

DISPONIBILIDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO

José Luiz Gomes Zoby¹; Bolivar Antunes Matos¹ & João Gilberto Lotufo Conejo¹

Resumo – Este trabalho estimou a disponibilidade de águas subterrâneas na Bacia do Rio São Francisco e foi realizado com a finalidade de auxiliar a elaboração do Plano Decenal de Recursos Hídricos da bacia. Neste estudo, admitiu-se que a disponibilidade de águas subterrâneas na bacia é de 20% das reservas renováveis, desconsiderando a contribuição das reservas permanentes. A disponibilidade hídrica subterrânea na bacia foi estimada em 318,4 m³/s. O domínio Fraturado, com área de 216.690 km², possui uma reserva explorável de 12,7 m³/s. O domínio Fraturado-Cárstico possui área total de 146.889 km² e reserva explorável de 26,6 m³/s. O domínio Poroso ocupa uma área de 274.977 km² e possui reservas exploráveis de 286,7 m³/s. Embora ele ocupe 43% da área da bacia, possui 88% das reservas hídricas subterrâneas e apresenta os principais sistemas aquíferos.

Abstract – This work estimated the groundwater resources at the São Francisco River Basin and it was done in order to help the elaboration of the Decenal Water Resources Plan of the basin. In this study, it was established that the groundwater resources were 20% of the renewable groundwater, non-renewable groundwater was neglected. The groundwater resources in the basin were estimated in 318.4 m³/s. The Fractured domain, with an area of 216,329 km², has exploitable reserves of 12.7 m³/s. The Fractured- karstic domain has an area of 146,016 km², exploitable reserves of 26.6 m³/s. The Porous domain has an area of 276,235 km² and exploitable reserves of 286.7 m³/s. Although it occupies 43% of the basin area, it has 88% of the groundwater resources and the most important aquifer systems.

Palavras-Chave – Disponibilidade hídrica; águas subterrâneas; bacia do São Francisco.

¹ Agência Nacional de Águas. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Setor Policial, Área 5, Quadra 3, Bloco L, Brasília-DF, 70610-200. Fone: 61-445.5208. Fax: 61-445.5331. E-mail: spr@ana.gov.br.

INTRODUÇÃO

Desde sua descoberta em 1502, a Bacia do rio São Francisco é submetida à ocupação antrópica, que teve inicialmente como principal atividade econômica, a exploração do ouro e das pedras preciosas, que prevaleceu por muitos anos. O rio desempenhou importante papel na ocupação de nosso território e foi utilizado como caminho preferencial para as bandeiras, razão porque, também, é conhecido como "Rio da Unidade Nacional". Ainda nos dias de hoje, desempenha importante papel no desenvolvimento do país, em função da sua extensão, das atividades econômicas desenvolvidas, da geração de energia e da expressiva população residente.

A bacia tem área de drenagem de 638.576 km² (8% do território nacional), uma vazão média de longo período de 2.850 m³/s, abrangendo 503 municípios (e parte do Distrito Federal) e sete Unidades da Federação: Bahia, Minas Gerais, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Goiás e Distrito Federal. A população total na Bacia do rio São Francisco é de 12.796.082 habitantes (Censo 2000), sendo que a população urbana representa 74,4%. A densidade demográfica média na bacia é de 20,0 hab/km². A bacia possui acentuados contrastes socioeconômicos, abrangendo áreas de acentuada riqueza e alta densidade demográfica e áreas de pobreza crítica e população bastante dispersa.

Este trabalho estimou a disponibilidade de águas subterrâneas na Bacia do São Francisco e foi realizado com a finalidade de auxiliar a elaboração do Plano Decenal de Recursos Hídricos, conforme previsto na deliberação nº 3, de 3 de outubro de 2003, do comitê da bacia.

A definição de disponibilidade de águas subterrâneas (ou reservas explotáveis) admite diferentes interpretações e está ligada às finalidades de planejamento e gerenciamento da bacia. Neste estudo, admitiu-se que a disponibilidade de águas subterrâneas na bacia é de 20% das reservas renováveis, desconsiderando a contribuição das reservas permanentes. As reservas renováveis correspondem ao volume de água armazenado no aquífero acima do nível freático mínimo, ou seja, representa a contribuição dos aquíferos para o escoamento de base dos rios. As reservas permanentes são aquelas que situam-se abaixo da variação anual do nível freático.

METODOLOGIA

As unidades geológicas que compõem a Bacia do São Francisco foram divididas em três domínios aquíferos, em função da forma como as rochas armazenam e transmitem a água. Estes domínios são:

- Fraturnado: água está associada à presença de descontinuidades na rocha, responsáveis por uma porosidade secundária associada a falhas, fraturas e diáclases. É representado pelas rochas ígneas e metamórficas;

- Fraturado-Cárstico: água está presente nas discontinuidades da rocha, representadas por falhas, fraturas e diáclases, associadas a feições de dissolução. Corresponde à região de ocorrência de rochas sedimentares ou metassedimentares associadas a rochas calcárias. A estas últimas estão relacionadas as feições de dissolução que se desenvolvem ao longo dos planos de descontinuidade das rochas;

- Poroso: água está contida entre os grãos que compõem a rocha (porosidade primária). É representado pelas rochas sedimentares.

Em cada domínio aquífero, foram definidos sistemas aquíferos, que correspondem a unidades geológicas com comportamento hidrogeológico semelhante. Para a definição dos sistemas aquíferos, foi utilizado como base, o mapa geológico do Brasil, em escala 1:2.500.000, elaborado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM 2001).

A produtividade dos sistemas aquíferos foi baseada, principalmente, nas informações disponíveis no banco de dados de poços da CPRM, o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS). Para os sistemas aquíferos em que não havia poços no SIAGAS, foram utilizadas as informações disponíveis nos principais estudos já realizados na bacia. A partir das informações dos poços do SIAGAS, os seguintes dados foram organizados por sistema aquífero:

- Tipo de aquífero. Poroso ou fraturado, livre ou confinado;
- Caracterização geológicas dos sistemas aquíferos: idade das formações geológicas, principais tipos de rochas associadas e espessura;
- Profundidade dos poços;
- Vazão dos poços;
- Capacidade específica dos sistemas aquíferos.

Para caracterização dos parâmetros profundidade e vazão dos poços, e capacidade específica dos sistemas aquíferos, foram calculados valores médios e percentis de 25 e 75%. Os percentis foram adotados para fornecer intervalos de valores mais significativos para os parâmetros analisados.

Foi realizada uma estimativa das reservas exploráveis ou disponibilidades hídricas dos principais sistemas aquíferos da bacia. Para tal, foi inicialmente calculada a área de recarga dos aquíferos e a precipitação média sobre estas áreas, obtida através do cruzamento, utilizando ferramentas de geoprocessamento, do mapa geológico com o mapa de isoietas do país, construído a partir das Normais de precipitação do período de 1961-1990 das estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

De forma geral, considera-se que as reservas exploráveis de um aquífero são constituídas por uma parte das reservas reguladoras e uma pequena fração das reservas permanentes. A porcentagem a ser adotada das reservas reguladoras e permanentes para cálculo da reserva explorável dos aquíferos é

ainda controversa, principalmente em face da dinâmica de fluxo e resposta de cada aquífero à exploração. Neste trabalho, foi considerado que as reservas exploráveis corresponderiam a 20% das reservas reguladoras. Este pode ser considerado um valor conservador já que desconsidera o uso das reservas permanentes. Apesar disso, ele pode ser considerado satisfatório para uma estimativa regional de aquíferos e permite uma certa margem de confiança ao não considerar o uso das reservas permanentes, ou seja, ao não considerar a depleção do volume de água permanente do aquífero.

