objetivo possibilitar a avaliação hidrodinâmica das águas superficiais e subterrâneas da sub-bacia do rio das Fêmeas. O modelamento matemático de fluxo subterrâneo baseado em informações dos níveis d'água nos poços existentes, medição das taxas de precipitação e vazões dos rios e análises dos testes de bombeamentos fornece resposta para caracterizar o comportamento hidrológico sobre diversas situações hidráulicas críticas, como secas e superexploração.

5.1. Equações Gerais e Métodos Numéricos

Hoje em dia são empregados apenas os modelos matemáticos computacionais nas análises complexas do comportamento hidráulico de todos os tipos de aquíferos para os estudos do gerenciamento dos recursos hídricos. O uso de modelos matemáticos, baseados nas equações diferenciais parciais de fluxo subterrâneo, ajuda a sistematizar as informações de campo e identificar áreas que necessitam de mais informações.

5.2. Modelo Conceitual da Sub-bacia do Rio das Fêmeas

5.2.1. Esquematização e Discretização do Modelo

O programa de modelamento utilizado neste Subprojeto foi o PMWIN (Chiang & Kinzelbach, 1993 e 2001), uma versão comercial do mundialmente conhecido programa na área da simulação das águas subterrâneas MODFLOW (McDonald & Harbaugh, 1988) baseado no Método das Diferenças Finitas.

O contorno da sub-bacia do rio das Fêmeas foi modelado de modo a delinear a área com células inativas 6247 células inativas, onde seus valores de condutividade hidráulica foram considerados iguais a zero – resultando em 6.265 células ativas, onde posteriormente foram calculadas as cargas hidráulicas no centro de cada célula (i,j) discretizada.

As fronteiras externas foram consideradas contornos de fluxo igual a zero, exceto a oeste do modelo, que foi considerada como contorno de fluxo dependente da carga hidráulica.

Foi incorporada apenas uma célula tipo de Dirichlet na foz do rio das Fêmeas. Os contornos internos da área de modelagem, do tipo de fluxo dependente da carga hidráulica, formaram as condições necessárias para modelar os rios perenes. Enquanto que para modelar os rios considerados intermitentes foram introduzidas células de drenos.

5.2.2. Análise dos Dados de Campo

A elaboração do modelo numérico inicial induziu a realização de tarefas para obterem-se informações básicas como, por exemplo, dados de entrada para o modelo estacionário inicial. A partir destes dados de campo foi possível confeccionar mapas indispensáveis para iniciar a modelagem, como o mapa da Figura 14.

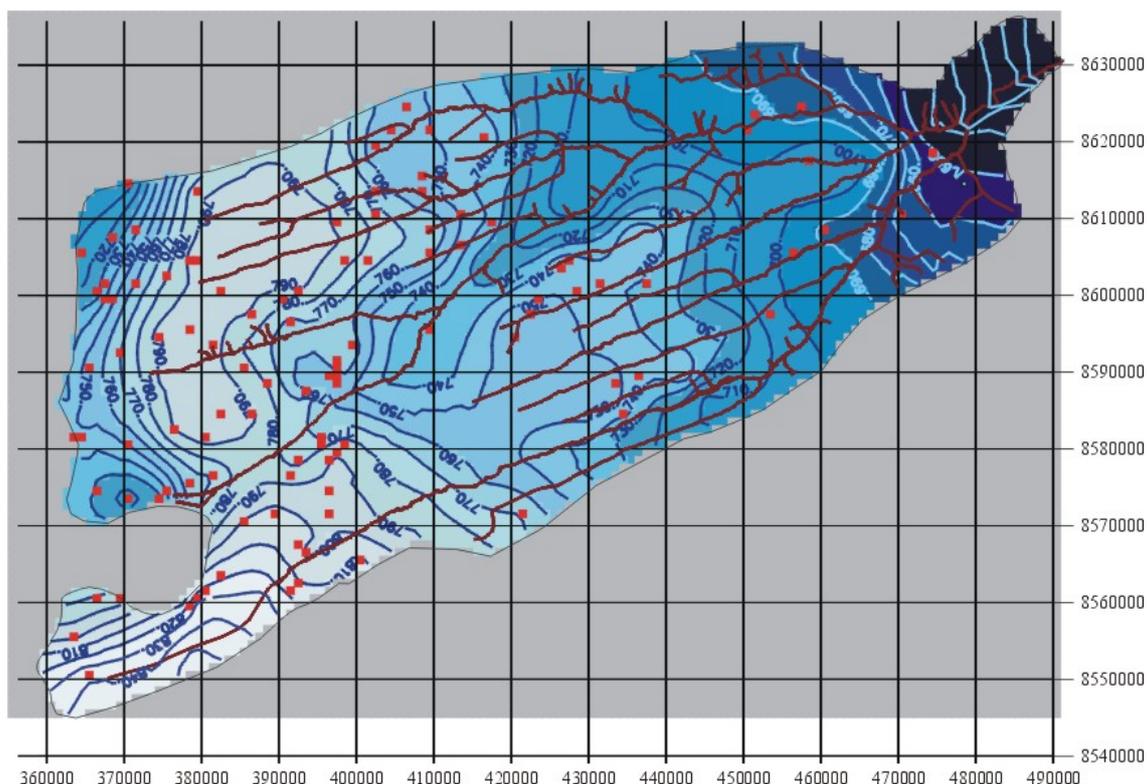


Figura 14. Mapa potenciométrico da sub-bacia do rio das Fêmeas através dos níveis interpolados de água medidos nos poços em agosto de 2001. Intervalo de isolinhas = 10 m. Parâmetros do Modelo Inicial.

O modelo inicial incluindo todas as informações hidrogeológicas, tais como o topo e a base da sub-bacia em estudo, juntamente com suas condições de contorno, foi estabelecido para realizar o primeiro cálculo utilizando um valor homogêneo da condutividade hidráulica, $k = 6$ m/dia a partir do teste de bombeamento realizado na Fazenda Campinas. Foi atribuído valor de recarga do aquífero $R = 6,85 \cdot 10^{-4}$ m/dia, o qual é equivalente uma taxa de recarga média de 250 mm/ano (Pimentel et al., 1999).

5.2.3. Métodos da Calibração

Para a calibração dos modelos são realizadas diversas simulações em condições críticas tais como secas e cheias. Também são simuladas ações antrópicas extremas, tais como taxas de bombeamento muito elevadas, provocando rebaixamentos significativos do nível de água do aquífero, principalmente, ao redor dos poços bombeados, incluindo a propagação das suas

respectivas zonas de captura e conseqüentemente as possíveis interferências com os mananciais superficiais.

Tanto no regime estacionário quanto no regime transitório de duração variável (de horas até anos) é preciso calibrar os parâmetros hidrodinâmicos do modelo inicial para possibilitar uma previsão futura da bacia modelada sobre situações hidrológicas e climatológicas extremas. Para tanto, realizam-se numerosas tentativas, até que uma concordância entre as cargas hidráulicas calculadas em relação às observadas seja alcançada.

5.2.4. Resultados, Discussão e Verificação do Modelo Estacionário

Nota-se que o mapa potenciométrico (Figura 14) confeccionado a partir dos níveis d'água medidos em agosto de 2001 apresenta um divisor subterrâneo na longitude de aproximadamente 380.000 m (UTM) e, portanto, a sub-bacia subterrânea é menor que a sub-bacia superficial de drenagem do rio das Fêmeas.

Este fato explica a ocorrência das numerosas nascentes no pé do chapadão na fronteira oeste da sub-bacia (divisa entre Bahia e Goiás). As sondagens elétricas verticais confirmam também um significativo incremento das profundidades do embasamento do sistema aquífero, a partir da longitude de 380.000 m a 360.000 m.

O modelo satisfatoriamente calibrado, tanto na condutividade hidráulica como na recarga, forneceu um mapa potenciométrico calculado (Figura 15) que reflete as características principais do mapa potenciométrico observado, confeccionado dos níveis d'água medidos em 129 poços (Figura 6), irregularmente distribuídos na área de modelamento.

