

Domínios hidrogeológicos como critério de identificação de territorialidades-chaves na bacia do rio São Francisco¹

Antônio Pereira Magalhães Júnior
(IGC/UFMG; Doutor em Desenvolvimento Sustentável pela
Universidade de Brasília)

Ralfo Edmundo da Silva Matos
(ICG/UFMG; Doutor em Demografia pela Universidade Federal de Minas Gerais)

Miguel Fernandes Felipe
(IGC/UFMG; Graduando em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais)

Glauco Umbelino
(CEDEPLAR/UFMG; Doutorando em Demografia pela
Universidade Federal de Minas Gerais)

Resumo

A bacia do São Francisco, em toda sua diversidade, apresenta espaços que se articulam em redes. Os mais importantes podem ser considerados como territorialidades-chaves e são, em um contexto físico-territorial, singularizados por características ambientais distintas. A água, em termos de sua disponibilidade natural, pode ser entendida como um elemento primordial para a compreensão da ocupação histórica da bacia e de seu processo de estruturação econômica e demográfica. Este artigo busca identificar as territorialidades-chaves físico-territoriais da bacia a partir de uma configuração própria de domínios hidrogeológicos, entendidos aqui como a principal característica física que, em associação com os outros elementos – clima, solo, relevo, vegetação, geologia e hidrografia –, condiciona a disponibilidade hídrica natural e, conseqüentemente, influencia a interação sociedade-água.

Abstract

The São Francisco Basin, in all its diversity, shows spaces that are articulated in nets. The most important of them could be considered as key-territorialities. In a physical-territorial context, these localities have different environmental characteristics that singularize them. The water, in terms of its natural availability, can be understood as a primordial element to the comprehension of the basin's historical occupation and its economic and demographic structuring processes. This article tries to identify the physical-territorial key-territorialities of the basin by using hydrogeological domains, understood as the main physical characteristic that, in association with other elements such as climate, soil, relief, vegetation, geology and hydrography, determines the natural hydrologic availability and consequently influences the interaction society-water.

¹Trabalho desenvolvido no projeto "População e territorialidades-chaves na rede de cidades da bacia do São Francisco", com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG); projeto 8532.

Palavras-chave hidrogeologia; meio ambiente; população; São Francisco.

Key words *hydrogeology; environment; population; São Francisco.*

magalhaesufmg@yahoo.com.br
ralfo@ufmg.br
felippego@yahoo.com.br

Introdução

No passado, os vários espaços contidos na bacia do rio São Francisco ostentavam uma importância econômica e geopolítica diferenciada em relação ao restante do Brasil. As suas áreas de expansão socioeconômica e demográfica eram as mais importantes do país, bem mais do que as da bacia do Paraná, por exemplo, área que só ganhou destaque após o expressivo desenvolvimento de São Paulo e do sul do Brasil ao longo do século XX. O rio São Francisco e seus tributários eram os principais eixos de ocupação, gerando um processo de organização do espaço ao longo das artérias hidrográficas. A ocupação humana da bacia sempre foi marcada por impactos ambientais advindos de atividades diversas como a mineração e a agropecuária, mas durante séculos esses impactos apresentaram uma escala e uma visibilidade que não chegavam a preocupar os diferentes setores da sociedade brasileira.

O século XXI é marcado pela explosão de estudos e notícias sobre a degradação ambiental do planeta, o mesmo ocorrendo no Brasil. Questões de fundo ambiental surgem como indicadores críticos, várias delas articuladas com a demanda atual e futura de recursos hídricos, com os problemas de escassez de água em quantidade e qualidade. Nesse contexto, o rio São Francisco volta aos fóruns nacionais e regionais, em face das possibilidades de intervenção para sua transposição hídrica, para revitalização de sua bacia ou por força da necessidade de redução da pobreza e de melhoria das condições de vida das suas populações ribeirinhas. Com a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), promulgada em 1997, grande parte das questões ambientais da bacia passou a ter maior visibilidade, sendo também objeto de debates e decisões no âmbito de comitês de bacia hidrográfica e de organizações não-governamentais, dentre outros.