Os valores de taxa de recarga, que relaciona o volume infiltrado a atingir o aquífero com o volume precipitado, utilizados neste trabalho foram aqueles disponíveis na bibliografia consultada. Os trabalhos que serviram de referência foram CODEVASF (2001) e ANA (2003). No caso de informações apresentadas como intervalo de valores na CODEVASF (2001), foi adotado um valor médio. O cálculo do volume de água que efetivamente recarrega os aquíferos normalmente é obtido pela separação, nos hidrogramas dos rios, do escoamento de base.

RESULTADOS

A Figura 1 apresenta os domínios aquíferos definidos na Bacia do São Francisco: Fraturado, Fraturado-Cárstico e Poroso.

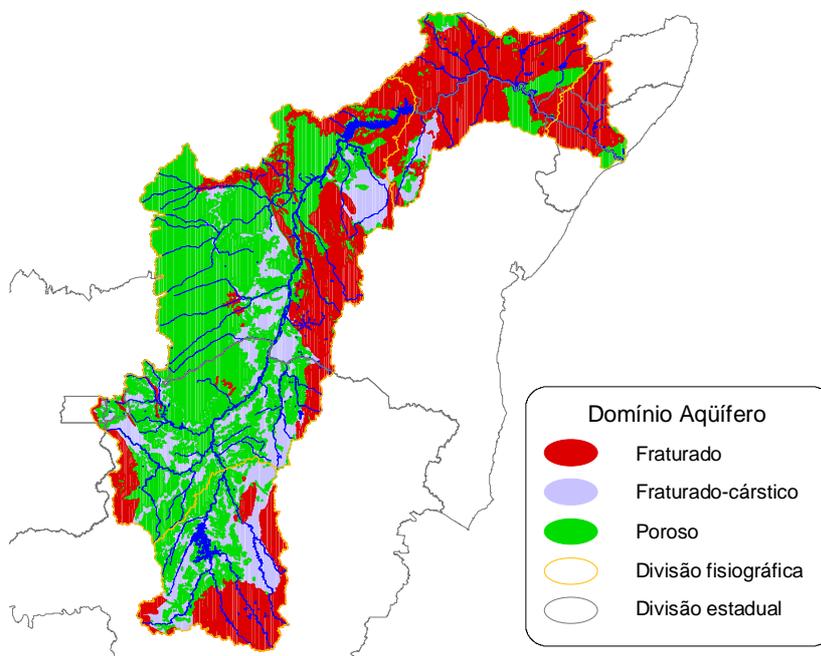


Figura 1 - Domínios aquíferos da Bacia do São Francisco.

As reservas exploráveis calculadas para a bacia são de 318,4 m³/s. A área de recarga e a reserva explorável dos domínios aquíferos são apresentadas na Tabela 1. O domínio aquífero Poroso corresponde a 43% da área da bacia e 88% das reservas subterrâneas exploráveis (Tabela 1).

Tabela 1 - Área de recarga e reserva explorável dos domínios aquíferos.

Domínio Aquífero	Área de recarga		Reserva Explorável	
	(km ²)	% do Total	(m ³ /s)	% do Total
Faturado	216.690	34	12,7	4
Faturado-Cárstico	146.889	23	26,6	8
Poroso	274.997	43	279,1	88
Total	638.576	100	318,4	100

Domínio Fraturado

É formado pelos sistemas aquíferos Cristalino Norte, Cristalino-Metassedimento e Cristalino Sul. Os sistemas aquíferos deste subdomínio são representados basicamente por rochas ígneas e metamórficas de idade arqueana a proterozóica. A definição dos sistemas baseou-se na agregação de diversas unidades geológicas conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Principais unidades geológicas dos sistemas aquíferos do domínio Fraturado.

Sistema Aquífero	Principais Unidades Geológicas
Cristalino Norte	Inclui as unidades geológicas proterozóicas a arqueanas da Província Borborema
Cristalino Metassedimento	Supergrupo Espinhaço (grupos Rio dos Remédios, Paraguaçu e Diamantina)
	Grupo Macaúbas
	Grupo Araxá
	Grupo Canastra
Cristalino Sul	Grupo Rio Preto
	Supergrupo Minas (grupos Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará)
	Supergrupo Rio das Velhas (grupos Nova Lima e Maquiné)
	Grupo Itacolomi
Cristalino Sul	Complexos gnáissico-migmatíticos diversos (Belo Horizonte, Porteirinha, Januária, Gavião, Paramirim, Mairi, Correntina, Boquira)
	Seqüências <i>greenstone belt</i> diversas (Contendas, Boquira, Urandi, Riacho de Santana e Porteirinha)

O Cristalino Norte representa a região típica de cristalino encontrado no semi-árido nordestino, que apresenta poços com baixas vazões e água com problemas de salinização. A

definição da sua área de ocorrência, neste estudo, considerou o critério climático e o critério geológico de províncias. Por isso, ele foi definido como incluindo as unidades geológicas de rochas fraturadas da Província Borborema associadas ao clima semi-árido. O conhecimento hidrogeológico disponível sobre este domínio aquífero não permite definir precisamente a extensão de ocorrência das áreas com salinização e baixas vazões. Por isso, é possível que áreas da porção mais norte dos sistemas aquíferos Cristalino-Metassedimento e Cristalino Sul, correspondentes à região semi-árida, apresentem características similares ao Cristalino Norte.

O Cristalino - Metassedimento teve seu conceito em relação a outros trabalhos (CODEVASF 1989, 2001) estendido para incluir, além do Supergrupo Espinhaço, outras unidades metassedimentares associadas às faixas proterozóicas brasileiras, como os grupos Araxá e Paranoá.

O Cristalino Sul inclui essencialmente rochas arqueanas e paleoproterozóicas representadas pelos supergrupos Minas e Rio das Velhas, complexos gnáissico-migmatíticos e seqüências *greenstone belts*. Embora as rochas incluídas neste sistema aquífero englobem seqüências de rochas metassedimentares, elas distinguem-se das rochas do sistema aquífero Cristalino - Metassedimento por serem mais antigas e apresentarem uma história de deformação diferente.

A Tabela 3 apresenta uma síntese das reservas exploráveis para o domínio Fraturado, também conhecido como Cristalino. Os valores de reserva destes sistemas aquíferos totalizam 12,7 m³/s e representam apenas 4% das reservas da bacia (318,4 m³/s).

Tabela 3 - Reservas exploráveis do domínio Fraturado.

Sistema Aquífero	Área de Recarga (km ²)	Precipitação (mm)		Reservas	
		Média	Faixa	Renovável ¹ (%)	Explorável ² (m ³ /s)
Cristalino Norte	80.434	759	550 - 1.550	1*	3,9
Cristalino - Metassedimento	56.360	1.005	650 - 1.550	1*	3,6
Cristalino Sul	79.896	1.018	550 - 1.550	1*	5,2
Total	216.690	---	---	---	12,7

¹ Relação entre escoamento de base e precipitação; ² 20% da reserva renovável; * Fonte: CODEVASF (2001).