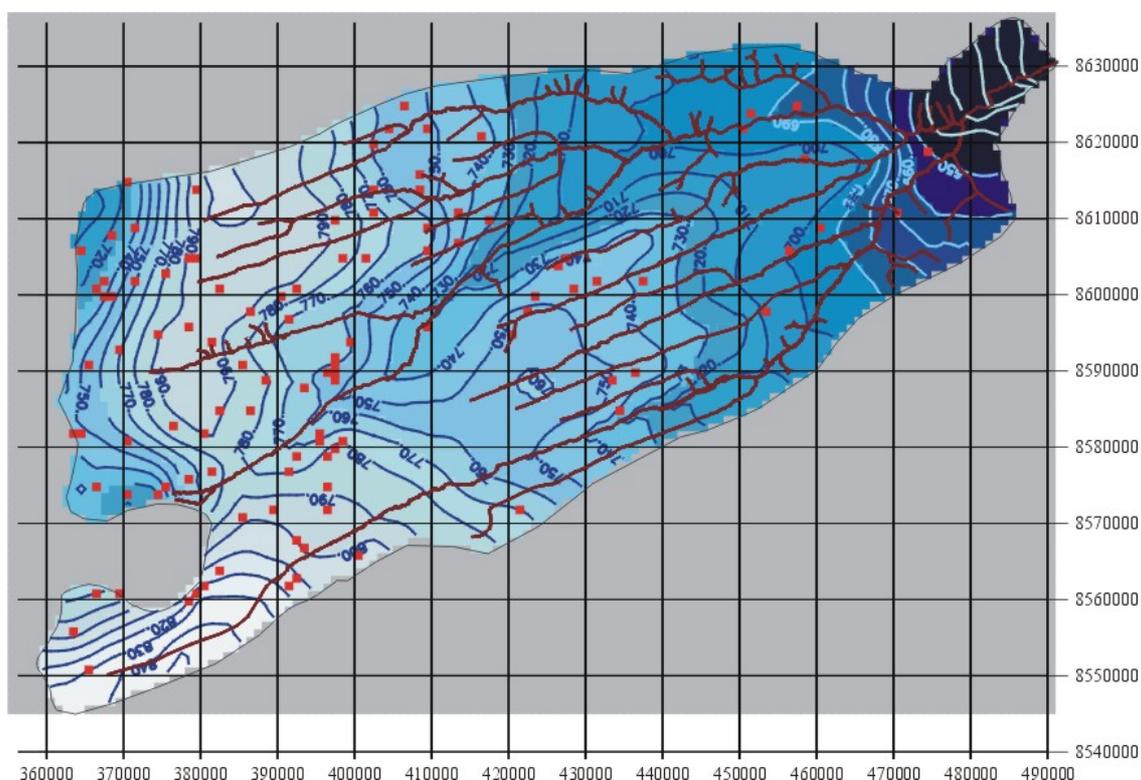


Figura 15. Mapa potenciométrico calculado a partir da calibração completa. Intervalo de isolinhas = 10 m.

5.2.5. Resultados, Discussão do Modelamento Não-Estacionário e Previsão

Para realizar o modelamento não-estacionário ou transitório, foi necessário fazer modificações no modelo estacionário antes de iniciar o modelamento. Uma vez definido o modelo transitório, foram efetuadas as simulações não-estacionárias. O pior caso é a situação da longa estiagem nesta sub-bacia desprovida de recarga sazonal, que mostra um contínuo decréscimo nas cargas hidráulicas em todos os poços bombeados, mais acentuados nos poços a montante.

5.2.6. Avaliação das Reservas Hídricas

Considerando as reservas dos aquíferos sob o ponto da vista de oferta d'água para atendimento à demanda, são usados dois termos técnicos diferentes: potencialidade e disponibilidade. Como potencialidade define-se o volume total da água subterrânea acumulado na zona saturada, denominado de reserva total do aquífero. A disponibilidade significa o volume que pode ser extraído sem risco de exaustão do aquífero e contempla várias definições em virtude dos distintos níveis de segurança.

As reservas hídricas permanentes do aquífero correspondem às águas subterrâneas localizadas na zona saturada abaixo do nível de oscilação sazonal da superfície potenciométrica do aquífero freático. Os volumes do aquífero foram calculados a partir dos diversos mapas potenciométrico, da superfície e da base do aquífero. Com estes conhecimentos dos volumes da zona não-saturada e saturada foi possível determinar as reservas totais e reguladoras.

A potencialidade da sub-bacia do rio das Fêmeas, que corresponde às reservas totais, foi calculada a partir do volume da área da zona saturada multiplicado pelo coeficiente de porosidade efetivo do arenito (aproximadamente 10%), que resultou no volume de água sob saturação de $2,61 \cdot 10^{11} \text{ m}^3$. Em relação a este valor, o volume de água sob pressão é quase desprezível (menos que 1 %).

A disponibilidade da sub-bacia, ou seja as reservas reguladoras, foi estimada a partir da taxa de descarga multiplicada pela área da sub-bacia. Obteve-se um valor de $1,57 \cdot 10^9 \text{ m}^3$, que é cerca de 0,6% da potencialidade. A partir deste balanço hídrico pode-se concluir que apenas 10% da disponibilidade é atualmente aproveitada pelo regime de uma irrigação extrema.

5.2.7. Discussão a Respeito do Modelamento Numérico

O objetivo do modelamento matemático da sub-bacia do rio das Fêmeas foi o estabelecimento de um modelo hidrogeológico a partir dos dados de campo disponíveis, que possibilitassem critérios para a concessão de outorga de mananciais superficiais e subterrâneos, de modo a não comprometer impactos ambientais irreversíveis.

Para alcançar este objetivo foram analisados na primeira etapa os dados de campo disponíveis, tais como os níveis d'água e os resultados das sondagens elétricas verticais realizadas nos anos 2001/2002.

Multiplicando o volume da zona saturada com o coeficiente de armazenamento determinado pelo teste de bombeamento, calculou-se o volume de água estocado na sub-bacia, denominada reserva total da sub-bacia. O mapa da zona não-saturada forneceu informações sobre um zoneamento das áreas de recarga para o modelo, devido à espessura variável desta zona.

O mapa potenciométrico serviu como base para a calibração do modelo, por procedimento automático. Sendo depois feito o refinamento da calibração.

Uma simulação estacionária com os poços ligados forneceu a confecção de um mapa residual entre a superfície potenciométrica com poços ligados e a superfície potenciométrica com os poços desligados. O mapa residual possibilitou descobrir a direção e a extensão das zonas de captura ou interferência de cada poço em bombeamento. Esta informação é importante para avaliar a localização e a intensidade das interferências entre os mananciais superficiais e subterrâneos em relação à vazão e à duração do bombeamento nesta sub-bacia.

A simulação não-estacionária de um ano foi baseada em um modelo genérico, com taxas de bombeamento elevadas em todos os poços atualmente cadastrados, considerando duas estações diferentes.

Os valores das reservas foram calculados a partir dos resultados do modelamento e permitem ser interpretados e discutidos entre os administradores responsáveis pela gestão de recursos hídricos.

6. PROPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE OUTORGA DOS DIREITOS DE USO DA ÁGUA

6.1. Outorga Superficial

Os diversos usos da água podem ser concorrentes, gerando conflitos entre setores usuários e impactos ambientais. Nesse sentido, gerir recursos hídricos é uma necessidade premente, de modo a permitir, sem conflitos, a convivência dos usos atuais e futuros da água. É nesse ponto que o instrumento da Outorga se mostra necessário, pois é possível, com ele, assegurar, legalmente, um esquema de alocação de água entre os diferentes usuários.

6.1.1. Legislação Federal

A Constituição Federal, de 1988, estabelece que a água constitui um bem público (bem da União). As águas subterrâneas são sempre de domínio do Estado, exceto nos territórios ou áreas de domínio da União.

A Lei n.º 9.433/97 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e estabeleceu como um de seus instrumentos a Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos. Trata-se de um ato administrativo mediante o qual o Poder Público outorgante (União, Estados ou Distrito Federal) faculta ao outorgado o uso da água, por prazo determinado, nas condições expressas no respectivo ato.

A Lei n.º 9.984/2000, que criou a Agência Nacional de Águas – ANA, conferiu a esta Agência a competência para emitir outorgas de direito de uso das águas de domínio da União. Os Estados e o Distrito Federal possuem órgãos próprios com competência constitucional para emitir a outorga de direito de uso das águas de seus domínios.

6.1.2. Estado da Bahia

A constituição do Estado da Bahia (05/10/1989) dedicou um capítulo específico sobre os recursos hídricos (TÍTULO VI, CAPÍTULO V - Política Hídrica e Mineral). Em seu artigo 198 define que a política hídrica e mineral se destina ao aproveitamento racional dos recursos hídricos e minerais.

A Lei Estadual n.º 6.812 de 18/01/1995 criou a entidade autárquica, Superintendência de Recursos Hídricos (SRH), cuja finalidade é o desenvolvimento e execução de projetos, políticas públicas, medidas e providências relativas à disciplina, uso e gestão de recursos

hídricos, incluindo a outorga de direito de uso dos recursos hídricos como um instrumento de gestão.