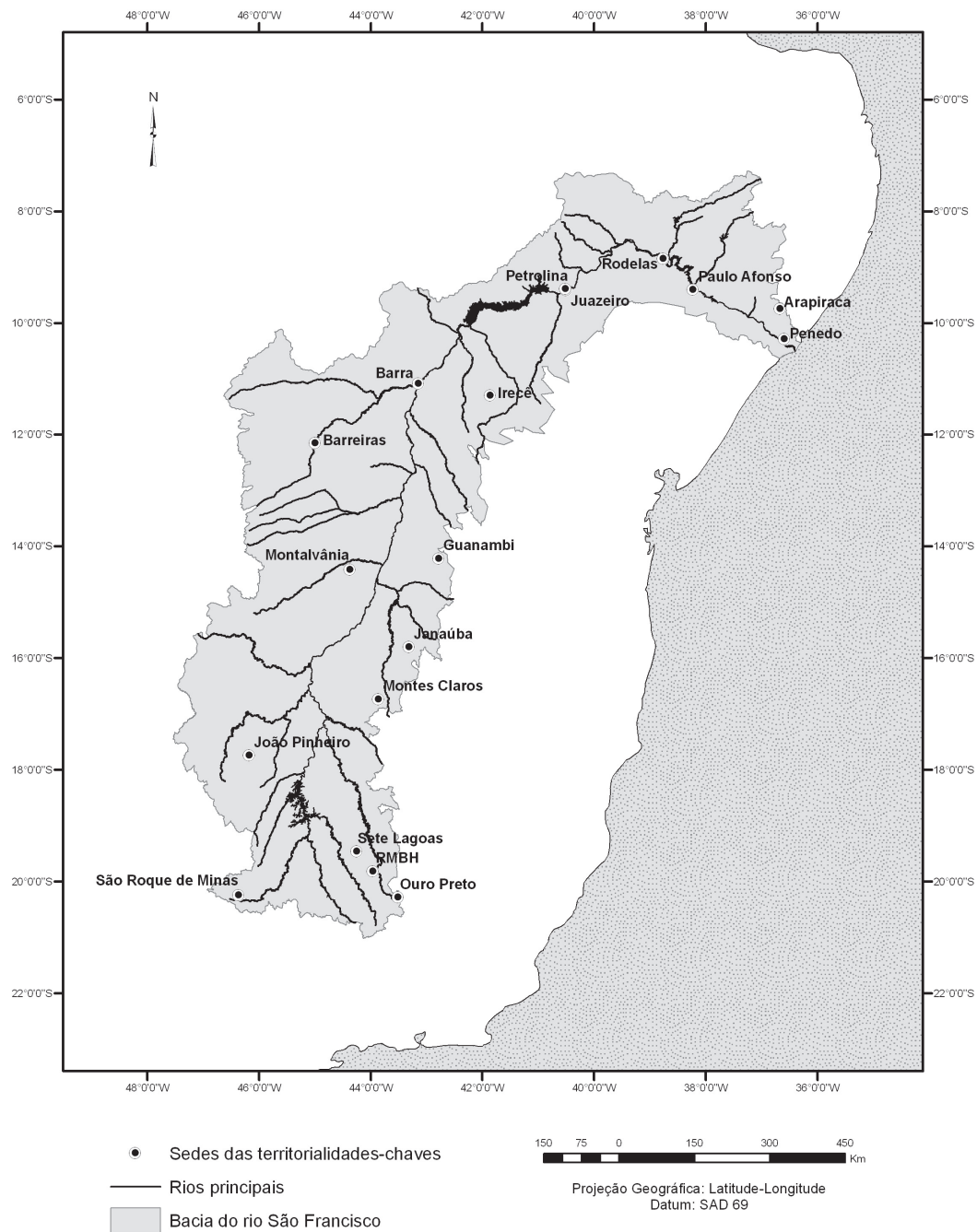
Ocupando uma área de aproximadamente 634.000 km² – equivalente a 8% do território brasileiro – e estendendo-se por uma faixa latitudinal de aproximadamente treze graus (MAPA 1), a bacia do rio São Francisco apresenta uma rica história de ocupação do ponto de vista físico-territorial e econômico-social, o que explica parte de sua grande diversidade geográfica e ambiental.