O Cristalino Norte ocorre na região semi-árida da bacia e é recoberto por um delgado manto de intemperismo com espessura variando entre 3 e 5 m. Ele apresenta as menores vazões entre os sistemas aquíferos do domínio Fraturado, com média de 2 m³/h. A capacidade específica média é de apenas 0,223 m³/h/m (Tabela 4). Os poços são geralmente pouco profundos, variando entre 50 e 60 m, com média de 55 m, e são bastante comuns os problemas de salinização das águas, com sólidos totais dissolvidos variando entre 1.000 e 35.000 mg/L. A falta de critérios de locação de poços e de programas de manutenção das obras de captação torna muito elevada a quantidade de poços

abandonados e desativados nesta área, que chega em alguns estados do Nordeste a representar mais de 30% dos poços existentes.

Sobre as regiões de rocha fraturada, em que predominam maiores pluviosidades (região fora do semi-árido), o clima favorece o desenvolvimento de um espesso manto de intemperismo (10 m de espessura, podendo ultrapassar 100 m) sobre as rochas cristalinas. A produtividade e profundidade dos poços é maior que aquela do Cristalino Norte. Este é caso dos sistemas aquíferos Cristalino - Metassedimento e Cristalino Sul. Nestas regiões, a produtividade dos poços depende da presença de zonas fraturadas nas rochas e da sua conexão hidráulica com o manto de intemperismo. Os dois sistemas aquíferos, em termos de produtividade, apresentam valores bastante semelhantes de vazão e profundidade dos poços. Os valores médios de vazão dos poços nos sistemas aquíferos Cristalino - Metassedimento e Cristalino Sul são, respectivamente, de 7 e 8 m³/h. Cabe destacar que o sistema aquífero Cristalino - Metassedimento apresenta capacidade específica média superior ao Cristalino Sul.

Tabela 4 - Características dos poços do domínio Fraturado.

Sistema Aquífero	Vazão (m ³ /h)		Profundidade		Capacidade específica (m ³ /h/m)		Poços consultados
	Média	Faixa*	Média	Faixa*	Média	Faixa*	
Cristalino Norte	2	1 - 3	55	50 - 60	0,223	0,020 - 0,180	77
Cristalino - Metassedimento	7	2 - 9	78	62 - 91	0,610	0,058 - 0,278	49
Cristalino Sul	8	2 - 12	74	60 - 82	0,434	0,058 - 0,511	107

* Faixa entre os percentis de 25% e 75%

Domínio Fraturado-Cárstico

Este domínio corresponde aos aquíferos representados por rochas calcárias associadas a sedimentos ou metassedimentos. A água, neste caso, está localizada, principalmente, nas fraturas das rochas e ao longo dos planos de dissolução das rochas calcárias. Em regiões com grande presença de rochas calcárias e elevado grau de carstificação é comum o desenvolvimento de feições como sumidouros e dolinas (áreas de subsidência do terreno). A Tabela 5 apresenta as principais unidades geológicas que foram adotadas para compor os sistemas aquíferos.

Tabela 5 - Principais unidades geológicas dos sistemas aquíferos do domínio Fraturado-Cárstico.

Sistema Aquífero	Principais Unidades Geológicas	Idade	Espessura (m)
Bambuú-Caatinga	Grupo Bambuí (Minas Gerais) e	Neoproterozóico	2.500 ¹ (Bambuú)
	Grupo Una (Bahia)	(850 a 650 Ma.)	
Santana	Formação Caatinga	Quaternário (1,75 Ma.)	15 ² (Caatinga)
	Formação Santana	Cretáceo (135 Ma.)	200 ³

Fontes: ¹Alvarenga (1978); ²DNPM/CPRM (1981); ³ Assine 1992.

É importante destacar que, do ponto de vista de produção de água subterrânea, o Bambuí e Caatinga podem ser considerados um sistema aquífero único. A Formação Caatinga apresenta uma espessura de 15 m (DNPM/CPRM 1981), sendo constituída por rochas calcárias originadas a partir da dissolução de rochas carbonáticas mais antigas do Grupo Bambuí. Na área de ocorrência da Caatinga é possível observar que o aquífero é captado simultaneamente com o Bambuí.

O domínio Fraturado-Cárstico apresenta uma área de 146.227 km² e reservas explotáveis de 26,6 m³/s (Tabela 6), que representam 8% das reservas da bacia (318,4 m³/s). As reservas hídricas mais importantes estão concentradas no sistema aquífero Bambuí-Caatinga, o mais importante dentro do domínio.

Tabela 6 - Reservas explotáveis do domínio Fraturado-Cárstico.

Sistema Aquífero	Tipo de Aquífero	Área de Recarga (km ²)	Precipitação (mm)		Reservas	
			Média	Faixa	Renovável* (%)	Explotável** (m ³ /s)
Bambuí- Caatinga	Fraturado- Cárstico	72.225	1.194	750 - 1.550	2	10,9
	Fraturado	27.532	1.310	650 - 1.450	1 ¹	2,3
	Cárstico	40.400	936	650 - 1.450	5 ¹	12,0
	Cárstico (Caatinga)	6.070	687	550 - 750	5 ¹	1,3
	Total	146.227	---	---	---	26,5
Santana	Cárstico	662	658	550 - 850	5 ¹	0,1
Total		146.013	---	---	---	26,6

* Relação entre escoamento de base e precipitação; ** 20% da reserva renovável. ¹ CODEVASF (2001).

O sistema aquífero Bambuí-Caatinga possui uma área de 146.227 km², apresenta poços com vazão média de 11 m³/h e capacidade específica média de 3,619 m³/h/m (Tabela 7). Este aquífero, em termos de vazão e reservas, é aquele que apresenta maior potencial hídrico entre todos os sistemas aquíferos do domínio Fraturado-Cárstico.

Tabela 7 - Características dos poços do domínio Fraturado-Cárstico.

Sistema Aquífero	Vazão (m ³ /h)		Profundidade (m)		Capacidade específica (m ³ /h/m)		Poços consultados
	Média	Faixa*	Média	Faixa*	Média	Faixa*	
Bambuí- Caatinga	11	4 - 25	83	66 - 100	3,619	0,108 - 3,128	125
Santana	---	1 - 18 ¹	84 ¹	53 - 138 ¹	---	0,01 - 1,36 ¹	5

* Faixa entre os percentis de 25% e 75%. ¹ Fonte: DNPM/CPRM 1981. As faixas de valores apresentadas para vazão, profundidade e capacidade específica representam valores mínimos e máximos.

O sistema aquífero Bambuí-Caatinga já é intensamente explorado em várias regiões da bacia, com destaque para a bacia do Verde Grande, afluyente da margem direita do São Francisco, uma região de conflito de usos, e o Platô de Irecê, na Bahia. As duas representam áreas de intensa exploração da água subterrânea, principalmente para irrigação. Cabe destacar que por sua natureza cárstica e fraturada, o Bambuí-Caatinga é extremamente heterogêneo em termos de disponibilidade hídrica e produtividade de poços.