6.1.3. Histórico das Outorgas na Sub-bacia Hidrográfica do Rio das Fêmeas

A primeira liberação de água na sub-bacia do rio das Fêmeas foi concedida, com base em portaria, em novembro de 1988 e a segunda em maio de 1989. A maioria das outorgas ocorreu nos anos de 1990, 1991 e 1992. A instalação da UHE de Alto Fêmeas resultou no conflito entre diferentes usos da água (Genz e Ribeiro, 1998).

Com objetivo de minimizar esses conflitos, após debate do órgão gestor com os usuários, as vazões limite para outorga no rio das Fêmeas foram fixadas em 11,5 m³/s e 12 m³/s, respectivamente, a montante e a jusante da UHE.

6.1.4. Análise da Vazão Outorgável Segundo o Estado e a Federação

A análise da outorga, tanto a nível federal quanto estadual, segue princípios estabelecidos por uma legislação comum, como é o caso do Código das Águas e a Lei 9.433, mas tem diferenças nos critérios para a definição da vazão de referência.

A vazão mínima de referência é aquela que caracteriza uma condição de escassez hídrica no manancial. A partir dessa condição de criticidade é que são realizados os cálculos de alocação da água, de modo que, quando da ocorrência da situação de escassez, todos os usuários, ou os mais prioritários, mantenham, de certa forma, os usos outorgados em operação.

A vazão de referência para a análise de outorga pela ANA varia de um estado da Federação para outro e não há legislação que defina a vazão de referência para rios federais. Segundo Silva (2002), como os rios federais recebem afluentes estaduais sujeitos a diferentes critérios de outorga, a ANA costuma adotar o critério do estado mais restritivo. No caso do Rio São Francisco, ao qual pertence a bacia do Rio Grande/Rio das Fêmeas, a vazão de referência utilizada é a Q95% e outorga-se até 80% dela a montante da barragem de Sobradinho, na Bahia (Silva, 2002).

Finalmente, a outorga para captação dos rios na sub-bacia do rio das Fêmeas é realizada segundo critérios hidrológicos relacionados à água superficial e, como visto nos itens anteriores, o escoamento dos rios é controlado pelas águas subterrâneas.

6. 2. Outorga de Água Subterrânea

O desenvolvimento dos processos de gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos deve ser encarado como um processo seqüencial, com três fases principais:

- A primeira fase é de reconhecimento, abrangendo principalmente estudos geológicos, geofísicos e informações de campo.
- A segunda fase é a de avaliação, onde é feita a determinação dos parâmetros hidrogeológicos e o cálculo da capacidade de produção do aquífero.
- A terceira fase é o gerenciamento propriamente dito, onde são definidos os critérios de outorga e as estratégias para o desenvolvimento sustentável, a partir dos limites determinados pela interação entre as águas subterrâneas e os demais recursos hídricos da região.

É preciso fazer um balanço entre os benefícios resultantes da exploração do aquífero e as alterações indesejáveis que podem vir a ocorrer. Nestas condições, o máximo bombeamento permitido pelo órgão gestor não deve ultrapassar os limites em que o declínio do nível da água afete outros recursos hídricos da bacia. Um dos objetivos primários é a determinação da máxima vazão passível de exploração, sem riscos de danos ao meio ambiente.

6.2.1. Critérios de Outorga Para os Recursos Hídricos Subterrâneos

Os estudos já realizados permitiram determinar, em princípio, os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero. A “transmissividade” (T) é da ordem de $2 \times 10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$, o valor do “coeficiente de armazenamento” (Ss) é da ordem de $3,7 \times 10^{-4}$ e o valor da “porosidade eficaz” S_y é da ordem de $1,4 \times 10^{-2}$. Estes valores indicam tratar-se de um excelente aquífero.

Entretanto, estas características do aquífero, que ao que tudo indica é “não confinado” do tipo Neumann, com a produção de um retardamento da função “rebaixamento x tempo” (s x t) complexa, são responsáveis por raios de influência extensos em área, podendo provocar interferências entre poços e os cursos d’água superficiais.

De fato, em virtude do valor de Ss ser da ordem de 10^{-4} , o raio de influência dos poços, nas primeiras horas de bombeamento, é muito grande, podendo se expandir por vários quilômetros. Neste caso, a área de influência mínima para um poço operar com segurança em um regime de 12 h/dia é um círculo de aproximadamente 20 km^2 de área. Respeitados estes limites, poderiam ser perfurados na bacia cerca de 175 poços, o que indicaria um possível critério para limitação de outorgas na bacia.

Entretanto, a expansão do cone de rebaixamento não leva em conta a vazão de bombeamento de cada poço; desta forma, um poço com vazão da ordem de $3,7 \text{ m}^3/\text{h}$, operado em regime de 12 horas por dia, receberia exatamente o mesmo tratamento que um poço com uma vazão de bombeamento de $1.000 \text{ m}^3/\text{h}$, operado no mesmo regime. Logo, se este procedimento fosse adotado como regra, o limite máximo outorgável de água subterrânea para a sub-bacia iria oscilar entre $0,08 \text{ m}^3/\text{s}$ e $24,0 \text{ m}^3/\text{s}$, aproximadamente. Uma diferença de 300 vezes entre volumes outorgáveis.

Em vista disso, a determinação dos volumes máximos que podem ser extraídos do aquífero sem comprometê-lo adquire importância crucial. Em geral, admite-se para água subterrânea a utilização da sua recarga anual e mais 0,2% das reservas permanentes por ano. Isto significa que se comprometeria cerca de 10% das reservas permanentes em 50 anos. Nestas condições, o nível da água no aquífero vai se aprofundando progressivamente ao longo dos anos.

De fato, os grandes aquíferos do mundo estão sofrendo rebaixamentos progressivos ao longo dos anos de utilização. Infelizmente, este procedimento é inaceitável no caso do aquífero Urucuia, por se tratar de aquífero cuja exudação mantém a vazão dos rios, e qualquer rebaixamento significativo do aquífero irá comprometer os mananciais superficiais que, nesta região, são totalmente dependentes das descargas do aquífero para manutenção de suas vazões nos períodos de estiagem, tanto nos rios do Estado da Bahia quanto nos rios dos estados de Goiás e Tocantins.

Um bom exemplo está no relatório de hidrogeologia, que apresenta, como uma de suas conclusões, poços situados a 500 metros da margem de um rio, com vazão de $300 \text{ m}^3/\text{h}$, removendo cerca de $252 \text{ m}^3/\text{h}$ do escoamento de base do rio. Para tanto, ele se vale da seguinte expressão (Glover-1974):

$$\frac{q1}{Q} = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^y e^{-u^2} .du , \text{ onde}$$

q1 = depleção do rio durante período considerado

Q = vazão do poço ao rio

y = r/√4α t

r = distância do poço ao rio

α = T/Sy

u = r²Sy/4Tt

T = transmissividade

Sy = porosidade eficaz

t = tempo de bombeamento

Poder-se-ia utilizar esta expressão para se estabelecer limites à exploração de água subterrânea, entretanto; por ser uma fórmula geral, esta não leva em conta o comportamento anisotrópico e heterogêneo de um aquífero tão extenso quanto aos parâmetros hidrodinâmicos (T, Ss e Sy). Além disso, a fórmula não leva em conta a topografia da região e os estudos hidrológicos já mostraram que a topografia é essencial na relação rio/aquífero.

Ante o exposto e a necessidade de se determinar a vazão máxima que pode ser extraída sem comprometer as reservas subterrâneas e os mananciais superficiais que, nesta região específica, são totalmente dependentes das descargas do aquífero para manutenção de suas vazões nos períodos de estiagem, faz-se necessário o monitoramento contínuo do rebaixamento e recuperação do aquífero, por meio de uma rede piezométrica, ao longo de dois anos, pelo menos, para que se possa calibrar o modelo matemático do aquífero.

Um modelo calibrado irá permitir a realização de simulações diversas, que poderão levar em conta a topografia e as variações dos parâmetros hidrodinâmicos no aquífero. Além disso, um modelo calibrado permite a previsão de alterações locais e regionais do fluxo e do nível da água no aquífero, permitindo-se estimar com razoável precisão os limites outorgáveis de água subterrânea em cada ponto da sub-bacia.