Em função da presença de rochas calcárias, o Bambuí-Caatinga pode ser dividido, em: fraturado (formações Jequitaí e Serra da Saudade, do Grupo Bambuí, e Formação Bebedouro, do Grupo Una), fraturado-cárstico (Subgrupo Paraopeba indiviso, do Grupo Bambuí, e formações Desidério, Mamona e Canabravinha) e cárstico (formações Sete Lagoas, Santa Helena e Lagoa do Jacaré, do Grupo Bambuí, formação Salitre, do Grupo Una, e Formação Caatinga). De forma geral, as áreas de maior produtividade dos poços correspondem às áreas cársticas, em que predominam rochas calcárias. Como mostra a Tabela 7, as áreas em que predomina o carste representam 32% da área total do Bambuí-Caatinga (146.227 km²). Uma significativa parte do Bambuí-Caatinga (19%) apresenta comportamento de aquífero tipicamente fraturado, comparável aos sistemas aquíferos Cristalino Sul e Cristalino-Metassedimento.

O sistema aquífero Santana está localizado na região da Chapada do Araripe e apresenta uma faixa de vazão dos poços entre 1 e 18 m³/h (DNPM/CPRM 1981). Apesar da pequena área dentro da bacia (662 km²), ele apresenta importância na região por estar situado em uma região semi-árida em que predomina a ocorrência do sistema aquífero Cristalino Norte, que possui poços com baixas vazões, situadas entre 1 e 3 m³/h.

Domínio Poroso

O domínio Poroso apresenta uma área total de 274.977 km² (43% da bacia) e 279,1 m³/s de reserva explotável (88% da bacia). Ele corresponde à área de ocorrência das rochas sedimentares, que inclui as coberturas terció-quadernárias, e dos aquíferos mais produtivos. A Tabela 8 apresenta as principais unidades geológicas que foram adotadas para compor os quatro sistemas aquíferos de maior extensão na bacia.

Tabela 8 - Principais unidades geológicas que compõem os sistemas aquíferos do domínio Poroso.

Sistema Aquífero	Principais Unidades Geológicas	Idade
Aluviões e Depósitos Litorâneos	Depósitos aluvionares	Quaternário (1,75 Ma.)
	Depósitos litorâneos	Quaternário (0,5 Ma.)
Dunas	Paleodunas	Quaternário (1,75 Ma.)
Cobertura Detrito-Laterítica	Depósitos colúvio-eluvionares Cobertura detrito-laterítica	Terciário - Quaternário (23,5 Ma.)
Urucuia-Areado	Urucuia	Cretáceo (96 Ma.)
	Areado	Cretáceo (135 Ma.)

As reservas hídricas dos sistemas aquíferos de maior extensão na bacia são estimadas em 269,7 m³/s (Tabela 9). Estes aquíferos são, predominantemente, livres e ocupam uma área de 255.013 km².

Tabela 9 - Reservas exploráveis dos sistemas aquíferos do domínio Poroso com extensão regional.

Sistema Aquífero	Tipo de Aquífero	Área de Recarga (km ²)	Precipitação (mm)		Reserva	
			Média	Faixa	Renovável ¹ (%)	Explorável ² (m ³ /s)
Aluviões e Depósitos Litorâneos	Livre	24.207	1.065	550 - 1.750	23,5**	38,6
Dunas	Livre	8.518	709	650 - 850	12*	4,6
Cobertura Detrito-Laterítica	Livre	117.306	1.016	550 - 1.550	12*	91,2
Urucuia-Areado	Livre	104.982	1.264	850 - 1.550	15***	135,3
Total	---	255.013	---	---	---	269,7

¹ Relação entre escoamento de base e precipitação; ² 20% da reserva renovável; * Fonte: CODEVASF (2001); ** Reserva renovável calculada como o produto da área (24.207 km²) pela variação anual do nível de água no aquífero (2,5 m) e pela porosidade efetiva (10%), os dois últimos parâmetros apresentados pela CODEVASF (2001); *** Dado obtido pela ANA (2003) para o aquífero Urucuia.

O sistema aquífero Urucuia-Areado é o mais importante no domínio Poroso, em função da sua ampla ocorrência (104.982 km²) e por apresentar a maior reserva hídrica de toda a bacia (135,3 m³/s). Ele recobre, na sua maior parte, rochas do Grupo Bambuí, que compõem o sistema aquífero homônimo. A unidade é formada por arenitos muito finos a médios com intercalações de conglomerados, folhelhos e siltitos. A espessura média do Urucuia é de 400 m e do Areado é de 200 m (Costa 1994). É

interessante observar que na região do oeste baiano predominam as rochas do Urucuia em espessura e extensão, enquanto que no oeste mineiro, as do Areado. Especialmente na região baiana, o sistema aquífero tem sido amplamente utilizado na irrigação. A vazão média dos poços do sistema aquífero é de 10 m³/h e a capacidade específica média de 0,972 m³/h/m (Tabela 10).

Tabela 10 - Característica dos poços do sistema aquífero Urucuia-Areado.

Sistema Aquífero	Vazão		Profundidade (m)		Capacidade específica (m ³ /h/m)		Poços consultados
	Média	Faixa*	Média	Faixa*	Média	Faixa*	
Urucuia- Areado	10	6 - 15	89	50 - 117	0,972	0,186 - 1,154	28

Os dados apresentados são valores regionais obtidos pela ANA (2003) e não correspondem, necessariamente, a poços situados apenas na Bacia do São Francisco.

É interessante destacar a importância do aquífero Urucuia-Areado na manutenção do escoamento de base de rios da margem esquerda do São Francisco como Carinhanha, Corrente e Grande. Estudo realizado no rio das Fêmeas, tributário do rio Grande durante um ano hidrológico (2001 a 2002), mostrou que mais de 90% do escoamento superficial era contribuição do aquífero (ANA 2003).

A produtividade dos sistemas aquíferos Aluviões e Depósitos Litorâneos, Dunas, Cobertura Detrito-Laterítica ainda não foi bem caracterizada. Estes aquíferos são, normalmente, explorados por poços rasos (tipo cacimba) em que a questão de proteção sanitária da obra de captação é sempre importante. No banco de poços SIAGAS, da CPRM, consultado para caracterização da produtividade dos aquíferos não havia poços que permitissem definir valores médios representativos. Além disso, são escassos os dados sobre o potencial hídrico destes sistemas aquíferos.

O sistema aquífero Aluvião e Depósitos Litorâneos, apesar da grande extensão (24.207 km²), ocorre restrito à calha dos principais rios da bacia. Os depósitos litorâneos estão limitados à região da foz do rio São Francisco e são, portanto, pouco expressivos na bacia. Os aluviões são, predominantemente, formados por areia fina a média com componentes sílticas e argilas, apresentando variações verticais e laterais (CODEVASF 2001). As espessuras são muito variáveis, podendo atingir 60 m, e as extensões aluviais mais importantes como aquífero variam entre 100 e 300 m (CODEVASF 2001). As profundidades dos poços variam, em geral, entre 5 e 10 m e as vazões entre 10 e 30 m³/h (Tabela 11).

Tabela 11 - Características dos poços dos sistemas aquíferos.

Sistema Aquífero	Faixa de vazão (m³/h)	Faixa de profundidade (m)
Aluviões e Depósitos Litorâneos	10 - 30	5 - 10
Cobertura Detrito-Laterítica	10 - 20	10 - 50

Fonte: CODEVASF (1989).

O sistema aquífero Dunas ainda é muito pouco estudado e seu potencial hídrico desconhecido. Está situado na margem esquerda do Médio São Francisco, na região semi-árida, em uma área pouco povoada. A sua potencialidade pode ser considerada boa, em função da sua composição, predominantemente, representada por areia fina a média, com a presença de níveis argilosos. As espessuras são desconhecidas, estimando-se que variam entre 100 e 200 m (CODEVASF 2001), e as vazões dos poços variam entre 3 e 14 m³/h (DNPM/CPRM 1981).

O sistema aquífero Cobertura Detrito-Laterítica ocupa uma área de 117.306 km², sendo o mais extenso do domínio poroso. Ele representa basicamente a alteração das rochas sotopostas e, por isso, caracteriza-se por uma grande variedade vertical e lateral das suas características hidráulicas. De forma geral, ele é representado por sedimentos areno-argilosos parcialmente lateritizados (DNPM/CPRM 1981), e as suas maiores expressões estão entre as serras do Boqueirão e do Estreito, na margem direita do São Francisco (entre Bom Jesus da Lapa e Barra) e nas bacias dos rios Grande e Preto. As vazões obtidas estão entre 10 e 20 m³/h para profundidades entre 10 e 50 m (CODEVASF 2001).

Adicionalmente, dentro do domínio Poroso, existem 3 áreas de ocorrência de aquíferos na Bacia do São Francisco. São elas as bacias sedimentares do Parnaíba, Araripe e do Tucano-Jatobá. Sua importância está associada à presença de bons aquíferos em uma região de clima semi-árido na qual a disponibilidade hídrica superficial normalmente é pequena. Merece também destaque a ocorrência do sistema aquífero Barreiras na região próxima à foz do São Francisco. A Tabela 12 apresenta as principais unidades geológicas que foram adotadas para compor os sistemas aquíferos de maior expressão na região semi-árida da bacia.

Tabela 12 - Principais unidades geológicas que compõem os sistemas aquíferos do domínio Poroso com expressão local na região semi-árida da bacia.

Bacia Sedimentar	Sistema Aquífero	Principais Unidades	Idade	Espessura (m)
Bacia do Parnaíba	Cabeças	Formação Cabeças	Devoniano (389 Ma.)	300 ¹
	Serra Grande	Grupo Serra Grande	Siluriano (435 Ma.)	500 ¹
Bacia do Araripe	Exu	Formação Exu	Cretáceo (96 Ma.)	350 ²
Bacia do Tucano-Jatobá	Marizal	Formação Marizal	Cretáceo (115 Ma.)	200 ¹
	São Sebastião	Formação São Sebastião	Cretáceo (135 Ma.)	3.000 ¹
	Ilhas	Grupo Ilhas	Cretáceo (135 Ma.)	2.500 ¹
	Inajá	Formação Inajá	Devoniano (410 Ma.)	300 ¹
	Tacaratu (Mauriti)	Formação Tacaratu Formação Mauriti	Siluriano (435 Ma.)	200 ¹
-	Barreiras	Grupo Barreiras	Terciário (33,7 Ma.)	60 ¹

¹ Fonte: Costa 1994; ² Fonte: Assine 1992.

Os principais sistemas aquíferos da região semi-árida apresentam reservas explotáveis totais de 6,8 m³/s (Tabela 13). Todos eles são explotados regionalmente sob condições livres e confinadas.

Tabela 13 - Reservas explotáveis dos sistemas aquíferos do domínio Poroso com expressão local na região semi-árida da Bacia do São Francisco.

Sistema Aquífero	Tipo de Aquífero	Área de Recarga (km ²)	Precipitação (mm)		Reserva	
			Média	Faixa	Renovável ¹ (%)	Explotável ² (m ³ /s)
Cabeças	Livre - Confinado	171	987	950 - 1.050	3*	0,03
Serra Grande	Livre - Confinado	54	950	950 - 1.050	7*	0,04
Exu	Livre - Confinado	2.881	689	550 - 950	2**	0,3
Marizal	Livre - Confinado	4.822	583	550 - 850	7***	1,3
São Sebastião	Livre - Confinado	153	654	550 - 750	12***	0,1
Ilhas	Livre - Confinado	1.155	650	550 - 850	7***	0,3
Inajá	Livre - Confinado	444	725	650 - 750	7***	0,1
Tacaratu (Mauriti)	Livre - Confinado	2.851	823	550 - 1.150	12***	1,8
Barreiras	Livre - Confinado	1.972	1.477	1.050 - 1.650	15***	2,8
Total	---	14.503	---	---	---	6,8

¹ Relação entre escoamento de base e precipitação; ² 20% da reserva renovável; * ANA (2003); ** Baseado em valores obtidos para o aquífero Missão Velha, situado na Chapa do Araripe (ANA 2003); *** Fonte: CODEVASF (2001).

A Bacia do Parnaíba tem uma ocorrência muito restrita na bacia, com uma área aproximada de 400 km². Entretanto, os sistemas aquíferos Serra Grande e Cabeças apresentam grande potencial hídrico. O primeiro é formado por conglomerados que passam para arenitos finos a médios com intercalações de folhelhos e siltitos. O segundo é formado por arenitos grossos com níveis intercalados de folhelhos que passam para arenitos finos com alguns níveis siltosos e argilosos. Entre estas duas unidades existe a formação Pimenteiras, que representa a unidade confinante do sistema aquífero Serra Grande e que é constituída, basicamente, por folhelhos e siltitos. As vazões dos poços localizados nos sistemas aquíferos Serra Grande e Cabeças variam de 3 a 24 m³/h (Tabela 14). Merece destaque o sistema aquífero Cabeças, que é o mais produtivo, com média de vazão de 23 m³/h e capacidade específica média de 3,574 m³/h/m.

Tabela 14 - Características dos poços dos sistemas aquíferos do domínio Poroso com expressão local na região semi-árida da Bacia do São Francisco.

Sistema Aquífero	Vazão (m ³ /h)		Profundidade (m)		Capacidade específica (m ³ /h/m)		Poços consultados
	Média	Faixa*	Média	Faixa*	Média	Faixa*	
Cabeças	23	5 - 24	158	91 - 180	3,574	1,199 - 4,033	121
Serra Grande	11	3 - 14	166	120 - 200	1,628	0,136 - 1,569	183
Exu	3 ¹	1 - 7 ¹	95 ¹	47 - 143 ¹	1,280 ¹	----	12 ¹
Marizal	18	7 - 21	135	98 - 174	2,066	0,495 - 2,960	85
São Sebastião	35	11 - 35	155	100 - 199	2,548	0,528 - 3,131	168
Ilhas	42	5 - 35	141	50 - 200	1,347	0,326 - 1,880	30
Inajá	7	3 - 6	134	103 - 145	0,685	0,129 - 0,383	37
Tacaratu (Mauriti)	10	3 - 10	119	70 - 130	0,710	0,147 - 0,798	30
Barreiras	25	4 - 25	75	35 - 97	1,935	0,183 - 2,786	84

Os dados apresentados para os sistemas aquíferos Cabeças, Serra Grande, Marizal, São Sebastião, Ilhas, Inajá e Barreiras são dados regionais obtidos pela ANA (2003) e não correspondem necessariamente a poços situados apenas na Bacia do São Francisco.* Faixa entre os percentis de 25% e 75%. ¹ Fonte: DNPM/CPRM 1981. As faixas de valores de vazão e profundidade apresentados correspondem a mínimos e máximos.

Na área da Bacia do Araripe merecem destaque os sistemas aquíferos Exu e Santana (Figura 2). Eles são importantes por apresentarem bom potencial para produção de água dentro de um contexto regional de clima semi-árido e de ocorrência predominante do sistema aquífero Cristalino Norte, que

apresenta poços com baixas vazões e problemas de salinização. Na região, ocorrem outras unidades aquíferas como Missão Velha, mas com área muito pequena na Bacia do São Francisco.