Para que estes resultados sejam alcançados, deve ser considerado como medida inicial a determinação de possíveis rebaixamentos do nível da água subterrânea que possam vir a ocorrer ou que já estejam ocorrendo na região; os estudos realizados pela SRH na sub-bacia do rio do Cachorro parecem indicar que um rebaixamento generalizado do aquífero já está ocorrendo. Entre as atitudes que podem ser tomadas, citam-se:

- A instalação imediata de uma rede piezométrica para acompanhar permanentemente o nível da água subterrânea na sub-bacia. Neste caso, devem ser implantados cerca de 60 medidores de nível piezométrico nos poços existentes na sub-bacia;
- Realização de um levantamento topográfico de precisão sub-métrica, ao longo das calhas dos rios e nos poços. Este levantamento, juntamente com a rede piezométrica, permitirá medir, com razoável precisão, a influência negativa de cada poço, existente ou proposto, na descarga de base de cada rio, por meio da calibração do modelo matemático do aquífero, já iniciado neste trabalho;
- A realização de mais testes para determinação dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero, em mais pontos, facilitando a regionalização dos resultados;
- Realizar novas perfurações para determinação da espessura do aquífero e complementação das informações geológicas, para confirmar também a existência de aquífero confinado, abaixo das camadas aquíferas conhecidas e atualmente exploradas;

- O órgão gestor deve elaborar decreto informando os procedimentos básicos a serem adotados em novas perfurações, incluindo o teste de bombeamento, a distância mínima a ser mantida entre os poços e os mananciais superficiais e os equipamentos obrigatórios para monitoramento do nível do aquífero, levando em conta os estudos já realizados. Observe-se que o Decreto 6.296/97 já estipula que no caso de rebaixamento do nível da água de um aquífero o uso da água poderá ser racionado.

Estas medidas devem ser tomadas com presteza, pois há o risco da sustentabilidade da região, ser comprometida, considerando que rebaixamentos de menos de um metro, do nível da água do aquífero, se continuados, podem resultar em comprometimento das águas superficiais, cuja utilização, na sua totalidade, já foi limitada pelo decreto governamental 7.566/99, em virtude dos conflitos pelo uso da água que já ocorriam na sub-bacia.

Entretanto, este decreto não especifica nada sobre as águas subterrâneas, abrindo a possibilidade do seu uso de maneira irrestrita. Como os estudos realizados ao longo deste Subprojeto já comprovaram a dependência dos mananciais superficiais dos subterrâneos, o seu uso pode comprometer todas as negociações efetivadas para solucionar os conflitos.

Em uma região onde o uso das águas tem que ser submetido a um controle permanente, o nível de desconhecimento da evolução e uso das águas do aquífero pode trazer conseqüências gravíssimas do ponto de vista político, econômico e social.

A instalação, operação e manutenção desta rede piezométrica é plenamente justificável, visto que a existência de uma sub-bacia modelo no aquífero Urucuia possibilita a regionalização dos resultados, beneficiando toda a região oeste do Estado da Bahia. Nestas condições, as outorgas de água subterrânea estarão cientificamente embasadas.

7. CONCLUSÕES

Geoprocessamento

- A Modelagem Numérica de Terreno com a utilização do software GeoTerrain apresentou resultados positivos, possibilitando a elaboração de Base Cartográfica na escala de 1:100.000, com curvas de nível a cada 10 metros e precisão altimétrica inferior a 5 metros.

Estudos Hidrológicos

- Analisando as respostas da vazão em virtude da precipitação, observou-se a falta de correspondência entre a vazão e a precipitação, um retardamento do escoamento em relação à precipitação, com defasagem entre a ocorrência de máxima vazão em relação à máxima precipitação. Este fenômeno é observado em 50% dos anos da série de dados e aumenta da nascente (entre 2 e 4 dias) à foz (cerca de 10 dias).
- Observou-se também que a reposta das vazões anuais depende das precipitações ocorridas no(s) ano(s) anterior(es). Por exemplo, nos anos de 1978 e 1979, enquanto a precipitação decresce, ao contrário, a vazão dos rios aumenta.
- Embora as estações de chuva e seca sejam bem marcadas, o forte efeito de regularização, imposto pela descarga subterrânea, reduz as diferenças sazonais das vazões. Observa-se que as vazões mínimas anuais têm o mesmo comportamento das vazões médias e

representam a potencialidade da contribuição subterrânea, que ficaria em torno de 31 m³/s. Aproximadamente o mesmo valor indicado pelo modelamento matemático do aquífero (32,63 m³/s).

Estudos Hidrogeológicos

- Em virtude da influência do aquífero, os rios de maior vazão não são os de maior área de drenagem ou os de maior comprimento, mas sim os que se encontram mais profundamente entalhados no aquífero, com uma produção específica de vazão de aproximadamente 0,2 m³/s, por metro de entalhamento.
- Evidencia-se que o aquífero funciona como um reservatório de regularização dos rios, garantido a preservação das vazões deles nos períodos de estiagem e reduzindo o impacto das cheias nos períodos de chuvas intensas.
- O mapa de nível potenciométrico mostra que o divisor de águas subterrâneas situa-se a cerca de 20 km antes do limite topográfico, mais ou menos onde a rede de drenagem dos rios se forma. Então, parte da precipitação e do escoamento subterrâneo da sub-bacia segue em direção ao estado de Tocantins, e espera-se um divisor de águas variável, em função da elevação ou redução do nível do aquífero, alterando a superfície de contribuição ao escoamento dos rios na sub-bacia do rio das Fêmeas.
- O Aquífero Urucuia é do tipo não-confinado, com drenagem retardada, conforme modelo proposto por Stretsolva/Neumann. O valor do coeficiente de armazenamento (S_s), da ordem de 10⁻⁴, corresponde unicamente à resposta elástica do aquífero no primeiro intervalo de tempo de bombeamento. O valor da “porosidade eficaz” encontrado nos ensaios da Fazenda Campinas (S_y = 1,25x10⁻²) e da Fazenda Santo Antônio (S_y = 1,43 x 10⁻²) são mais realísticos. Já a transmissividade média (T) do aquífero Urucuia, na sub-bacia do rio das Fêmeas, pode ser tomada, em primeira aproximação, como da ordem de 1,7 m²/s.
- O comportamento e a distribuição espacial da rede de fluxo subterrâneo divide a sub-bacia do rio das Fêmeas em duas secções distintas por um divisor de águas subterrâneas, no sentido norte/sul a partir do qual, para leste, predominam gradientes hidráulicos da ordem de 10⁻³ a 10⁻⁴. Para oeste este gradiente aumenta para valores da ordem de 10⁻³ a 10⁻².
- As sondagens geofísicas realizadas na sub-bacia, invariavelmente, indicaram a presença de um substrato regional bem mais condutivo sob os pacotes arenosos. A partir desta indicação foi elaborado um mapa preliminar do relevo da base do aquífero, mostrando um afinamento da espessura do reservatório, de 400 m na borda oeste do planalto para menos de 100 m na borda leste. Este substrato foi preliminarmente determinado por meio de duas perfurações realizadas na sub-bacia como uma espessa camada argilosa (entre 15 e 60 metros), que separa dois níveis de arenitos saturados.
- Verificou-se ainda que o fluxo subterrâneo possui direção aproximadamente uniforme e, na maior parte da área se dirige de oeste para leste, com alguns contornos fechados, que podem ser atribuídos à exploração atual da água subterrânea na sub-bacia. Na cabeceira da sub-bacia, zonas próximas a Serra Geral de Goiás, o nível estático ultrapassa os 200 m de profundidade e o movimento da água apresenta-se invertido, de leste para oeste, em direção a bacia do rio Tocantins.

Estudos Geológicos e Geofísicos

- O sistema de fraturamento, associado a movimentos tectônicos, induziu no Sistema Aquífero Urucuia uma característica de dupla porosidade; a porosidade secundária, resultante de fraturamentos, é mais evidente no terço médio superior, onde o pacote sedimentar apresenta níveis de silicificação, enquanto que a porosidade primária, intergranular, domina os dois terços inferiores.

Modelagem Matemática

- O modelamento matemático realizado para o aquífero Urucuia indicou uma interferência hidráulica direta entre os poços em bombeamento com os numerosos rios da sub-bacia, principalmente por causa da alta transmissividade ($T \approx 1.500 \text{ m}^2/\text{dia}$) do aquífero Urucuia. Uma avaliação preliminar da relação rio/aquífero indicou que para uma vazão bombeada da ordem de $300 \text{ m}^3/\text{h}$, por um poço distante 500 metros de um rio, este tem sua descarga de base reduzida em cerca de $260 \text{ m}^3/\text{h}$.
- O raio de influência dos poços, em virtude do aquífero ser “não confinado” do tipo Neumann, apresenta uma resposta elástica nas primeiras horas de bombeamento, sendo válido o coeficiente de armazenamento (S_s), da ordem de 10^{-4} . Nestas condições, o raio de influência pode alcançar, aproximadamente, 1.000 metros (Faz. Santo Antônio), a 2.300 metros (Faz. Campinas) nas primeiras 12 horas de bombeamento. Observe-se que somente o raio de influência dos poços, não permite determinar o rebaixamento contínuo do nível da água em um aquífero resultante da sua exploração ao longo dos anos.