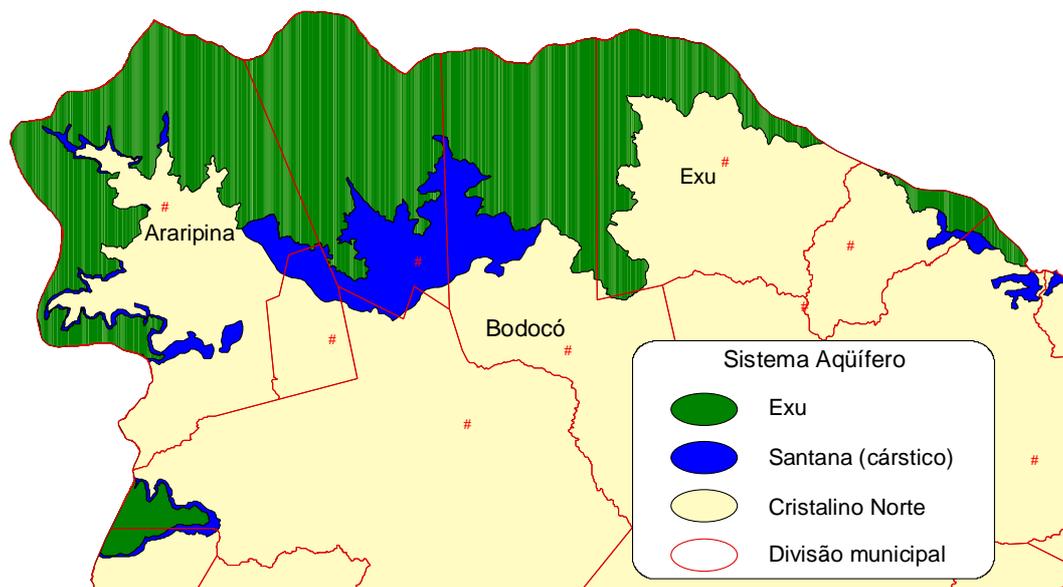


Figura 2 - Principais sistemas aquíferos da Bacia do Araripe na Bacia do São Francisco.

O sistema aquífero Santana é do tipo cárstico e já foi apresentado anteriormente, dentro do domínio Fraturado-Cárstico. O sistema aquífero Exu possui uma espessura média de 350 m e é composto por arenitos finos a médios associados a ritmitos argilo-siltosos que passam para arenitos médios a grossos no topo (Assine 1992). A faixa de vazão dos poços está entre 1 e 7 m³/h e a capacidade específica média é de 1,280 m³/h/m.

A Bacia do Tucano-Jatobá apresenta uma área de 12.860 km² contém importantes sistemas aquíferos que são explorados de forma livre e confinada (Figura 3).

O sistema aquífero Tacaratu (Mauriti) representa o agrupamento de unidades com características, quanto ao tipo de rocha, muito semelhantes, que ocorrem na Bacia do Jatobá (Formação Tacaratu), Bacia do Araripe (Tacaratu ou Mauriti ou Cariri) e algumas outras bacias sedimentares menores como, por exemplo, a do Salgueiro. Ele ocupa uma área de 2.851 km², possui uma espessura média de 200 m (Costa 1994) e é formado por arenitos de granulometria variada, de grossos a finos, com intercalações de conglomerados e folhelhos. Ocorre na borda leste da Bacia do Tucano-Jatobá e forma um relevo de serras, que se destacam na planície do rio São Francisco e áreas marginais (Bahia 1996). Os poços apresentam vazão média de 10 m³/h e a capacidade específica média do sistema aquífero é de 0,710 m³/h/m.

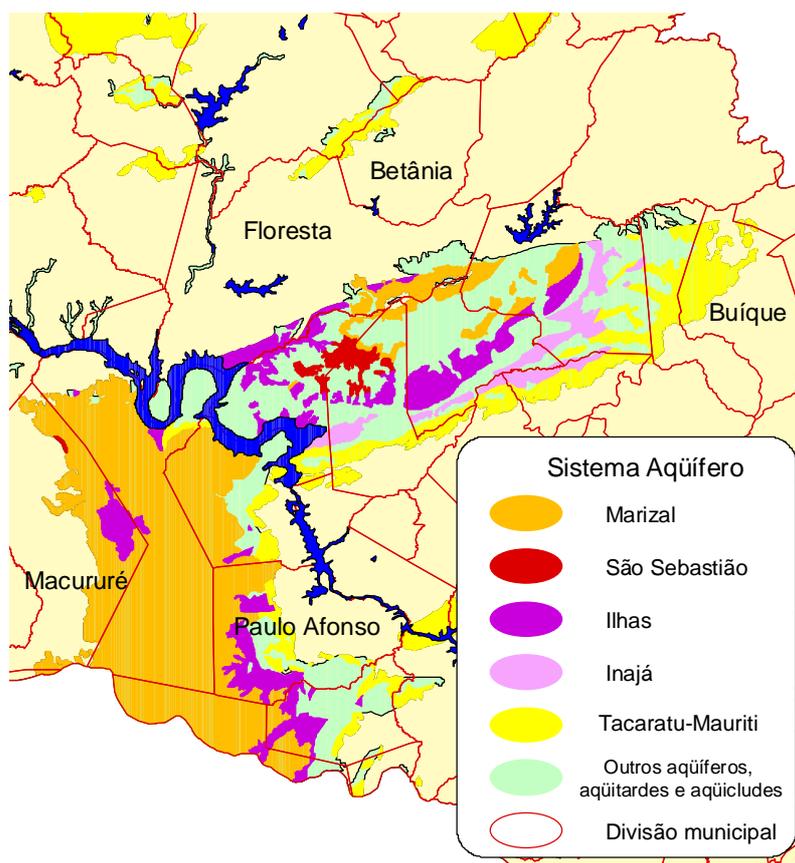


Figura 3 - Principais sistemas aquíferos da Bacia do Tucano-Jatobá na Bacia do São Francisco.

O sistema aquífero Inajá apresenta espessura de 300 m (Costa 1994), sendo constituído basicamente por arenitos finos com intercalações de folhelhos e siltitos. Ele ocorre em uma área de 444 km². A vazão média dos poços é de 7 m³/h e a capacidade específica média é de 0,685 m³/h/m.

O sistema aquífero Ilhas é constituído por arenitos finos e sílticos, e folhelhos (Bahia 1996). Apresenta uma espessura de 2.500 m (Costa 1994) e área de recarga de 1.155 km². A vazão média dos poços é elevada, com média de 42 m³/h, e a capacidade específica média de 1,347 m³/h/m. A grande alternância de rochas arenosas e argilosas dentro do pacote sedimentar cria condições para o desenvolvimento de condições confinadas dentro do sistema aquífero.

Os sistemas aquíferos com maior produtividade, na Bacia do Tucano-Jatobá, são o São Sebastião e Marizal. Eles são bastante utilizados no abastecimento das populações da região.

O sistema aquífero São Sebastião é formado por arenitos finos a grossos intercalados por argilas e folhelhos (Bahia 1996), e tem ocorrência restrita, em superfície, à Bacia do Jatobá, com uma área de recarga de 153 km². A sua importância deve-se ao fato de ser um aquífero explorado, principalmente, sob condições confinadas. A média de vazões é elevada, com um valor de 35 m³/h, e a capacidade específica média é a mais elevada entre os sistemas aquíferos, com 2,548 m³/h/m.