Outorga e Gerenciamento

- Dadas às características particulares do sistema rio-aquífero na sub-bacia do rio das Fêmeas, os procedimentos de outorga de água superficial não podem ser tratados utilizando-se apenas critérios hidrológicos, nem se pode utilizar os critérios padrões para exploração de água subterrânea.
- Embora a outorga para captação dos rios na sub-bacia do rio das Fêmeas seja realizada segundo critérios hidrológicos relacionados à água superficial e, como mostra este trabalho, o escoamento dos rios seja controlado pelas águas subterrâneas, o procedimento para a determinação da vazão de referência adotado pela SRH (Santana et al., 2000) termina por considerar o potencial hídrico do local, respeitando assim as características de descargas do aquífero.
- Apesar da grande potencialidade do aquífero Urucuia, transmissividade (T) em torno de $1.500 \text{ m}^2/\text{dia}$, coeficiente de porosidade eficaz (S_y) em torno de $1,5 \times 10^{-2}$ e considerável espessura saturada (pode ultrapassar 300 metros), grande parte deste potencial já está sendo explorado indiretamente, pois é o Urucuia que garante a vazão dos rios da sub-bacia do rio das Fêmeas nos períodos de estiagem.

8. RECOMENDAÇÕES

Outorga e Gerenciamento

- A calibração do modelo matemático do aquífero precisa de dados de observação muito exatos. Diferenças inferiores a um metro, entre a cota topográfica verdadeira e as cotas medidas, provocam muitas ambigüidades nos parâmetros hidrodinâmicos e fornecem

modelos calibrados pouco confiáveis. Por causa disso, a determinação das cotas topográficas, com um erro altimétrico inferior a 0,4 metros, nas calhas das principais drenagens e dos poços da sub-bacia, a instalação de uma rede piezométrica, para se acompanhar permanentemente o nível da água subterrânea e a atualização semestral do cadastro de poços da região, vai permitir a determinação, com razoável precisão, a influência negativa de cada poço, existente ou projetado, na descarga de base de cada rio. O custo estimado desta operação ficará em torno de US\$ 130.000,00.

- Como a sub-bacia do rio das Fêmeas apresenta carência significativa de informações meteorológicas e a falta dessas informações, induzem a erros no manejo agrícola e ambiental, faz-se necessária a implantação de uma rede meteorológica automatizadas, constituída por Plataformas de Coleta de Dados – PCD.

Os dados coletados serão transmitidos, em tempo real, pelo satélite nacional ARGOS/SCD, para subsidiar a previsão de tempo e clima na região, bem como, servir de ferramenta para análise da disponibilidade hídrica dos solos. Essas informações serão disponibilizadas diariamente no portal da Superintendência de Recursos Hídricos da Bahia – SRH. Para tanto, serão instaladas nove PCDs, que permitem o recobrimento de toda a região oeste da Bahia, além de computador portátil, para o acompanhamento dos dados, o que possibilitará a posterior expansão dos resultados obtidos na sub-bacia do rio das Fêmeas para todo o oeste bahiano. Esta atividade demandará um custo aproximado de US\$ 250.000,00.

- É necessário que os estudos atuais tenham continuidade até a calibração final do modelo hidráulico formulado para a gestão do sistema hídrico, água superficial/água subterrânea. O custo para contratação dos consultores fica em torno de US\$ 36.000,00.

Hidrogeologia

- Devem-se realizar novos testes de aquífero na Fazenda Campinas, na Fazenda Polleto e outras posteriormente selecionadas, para se determinar com precisão o Sy (porosidade eficaz) na região. Estes testes irão demandar um custo com energia elétrica e com colocação de bombas em torno de US\$ 3.000,00.
- É preciso realizar novas perfurações para a determinação da espessura do aquífero e complementação das informações geológicas, e para confirmar a existência de um aquífero confinado abaixo das camadas aquíferas conhecidas e atualmente exploradas, incluindo perfilagem geofísica. O custo destas obras ficará em torno de US\$ 130.000,00.
- Para formulação do modelo hidráulico será conveniente que pelo menos no limite leste da sub-bacia seja definido o limite físico, real; para oeste é aconselhável que se estude o modelo até a bacia do Rio Mosquito no contato Urucuia/Cristalino. Para tanto é necessária uma nova campanha geofísica no trecho a oeste da sub-bacia, que demandará um custo de US\$ 10.000,00.
- É necessário realizar uma datação, visto que aparentemente a água é muito jovem, dado o baixo teor de sais nela dissolvidos. Esta datação permitirá determinar com maior precisão o efeito reservatório do aquífero, indicando o tempo que a água da chuva permanece no aquífero, antes de alimentar os rios. Esta datação terá um custo de aproximadamente US\$ 5.000,00.

Hidrologia

- Com o objetivo de melhorar o monitoramento dos recursos hídricos superficiais, recomenda-se a instalação de três novos postos pluviométricos e dois novos postos fluviométricos, bem como a relocação dos postos fluviométricos BR-020 e Fêmeas Grande. Um dos postos pluviométricos destina-se à substituição do posto 01245005 e os outros dois para cobrir as nascentes do rio Estivas e as sub-bacias dos rios Mosquitão e Fêmeas. O posto fluviométrico BR-020 deve ser deslocado para um ponto na parte superior do rio Estivas, enquanto que os equipamentos do posto Fêmeas Grande devem ser relocados para próximo da foz do rio dos Bois. O custo para aquisição destes equipamentos e sua instalação ficará em torno de US\$ 20.000,00.
- Recomenda-se que sejam realizadas novas medições de vazão de forma regular e, principalmente, durante o período de cheia dos rios, de forma a permitir a revisão das curvas-chave estabelecidas com limitações e, assim, melhorar a qualidade dos dados de vazão. Este serviço irá demandar um custo de US\$ 60.000,00 por um período de dois anos.
- Deverá ser realizado estudo hidrológico detalhado, com base nos dados já disponíveis, adicionados aos que serão obtidos, para determinar as relações das vazões com fatores físicos que possibilitem a transferência da informação para locais sem dados. Esta atividade inclui a análise e consistência dos dados que serão coletados no novo período de monitoramento e irá demandar um custo de US\$ 13.000,00.

Qualidade da Água

- Devem ser realizadas novas campanhas para a detecção de pesticidas e agrotóxicos na água superficial e subterrânea, para se confirmar o risco de contaminação da população, visto que estes mananciais abastecem os habitantes da sub-bacia. Estas análises e campanhas irão demandar um custo de US\$ 36.000,00.

Recomendações para Gestão

- A gestão de recursos hídricos subterrâneos esbarra em uma série de dificuldades, decorrentes da ausência de redes piezométricas. Nestas condições seria o mesmo que gerenciar águas superficiais sem redes hidrométricas. Portanto, para se realizar uma gestão eficaz é necessário iniciar o planejamento para instalação deste tipo de rede, começando pelo cadastramento dos poços existentes, já que alguns deles podem servir para monitorar o aquífero com baixos custos.
- Elaborar normas e/ou resoluções que informem aos usuários, os procedimentos básicos a serem adotados em novas perfurações. A simples obrigatoriedade da instalação de tuboguia para monitorar o nível da água nos poços, representaria um grande avanço na gestão do aquífero. Também recomendamos que sejam estabelecidas normas técnicas para a realização de teste de bombeamento, elaboração do perfil de poço e instalação de piezômetros, informações essenciais para o cadastramento no órgão gestor.
- Como os aquíferos nem sempre se restringem aos limites das bacias hidrográficas e por vezes ultrapassam as fronteiras estaduais, a água subterrânea, segundo a Constituição Federal, é de domínio do Estado e dificilmente poderá ser gerenciada por comitês de bacia. Neste caso, sugere-se pensar em entidades que possam visualizar e arbitrar

problemas entre diferentes bacias, como, por exemplo, os órgãos gestores estaduais ou os conselhos estaduais. Em qualquer hipótese este assunto deve ser discutido com a participação dos diversos interessados.

- A principal recomendação, decorrente dos estudos, é a necessidade da gestão integrada das águas, considerando a comprovada conexão hidráulica existente entre o aquífero e os rios.

Um resumo das recomendações e custos associados é mostrado no Quadro 9 a seguir:

Quadro 9. Consolidação das Propostas

Recomendação	Custos Previstos US\$
Topografia Submétrica da Bacia	30,000.00
Instalação da Rede Piezométrica (60 poços)	100,000.00
Instalação de Nove PCD's	250,000.00
Continuação dos Estudos (Consultoria)	36,000.00
Novos Testes de Bombeamento nos Poços	3,000.00
Perfuração de Novos Poços e Perfilagem Geofísica	130,000.00
Campanha Geofísica	10,000.00
Datação da Água Subterrânea	5,000.00
Instalação de 3 postos pluviométricos e 2 postos fluviométricos e relocação de 2 postos fluviométricos	20,000.00
Campanhas de Medição de Vazão	60,000.00
Estudo Hidrológico Para Transferência de Informações	13,000.00
Análises de Qualidade da Água	36,000.00
Total	693,000.00

USO CONJUNTO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS DA SUB-BACIA DO RIO DAS FÊMEAS - BA

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
1. CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA	2
2. PROCESSAMENTO DO MATERIAL CARTOGRÁFICO E IMAGENS DE SATÉLITE	5
2.1. Base Cartográfica	5
2.2. Imagens de Satélite	5
3. CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA	6
3.1. Monitoramento dos Recursos Hídricos	6
3.2. Rede de Monitoramento	6
3.3. Pluviometria	10
3.4. Fluviometria	11
3.5. Comportamento Hidrológico	12
3.5.1. Hidrologia Geral na Sub-bacia do Rio das Fêmeas	12
3.5.2. Caracterização Pluviométrica	12
3.5.3. Caracterização Fluviométrica	15
3.6. Hidrologia das Sub-Bacias do Rio das Fêmeas	17
3.6.1. Chuva e Vazão Diária	18
3.6.2. Chuva e Vazão Mensal	21
3.6.3. Relação da Vazão com Fatores Físicos	25
3.6.4. Caracterização do Período Hídrico	27
3.7. Vazões Características	30
3.7.1. Vazão Média, Máxima e Mínima	30
3.7.2. Curva de Permanência	34
3.8. Balanço Hídrico	36
4. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA	39
4.1. Cadastramento de Poços Existentes	39
4.2. Reconhecimento Geológico	46
4.2.1. Litoestratigrafia	48
4.3. Sondagens Geofísicas	59
4.4. Determinação dos Parâmetros Hidrodinâmicos	65
4.4.1. Medição dos Níveis Estáticos nos Poços Tubulares	66
4.4.2. Perfuração dos Poços Piezométricos	67
4.4.3. Testes de Aquífero	69
4.4.4. Análise dos Parâmetros Hidrodinâmicos	78
4.4.5. Análise do Mapa de Superfície Freática	81
4.4.6. A Influência do Bombeamento de Poço sobre a Descarga do Rio	82
4.5. Qualidade das Águas	83
4.5.1. Metodologia	83
4.5.2. Resultados e Discussões	89

5. MODELAGEM MATEMÁTICA	100
5.1. Introdução À Modelagem de Fluxo Subterrâneo	100
5.2. Equações Gerais e Métodos Numéricos	100
5.3. Etapas de Modelamento	101
5.3.1. Etapa 1 - Modelo Conceitual	101
5.3.2. Etapa 2 - Escolha do Pacote Computacional	102
5.3.3. Etapa 3 - Esquematização do Modelo	103
5.3.4. Etapa 4 - Calibração e Verificação	104
5.3.5. Etapa 5 - Previsão	104
5.4. Equações Básicas de Fluxo Horizontal de Água Subterrânea	104
5.5. Condições de Contorno	105
5.6. Modelo Conceitual da Sub-bacia do Rio de Fêmeas	106
5.6.1. Esquematização e Discretização do Modelo	106
5.6.2. Análise dos Dados de Campo	109
5.6.3. Parâmetros do Modelo Inicial	115
5.6.4. Métodos da Calibração	116
5.6.5. Resultados, Discussão e Verificação do Modelo Estacionário	123
5.6.6. Resultados, Discussão do Modelamento Não-Estacionário e Previsão	124
5.6.7. Avaliação das Reservas Hídricas	131
5.6.8. Discussão a Respeito do Modelamento Numérico	137
6. PROPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE OUTORGA DOS DIREITOS DE USO DA ÁGUA	138
6.1. Outorga Superficial	138
6.1.1. Legislação Federal	139
6.1.2. Estado da Bahia	140
6.1.3. Histórico das Outorgas na Sub-bacia Hidrográfica do Rio das Fêmeas	142
6.1.4. Análise da Vazão Outorgável Segundo o Estado e a Federação	142
6.1.5. Análise da Vazão de Outorga Superficial	145
6.2. Outorga de Água Subterrânea	146
6.2.1. Critérios de Outorga Para os Recursos Hídricos Subterrâneos	147
7. CONCLUSÕES	150
7.1. Geoprocessamento	150
7.2. Estudos Hidrológicos	150
7.3. Estudos Hidrogeológicos	151
7.4. Estudos Geológicos e Geofísicos	152
7.5. Qualidade das Águas	153
7.6. Modelagem Matemática	153
7.7. Outorga e Gerenciamento	153
8. RECOMENDAÇÕES	154
8.1. Outorga e Gerenciamento	154
8.2. Hidrogeologia	155
8.3. Hidrologia	156

8.4.	Qualidade da Águas	157
8.5.	Recomendações para Gestão	157
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	158
9.1.	Referências Locais	158
9.2.	Referências Gerais	158
10.	ATORES	161
10.1.	Entidades Participantes	161
10.2.	Equipe do Subprojeto	161

ANEXOS

1.	ESTUDOS HIDROLÓGICOS	
2.	OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DA REDE HIDROMÉTRICA	
3.	MONITORAMENTO HIDROMÉTRICO	
4.	CONTRIBUIÇÃO DOS MANANCIAIS SUPERFICIAIS DO ESTADO DA BAHIA PARA O RIO SÃO FRANCISCO	
5.	EXECUÇÃO DE POÇO TUBULAR DE OBSERVAÇÃO	
6.	PERFURAÇÃO DE POÇOS	
7.	PERFILAGEM DE POÇO	
8.	AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS DO AQUÍFERO URUCUIA - BAHIA	
9.	MODELAGEM MATEMÁTICA DO USO CONJUNTO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS DA SUB-BACIA DO RIO DAS FÊMEAS – BAHIA	
10.	BASE CARTOGRÁFICA DA SUB-BACIA DO RIO DAS FÊMEAS	
11.	CURVAS DE SONDAGENS ELÉTRICAS VERTICAIS	
12.	LEGISLAÇÃO E DECRETOS ASSOCIADOS	
13.	MATERIAL PERMANENTE RECEBIDO PELO SUBPROJETO (FICHAS DE INVENTÁRIO COMPLETAS)	

LISTA DE FIGURAS

1.	Localização da sub-bacia do rio das Fêmeas	3
2.	Imagem de satélite correspondente a área da sub-bacia do rio das Fêmeas	6
3.	Localização dos postos de monitoramento dos recursos hídricos	9
4.	Precipitação anual - 1985 a 2001	13
5.	Precipitação média anual sobre a sub-bacia do rio das Fêmeas – 1985 a 2001	13
6.	Distribuição da precipitação média mensal ao longo do ano	14
7.	Precipitações máximas diárias anuais	14
8.	Número de dias com chuva (NDC)	14
9.	Vazões anuais no rio das Fêmeas – 1977 a 2001	15
10.	Vazões mensais no rio das Fêmeas – Derocal-46455000	16
11.	Defasagem entre a ocorrência do pico de chuva e vazão registradas no posto Derocal-46455000	16
12.	Polígonos de Thiessen na sub-bacia do rio das Fêmeas	18
13.	Chuva e vazão diária na sub-bacia do posto fluviométrico F4-São João	18
14.	Chuva e vazão diária na sub-bacia do posto fluviométrico F1-BR 020	19
15.	Chuva e vazão diária na sub-bacia do posto fluviométrico F2-Mosquito	19
16.	Chuva e vazão diária na sub-bacia do posto fluviométrico Roda Velha-46420000	19