O sistema aquífero Marizal é representado por arenitos e conglomerados e, subordinadamente, folhelhos e siltitos, e apresenta uma espessura de 200 m (Costa 1994). Ele

ocorre, predominantemente, na Bacia do Tucano. Ele é o aquífero com maior área de recarga (4.822 km²) na Bacia do Tucano-Jatobá, sendo explorado sob condições livres e confinadas. A média de vazão dos poços é de 18 m³/h e a capacidade específica do aquífero é alta, de 2,066 m³/h/m.

O sistema aquífero Barreiras está situado no Baixo São Francisco, próximo à região da foz. Ele é formado por arenitos e conglomerados com intercalações argilosas, possui espessura de 60 m (Costa 1994) e área de recarga de 1.972 km². Apresenta poços com alta vazão média (25 m³/h) e capacidade específica média de 1,935 m³/h/m.

A Bacia do São Francisco possui diversas unidades geológicas cujo potencial hídrico é desconhecido ou que, pelas características de tipo de rocha, com predomínio de argilitos, siltitos e folhelhos, são consideradas pouco favoráveis a exploração, podendo constituir-se aquitardes ou aquicludes. Algumas destas unidades geológicas que apresentam potencial hídrico, em função de suas características de tipo de rocha, são o Grupo Mata da Corda (área de 4.196 km²), da Bacia do Urucuia-Areado, em que na sua parte superior ocorrem arenitos finos e grossos e conglomerados, o Grupo Brotas (área de 791 km²), da Bacia do Tucano-Jatobá, que apresenta folhelhos e arenitos conglomeráticos, e o Grupo Perucaba (área de 292 km²), da Bacia Sergipe-Alagoas, constituído por arenitos finos, seguidos por folhelhos vermelhos e arenitos médios a grossos. É importante destacar que estas unidades e outras situadas nas bacias sedimentares podem eventualmente constituir bons aquíferos, especialmente nas porções com maior contribuição arenosa. Na ausência de dados sobre recarga destes aquíferos, foi adotado um valor de 5% como taxa de recarga (relação entre escoamento de base / precipitação), que pode ser considerado um valor conservador para aquíferos porosos. Para uma área total destas unidades de 5.481 km² na bacia, foi estimado um valor de reserva explorável de 2,7 m³/s.

A Figura 4 mostra o mapa hidrogeológico da Bacia do São Francisco, que apresenta os principais sistemas aquíferos da bacia e uma síntese dos valores de reservas hídricas e de produtividade dos poços.

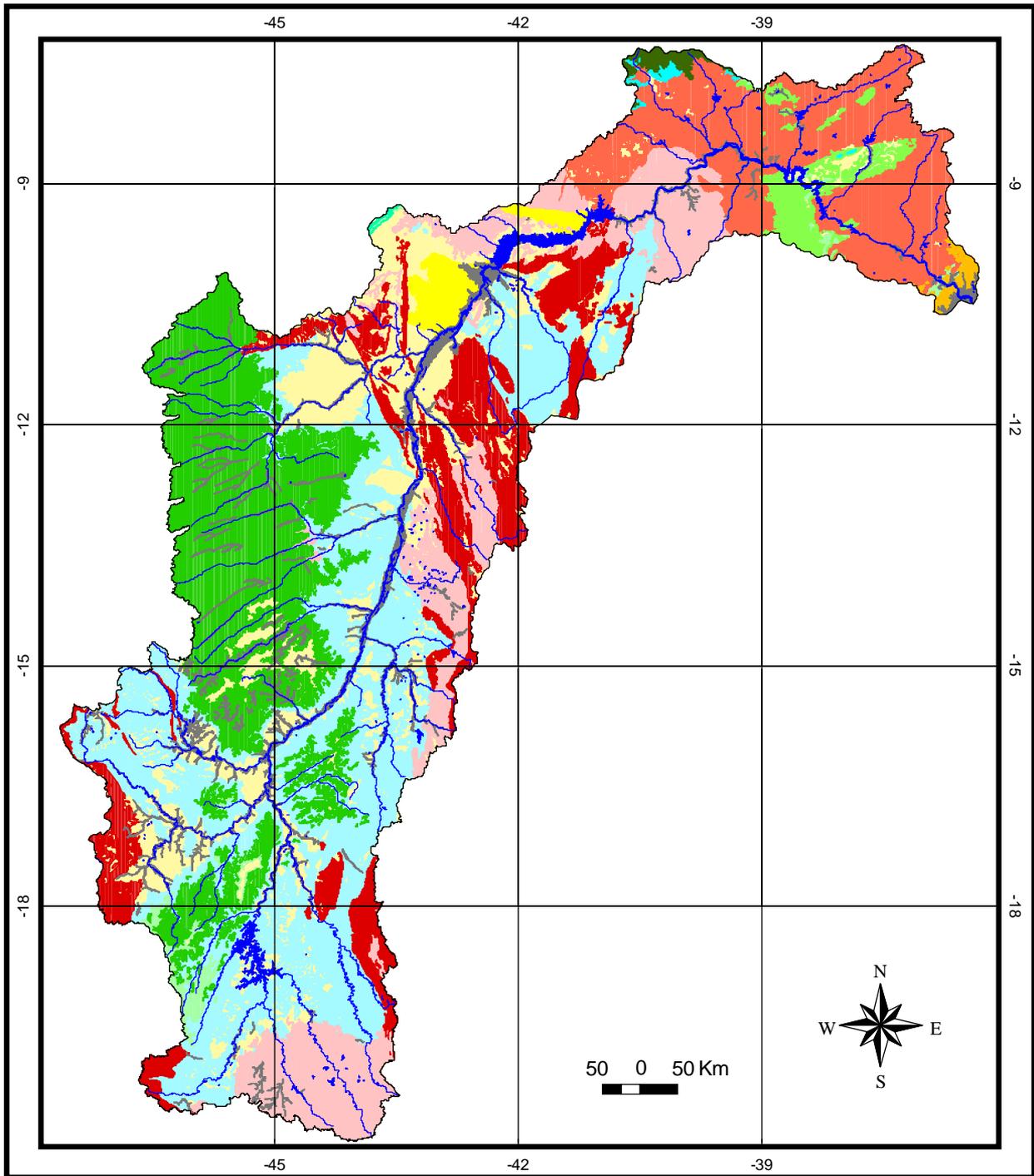


Figura 4 - Mapa hidrogeológico na Bacia do São Francisco.

(Continua...)

(Continuação da Figura 4 - Mapa hidrogeológico na Bacia do São Francisco.)