17. Chuva e vazão diária na sub-bacia do posto fluviométrico F6-Fêmeas Grande	20
18. Chuva e vazão diária na sub-bacia do posto fluviométrico F5-Faz. Soya	20
19. Chuva e vazão diária na sub-bacia do posto fluviométrico F3-Estivas	20
20. Chuva e vazão diária na sub-bacia do posto fluviométrico Bacia Toda-46455000	21
21. Chuva e vazão mensal na sub-bacia do posto fluviométrico F4-Faz. São João	22
22. Chuva e vazão mensal na sub-bacia do posto fluviométrico F1-BR-020	22
23. Chuva e vazão mensal na sub-bacia do posto fluviométrico F2-Mosquito	23
24. Chuva e vazão mensal na sub-bacia do posto fluviométrico Roda Velha-46420000	23
25. Chuva e vazão mensal na sub-bacia do posto fluviométrico F6-Fêmeas Grande	23
26. Chuva e vazão mensal na sub-bacia do posto fluviométrico F5-Soya	24
27. Chuva e vazão mensal na sub-bacia do posto fluviométrico F3-Estivas	24
28. Chuva e vazão mensal na sub-bacia do posto fluviométrico Bacia Toda-46455000	24
29. Relação da vazão média e específica em função da área de drenagem	26
30. Relação da vazão média e específica em função do comprimento do rio principal	27
31. Relação da vazão média em função da altitude e do entalhamento do rio	27
32. Precipitação média mensal sobre a sub-bacia do rio das Fêmeas – período 1978 a 2001	28
33. Precipitação anual sobre a sub-bacia do rio das Fêmeas - 1978 a 2001	29
34. Chuva e vazão anual na sub-bacia do rio das Fêmeas - 1978 a 2001	29
35. Vazões características mensais e precipitação máxima – posto Faz. São João	31
36. Vazões características mensais e precipitação máxima - posto BR-020	31
37. Vazões características mensais e precipitação máxima - posto Mosquito	31
38. Vazões características mensais e precipitação máxima - posto Soya	32
39. Vazões características mensais e precipitação máxima - posto Estivas	32
40. Vazões características mensais e precipitação máxima - posto Fêmeas Grande	32
41. Curva de permanência - postos Faz. São João e Faz. Soya	35
42. Curva de permanência - postos BR-020, Mosquito e 46420000	35
43. Curva de permanência - postos Estivas, Fêmeas Grande e 46455000	35
44. Curvas de permanência adimensionais na sub-bacia do rio das Fêmeas	36
45. Localização dos poços tubulares perfurados na sub-bacia do rio das Fêmeas	39
46. Mapa geológico da sub-bacia do rio das Fêmeas	47
47. Perfil geológico da região	47
48. Diagrama em roseta das fraturas da Formação São Desidério	51
49. Diagrama em roseta das fraturas do Grupo Urucua	53
50. Rede de drenagem da sub-bacia do rio das Fêmeas	54
51. Arranjo Schlumberger	60
52. Localização dos centros das sondagens elétricas verticais e das seções	62
53. Seção A-B	62
54. Seção C-D	62
55. Seção D-E	63
56. Seção E-F	63
57. Seção F-G	63
58. Nível da água obtido através da interpretação das sondagens geoeletricas, (os símbolos vermelhos representam centros de sondagens e as linhas em azul a hidrografia).	64
59. Topografia da base do aquífero inferida a partir da interpretação dos dados das sondagens geoeletricas. (os símbolos vermelhos representam centros de sondagens e as linhas em azul a hidrografia).	64
60. Perfilagem geofísica do poço Perdizes	65
61. Mapa das equipotenciais e linhas de fluxo	67

62. Diagrama esquemático dos poços piezométricos - Faz. Campinas	68
63. Teste de aquífero – poço Fazenda Íris Basso	70
64. Teste de aquífero – Fazenda Edilio Poletto	71
65. Teste de aquífero – Fazenda Campinas - Poço de observação (prof: 250m dist: 20m)	73
66. Teste aquífero poço Fazenda Campinas - Poço de observação (prof: 90m dist: 20m)	73
67. Teste de recuperação – poço Fazenda Campinas.	74
68. Teste de aquífero – poço do Povoado de Roda Velha de Baixo	76
69. Teste de aquífero - poço da Fazenda Santo Antônio	78
70. Ensaio de Bombeamento – Faz. Campinas.	80
71. Localização dos pontos amostrados na sub-bacia do rio das Fêmeas	85
72. Variação espacial do pH na sub-bacia do rio das Fêmeas em maio/2001	91
73. Variação espacial do pH na sub-bacia do rio das Fêmeas em setembro/2001.	91
74. Variação espacial do pH na sub-bacia do rio das Fêmeas em junho/2002	92
75. Balanço de íons na bacia do rio das Fêmeas	93
76. Etapas da Modelagem (adaptado de ANDERSON & WOESSNER, 1992).	102
77. Exemplo das condições de contorno no modelo horizontal (Adaptado de KINZELBACH, 1986).	105
78. Mapa topográfico da sub-bacia do rio das Fêmeas. Intervalo de isolinhas = 10 m.	107
79. Mapa de discretização da sub-bacia do rio das Fêmeas com seus rios perenes (azul), rios intermitentes e células de drenos (verde), os poços cadastrados (vermelho) e pivôs centrais (amarelo).	108
80. Mapa de superfície topográfica da sub-bacia do rio das Fêmeas. Intervalo de isolinhas = 20 m.	110
81. Mapa do embasamento do aquífero da sub-bacia do rio das Fêmeas por meio das sondagens elétricas verticais. Intervalo de isolinhas = 40m	111
82. Mapa isópaca da zona não-saturada (cota da superfície - nível de água). Intervalo de isolinhas = 20 m.	112
83. Mapa isópaca da zona saturada (nível de água - cota do embasamento do aquífero). Intervalo de isolinhas = 20 m.	113
84. Mapa potenciométrico da sub-bacia do rio das Fêmeas através dos níveis interpolados de água medidos nos poços em agosto de 2001. Intervalo de isolinhas = 10 m	114
85. Ilustração esquemática da definição da condutância do rio (KRESIC, 1997)	115
86. Mapa superposto da superfície observada (h_{obs} - cor azul) e calculada (h_{calc} - cor vermelho). Intervalos de isolinhas = 10 m.	118
87. Mapa residual da superfície potenciométrica observada menos calculada ($h_{obs} - h_{calc}$). Intervalo de isolinhas = 5 m. Residuais negativos são representados pelas áreas azuis, enquanto que residuais positivos são representados pelas áreas amarelas.	119
88. Zoneamento de recargas da sub-bacia do rio das Fêmeas: (a) Modelo 01 a partir do mapa isópaca da zona não-saturada (Figura 82); (b) Modelo 02 a partir da imagem do satélite LandSat TM Multiespectral do ano de 1995, apresentando as áreas de atividades agrícolas (verde, vermelho e amarelo) e área de cerrado e campo limpo (azul)	121
89. Comparação entre as cargas hidráulicas observadas e calculadas dos $n = 94$ poços modelados: (a) Resultado da calibração da recarga homogênea; (b) Resultado da calibração da recarga de 04 zonas distintas.	122
90. Mapa potenciométrico calculado a partir da calibração completa. Intervalo de isolinhas = 10 m.	125
91. Representação da figura 16 em 3D da sub-bacia do rio das Fêmeas, mostrando a	126

superfície topográfica, a superfície potenciométrica e o embasamento do aquífero incluindo os 129 poços cadastrados (fator de exageração vertical = 75)	
92. Mapa potenciométrico residual estacionário da sub-bacia do rio das Fêmeas (mapa potenciométrico modelado com poços bombeados menos mapa potenciométrico modelado sem poços bombeados) apresentando as profundidades dos cones de depressão dos poços outorgados e as respectivas zonas de influência. Intervalo de isolinhas = 0,05 m.	127
93. Mapa potenciométrico da sub-bacia do rio das Fêmeas contendo linhas de fluxo em locais selecionados com marcas de tempo representadas por intervalos de 50 anos. Intervalo de isolinhas = 20 m.	128
94. Mapas potenciométricos a partir: (a) dos níveis medidos nos poços cadastrados em 2002 (h_{obs}) e (b) do modelo calibrado com a nova recarga calibrada de 2002 (h_{calc}). Intervalo de isolinhas = 10 m.	129
95. Mapa potenciométrico residual não estacionário com duração de 1 ano entre as duas principais estações do ano (mapa do verão – mapa do inverno). Intervalo de isolinhas = 0,5 m. O valor mínimo residual potenciométrico = -7,1 m.	132
96. Gráficos de carga hidráulicas versus tempo (12 anos) em poços selecionados. A Figura 92a apresenta uma simulação transitória com recargas anuais distintas (Quadro 40), a Figura 92b apresenta uma situação intermediária onde as recargas são baixas durante a estação de verão, enquanto que a Figura 92c apresenta a situação extrema, onde não há recarga durante todos os anos.	133
97. Relação entre reservas e disponibilidades para aquíferos espessos e rasos (Fonte: W. D. COSTA <i>in</i> FEITOSA, 1997)	134
98. Evolução da captação e ampliação da área irrigada - pleitos em vigor	142

LISTA DE QUADROS

1. Postos fluviométricos instalados na sub-bacia do rio das Fêmeas	8
2. Postos pluviométricos e evaporimétrico instalados na sub-bacia do rio das Fêmeas	8
3. Postos fluviométricos em operação - ANA	8
4. Postos pluviométricos em operação - ANA	9
5. Precipitação mensal (mm) agosto de 2001 a agosto de 2002	10
6. Curvas chaves dos postos fluviométricos do projeto	11
7. Vazão média - Agosto/2001 a Agosto/2002 (m^3/s)	11
8. Vazões mensais características no rio das Fêmeas – Derocal-46455000 (m^3/s)	16
9. Coeficientes dos polígonos de Thiessen dos postos em cada área de drenagem	17
10. Precipitação mensal na bacia e sub-bacias do rio das Fêmeas	21
11. Vazão mensal na bacia e sub-bacias do rio das Fêmeas	22
12. Área, comprimento do rio, altitude, nível potenciométrico e entalhamento	26
13. Precipitação média mensal e total anual - 1978 a 2001 – sub-bacia do rio das Fêmeas (mm)	28
14. Resumo das vazões características do rio das Fêmeas - 1978 a 2001	29
15. Vazões características – F4-Faz. São João, F1-BR-020 e F2-Mosquito	30
16. Vazões características – F5-Faz. Soya, F3-Estivas e F6-Fêmeas Grande	30
17. Vazões características anuais na sub-bacia do rio das Fêmeas	33
18. Vazões características - bacia hidrográfica do rio Grande e outros ambientes	34
19. Balanço hídrico simplificado nas sub-bacias e bacia do rio das Fêmeas	37
20. Balanço hídrico na região Oeste - Bacia do rio Grande (adaptado de BAHIA, 1993)	38
21. Poços cadastrados na sub-bacia do rio das Fêmeas	41
22. Dados de rebaixamento residual	70
23. Dados de rebaixamento residual	70

24. Valores dos parâmetros hidrodinâmicos pelo método de rebaixamento residual.	70
25. Valores da transmissividade do aquífero Urucuia (apud prof. Hans Schuster)	71
26. Fazenda Campinas – Dados de tempo versus rebaixamento	72
27. Dados de rebaixamento residual – Poço bombeado - Fazenda Campinas	74
28. Valores dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Urucuia, obtidos no ensaio da Fazenda Campinas	75
29. Dados do ensaio de rebaixamento do Povoado de Roda Velha de Baixo	75
30. Dados de rebaixamento do ensaio de bombeamento - Fazenda Santo Antônio	77
31. Relação dos pontos de amostragem das águas superficiais e subterrâneas na sub-bacia do rio das Fêmeas	83
32. Resultados do erro de análise para as campanhas de 2001 e 2002.	90
33. Resultados das análises da água com a Sonda Horiba U-10 da campanha de setembro de 2001.	94
34. Resultados das análises Físico-químicos no Laboratório da Embasa da campanha de setembro de 2001.	95
35. Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos no Laboratório da Embasa da campanha de setembro de 2001	96
36. Resultados das análises da água com a Sonda Horiba U-10 da campanha de junho de 2002	97
37. Resultados das análises físico-químicas no Laboratório da Embasa da campanha de junho de 2002.	98
38. Resultados das análises da água com o ECOKIT na campanha de junho de 2002	99
39. Parâmetros hidrodinâmicos obtidos no teste de bombeamento executado na Faz. Campinas no local do poço 06 em 2001 analisados por H. D. M. Schuster (Schuster, 2002)	115
40. Resultado da calibração dos parâmetros de recarga (m/dia)	120
41. Taxas de escoamento subterrâneo a partir da separação dos hidrogramas medidos no período de 1984 a 1995 no posto fluviométrica Derocal – 46455000 (PIMENTEL et al., 1999).	130
42. Vazões e taxas determinadas na sub-bacia do rio das Fêmeas	136
43. Vazão de referência para outorga - critérios federal e estadual	144
44. Vazão de referência para outorga - critérios federal e estadual	145

LISTA DE FOTOS

1. Vista da seção de régua na margem direita do rio Estivas e gabinete do registrador - estação Estivas	7
2. Vista da estação pluviométrica digital da Fazenda Rio Brilhante	7
3. Vista da estação evaporimétrica digital de Roda Velha de Cima	8
4. Utilização das sondas de nível no teste de aquífero na Fazenda Campinas	40
5. Utilização do GPS no georeferenciamento de poços	40
6. Vista da Serra Geral de Goiás, com afloramentos do Grupo Urucuia	46
7. Morfologia de Torres, típica do topo da Serra Geral de Goiás	48
8. Contato do Grupo Bambuí com o Grupo Urucuia	49
9. Dobramento nos calcários da Formação São Desidério	49
10. Marcas de ondulações assimétricas na Formação São Desidério	50
11. Conglomerado da base do Grupo Urucuia	52
12. Argilitos da base do Grupo Urucuia	52
13. Paleodunas do Grupo Urucuia na Estrada para Taguatinga	56
14. Depósito de Argilito Interduna	56
15. Leque Aluvial Interdigitado nas Areias Eólicas.	57

16. Zona de contato da Formação Serra das Araras acima, com a Formação Posse abaixo	58
17. Conglomerado Fluvial da Formação Serra das Araras	58
18. Trabalho de aquisição das sondagens geofísicas.	60
19. Coleta de amostras para análise em laboratório	87
20. Coleta de amostras de água superficial	87

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A (L^2)	Área
ANA	Agência Nacional das Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BCS	sônico compensado
cm	medida de comprimento em centímetros
C (L^2/T)	condutância do rio
CPRM	Companhia de Pesquisas em Recursos Minerais
DNNAE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
ER	estação evaporimétrica
Faz.	Fazenda
FD	estações fluviométricas com medição de descarga
FRD	estações fluviográficas com medição de descarga
GEF	Fundo Para o Meio Ambiente Mundial
h	medida de tempo em horas
h (L)	carga hidráulica, nível d'água
I (\div)	gradiente hidráulico (vetor: I_x, I_y, I_z)
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
km	medida de comprimento em quilômetro
K (L/T)	condutividade hidráulica
K (L/T)	tensor da condutividade hidráulica ($K_{xx}, K_{xy}, K_{xz}, K_{yy}, K_{yz}, K_{zz}$)
K_D	grau de anisotropia
K_r	condutividade hidráulica horizontal (m/h)
K_z	condutividade hidráulica vertical (m/h)
L	medida de volume em litros
L (L)	comprimento do rio na respectiva célula
L (T^{-1})	coeficiente de drenança
L-0/1	lance de régua de 1m
Larg.	Largura
m	medida de comprimento em metros
m^3	medida de volume em metros cúbicos
Mm	medida de comprimento em milímetros
M (L)	espessura da camada de colmatação
n	número de rotações por segundo, do molinete
n_{ef} (\div)	porosidade efetiva
N (L/T)	termos de fontes e sumidouros no tempo t
NA	nível da água
NDC	número de dias com chuva
OEA	Organização dos Estados Americanos
P (L/T)	taxa de extração ou bombeamento (LT^{-1})
Prof.	Profundidade
PF	ponto final (marco)
PI	ponto inicial (marco)
PNUMA	Programa das Nações Unidas Para o Meio Ambiente

PR	estações pluviográficas
PV	ponto de visada
q (L/T)	descarga específica (vetor: q_x, q_y, q_z)
Q	Vazão
Qesp	vazão por unidade de área
Q_i (L ³ /T)	termos de vazões verticais
R	coeficiente de correlação
R (L ³ /T/L ²)	taxa de recarga
RN	nível de referência
RRNN	nível de referência
R_p (L ³)	reserva permanente
R_r (L ³)	reserva reguladora
S	rebaixamento em metros
S'	rebaixamento residual em metros
S	medida de tempo em segundos
S (÷)	coeficiente do armazenamento
S	direção Sul
S_e (L ¹)	coeficiente do armazenamento específico
S_s	coeficiente de armazenamento, correspondente a resposta elástica do aquífero
S_y	coeficiente de armazenamento ou “porosidade eficaz”, quando a água é liberada pelo aquífero sobre a ação das forças gravitacionais, unicamente.
SRH	Superintendência de Recursos Hídricos
T	tempo de bombeamento total (no caso de rebaixamento residual é a soma do tempo de bombeamento e do tempo de recuperação desde que cessou o bombeamento)
T (T)	Tempo
t'	tempo de recuperação ou tempo desde que cessou o bombeamento
T (L ² /T)	tensor de transmissividade (T_{xx}, T_{xy}, T_{yy})
T (L ² /T)	Transmissividade
T	transmissividade (m ² /dia ou m ² /h)
UHE	usina hidroelétrica
UTM	unidade transversa de mercator
v_D (L/T)	velocidade aparente ou velocidade de Darcy
V	velocidade em metros por segundo
V (L ³)	Volume
V_p (L ³)	volume de água sob pressão
V_s (L ³)	volume de água sob saturação
X (L)	coordenada horizontal (direção de oeste a leste)
W	direção Oeste
W (L)	largura do rio
y (L)	coordenada horizontal (direção de sul a norte)
Z (L)	coordenada vertical (direção de topo à base do aquífero)
Δh (L)	variação da carga hidráulica
Δt (T)	passo de tempo
ΔV (L ³)	volume d'água acumulada
Δx (L)	dimensão da célula em direção x
Δy (L)	dimensão da célula em direção y
Δz (L)	dimensão da célula em direção z