LEGENDA

Domínio Aquífero	Sistema Aquífero	Símbolo	Área de Recarga (km ²)	Vazão dos poços (m ³ /h)	Capacidade específica (m ³ /h/m)	Reserva Explotável* (m ³ /s)
Poroso	Aluviões e Depósitos Litorâneos		24.207	10 - 30 ¹	---	38,6
	Dunas		8.518	---	---	4,6
	Cobertura Detrítico-laterítica		117.306	10 - 20 ¹	---	91,2
	Barreiras		1.972	4 - 25	0,183 - 2,786	2,8
	Marizal		4.822	7 - 21	0,495 - 2,960	1,3
	São Sebastião		153	11 - 35	0,528 - 3,131	0,1
	Ilhas		1.155	5 - 35	0,326 - 1,880	0,3
	Inajá		444	3 - 6	0,129 - 0,383	0,1
	Tacaratu (Mauriti)**		2.851	3 - 10	0,147 - 0,798	1,8
	Urucuia-Areado		104.982	6 - 15	0,186 - 1,154	135,3
	Exu		2.881	1 - 7 ²	---	0,3
	Cabeças		171	5 - 24	1,199 - 4,033	0,03
	Serra Grande		54	3 - 14	0,136 - 1,569	0,04
	Aquíferos menos importantes, aquícludes e aquíardes		5.481	---	---	2,7
Fraturado- Cárstico	Santana		662	1 - 18 ²	0,01 - 1,36 ²	0,1
	Bambuí-Caatinga		146.227	4 - 25	0,108 - 3,128	26,5
Fraturado	Cristalino - Metassedimento		56.360	2 - 9	0,058 - 0,278	3,6
	Cristalino Sul		79.896	2 - 12	0,058 - 0,511	5,2
	Cristalino Norte		80.434	1 - 3	0,020 - 0,180	3,9

¹ Fonte: CODEVASF 1989; ² Fonte: DNPM/CPRM 1981. * Considerada como 20% da reserva renovável (escoamento de base dos rios). ** A Formação Mauriti é considerada cronocorrelata da Formação Tacaratu e ocorre na Bacia do Jatobá e na Bacia do Araripe.

CONCLUSÕES

A disponibilidade hídrica subterrânea na bacia foi estimada em 318,4 m³/s. Estas reservas foram consideradas como representando 20% das reservas reguladoras. Os valores de reservas calculados representam uma primeira aproximação e devem ser melhorados em função, principalmente, da carência de estudos sobre taxas de recarga dos aquíferos na bacia.

O domínio Fraturado, com área de 216.690 km², possui uma reserva explotável de 12,7 m³/s. Os sistemas aquíferos Cristalino Sul e Cristalino Metassedimento apresentam melhor

produtividade, em termos de vazão média dos poços (6 a 8 m³/h), do que o Cristalino Norte, que caracteriza-se pelas baixas vazões (média de 2 m³/h) e problemas de salinização da água.

O domínio Fraturado-Cárstico possui área total de 146.889 km² e reserva explotável de 26,6 m³/s, sendo composto pelos sistemas aquíferos Bambuí-Caatinga e Santana. O sistema aquífero Bambuí-Caatinga é o mais importante. Ele ocupa uma área de 146.227 km², possui reservas hídricas de 26,5 m³/s e apresenta uma média de vazão dos poços de 10 m³/h.

O domínio Poroso ocupa uma área de 274.997 km² e possui reservas explotáveis de 286,7 m³/s. Embora ele ocupe 43% da área da bacia, possui 88% das reservas hídricas subterrâneas e apresenta os principais sistemas aquíferos. Dentro deste domínio, existem quatro sistemas aquíferos de extensão regional na bacia. Os sistemas aquíferos regionais dos Aluviões e Depósitos Litorâneos (24.207 km² e reservas explotáveis de 38,6 m³/s), Dunas (8.518 km² e reservas explotáveis de 4,6 m³/s), Cobertura Detrito-Laterítica (117.306 km² e reservas explotáveis de 91,2 m³/s) são ainda pouco estudados e seu potencial hídrico pouco conhecido. Estudos que avaliem melhor o potencial hídrico destes sistemas aquíferos são necessários. O sistema aquífero mais importante é o Urucuia-Areado, que possui área de 104.982 km² e reservas explotáveis de 135,3 m³/s, que representam 41% da disponibilidade hídrica subterrânea total da bacia.

Na região semi-árida da Bacia do São Francisco existem importantes aquíferos do domínio Poroso, que representam importante alternativa à escassez de águas superficiais. Estes sistemas aquíferos estão situados em três bacias sedimentares: Parnaíba (sistemas aquíferos Serra Grande e Cabeças), Araripe (sistemas aquíferos Exu e Santana) e Tucano-Jatobá (sistemas aquíferos: Tacaratu, Inajá, Ilhas, Marizal e São Sebastião). Considerando que a região está situada em um contexto de semi-árido e de predomínio do sistema aquífero Cristalino Norte, as vazões possíveis de serem obtidas em poços nestes sistemas são muito importantes. Merece destaque a ocorrência no domínio Poroso, na região próxima à foz do São Francisco, do sistema aquífero Barreiras.

A Bacia do São Francisco possui importantes sistemas aquíferos, que podem atender às demandas da região de forma complementar aos mananciais superficiais ou até integral. Os sistemas aquíferos Bambuí-Caatinga, Urucuia-Areado e aqueles localizados na Bacia do Tucano-Jatobá já são utilizados para atender principalmente às demandas humana e de irrigação. Apesar do grande potencial hídrico, são ainda escassos os estudos hidrogeológicos em escala regional. Em áreas de grande demanda por água subterrânea, como Irecê na Bahia, Bacia do rio Verde Grande (sistema aquífero Bambuí-Caatinga), e região do Oeste Baiano (sistema aquífero Urucuia-Areado) já são necessários estudos de detalhe para subsidiar o uso sustentável dos recursos hídricos subterrâneos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Nota Técnica**. Ref. **Principais sistemas aquíferos do Brasil**. Nota Técnica/025/SPR/2003. Brasília, 2003. 14 p.
- [2] AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco. Subprojeto 3.2. – Uso conjunto das águas superficiais e subterrâneas da sub-bacia do rio das Fêmeas - BA. **Resumo executivo do relatório final**: programa de ações estratégicas para o gerenciamento integrado da bacia do rio São Francisco e da sua zona costeira - PAE: Brasília: ANA, 2003. 40 p.
- [3] ALVARENGA, C.J.S. DE. **Geologia e prospecção dos grupos Bambuí e Paranoá na Serra São Domingos - MG**. 1978. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília.
- [4] ASSINE, M.L. Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 22, n. 3, p. 289-300. 1992.
- [5] BAHIA Superintendência de Recursos Hídricos. **Plano diretor de Recursos Hídricos das Bacias da Margem Direita do Submédio São Francisco** - Documento Síntese. Salvador: SRH/Geohidro. Salvador, 1996.
- [6] COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DO VALE DO SÃO FRANCISCO. **Plano diretor para o desenvolvimento do Vale do São Francisco - PLANVASF**. Brasília: CODEVASF, 1989.
- [7] COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DO VALE DO SÃO FRANCISCO **Estudo macrodiagnóstico da região nordeste do Vale do São Francisco. Estados da Bahia, Sergipe, Alagoas e Pernambuco**. (Relatório II). Brasília, 2001.
- [8] COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS **Mapa geológico do Brasil**. (Escala: 1:2.500.000). CD-ROM. Rio de Janeiro:CPRM, 2001.
- [9] COSTA, W.D. Água subterrânea e o desenvolvimento sustentável do semi-árido nordestino. In: **Projeto ÁRIDAS**. (GT II – Recursos Hídricos, Versão Preliminar). Brasília: Secretaria de Planejamento, Orçamento e Coordenação da Presidência da República, 1994. 53 p.
- [10] DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL; COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS **Mapa hidrogeológico do Brasil**. (Escala: 1:5.000.000). Recife:CPRM, 1981.