A despeito de toda essa sua diversidade, a bacia apresenta espaços de relativa e aparente homogeneidade, aqui denominados “territorialidades-chaves”, que podem ser definidos de acordo com diferentes critérios geográficos. Territorialidades-chaves são, portanto, espaços de tamanho variável que possuem importância estratégica na rede de localidades centrais da região/bacia do São Francisco, ou no seu sistema físico-geográfico, e nos quais se formam os diferentes territórios.

A análise fundada na espacialidade possui a singular capacidade de dar visibilidade única, em termos metodológicos, à realidade social. Isto porque [...] exhibe diversos tipos de impactos sócio-ambientais que, no longo prazo, podem comprometer qualquer esforço de desenvolvimento sustentável. (MATOS, 2004, p. 45).

A categoria “território” é central na Geografia, embora ao longo do tempo as várias correntes teóricas tenham adicionado mais complexidade ao termo. Sistemas institucionais, culturas, estruturas materiais, vida afetiva e simbólica, tudo isso implica formas de territorialidade. Antes, território associava-se diretamente à idéia de soberania, espaço onde o poder se constituía. Hoje, o conceito envolve diversas escalas, mas continua sendo o espaço onde mecanismos de controle necessários à vida social são desenvolvidos, como formula Robert Sack (1986).

MAPA 1 Localização da bacia do rio São Francisco



Fonte: Elaboração dos autores, com base cartográfica do IBGE (2000a)

A definição e a espacialização de territorialidades-chaves da bacia do rio São Francisco a partir da investigação do quadro físico regional constituíram o objetivo principal deste trabalho. Procurou-se identificar os critérios físicos mais apropriados para a definição de territorialidades, ou seja, aqueles com maior potencial de explicação da configuração e organização espacial de áreas com certa homogeneidade geográfica. Os aspectos aqui chamados de físico-territoriais² são tratados considerando as limitações impostas pelo tamanho da bacia, a qual apresenta uma grande diversidade de paisagens, resultante da interação entre múltiplos aspectos históricos e geográficos. O objetivo aqui proposto é compreendido como fundamental para processos decisórios e intervenções em um sistema de gestão ambiental, considerada como “a práxis da Geografia Ambiental” (ALMEIDA, 2006, P. 343).

A bacia hidrográfica é uma das principais unidades espaciais dos estudos ambientais (HOGAN; MARANDOLA JR., 2005). É indicada na Política Nacional de Recursos Hídricos, a chamada “Lei das Águas” (BRASIL, 1997), como a unidade espacial mais adequada para a gestão das águas continentais superficiais. Assim, os objetivos e a metodologia deste trabalho, associados a uma significativa variabilidade e amplitude de processos geográficos no espaço, permitem a consideração conjunta de duas unidades de análise espacial de relevante aplicação geográfica: bacia hidrográfica e região. Longe de induzir à negligência de aspectos intrínsecos a esses conceitos, essa abstração possibilita uma visão mais integrada dos aspectos físicos e sociais, os quais, quando espacializados e tratados em conjunto, se tornam geográficos *stricto sensu*.

Entretanto, a heterogeneidade da bacia poderia gerar distorções e generalizações na interpretação dos fenômenos estudados, sobretudo na determinação de suas amplitudes espaciais, e, por isso, houve uma grande preocupação com as escalas dos mapas básicos utilizados. As bases cartográficas utilizadas foram as do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2000A, 2002, 2004, 2006), na escala de 1:5.000.000, e a da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2004), na escala de 1:1.000.000, sendo essa última utilizada na elaboração teórico-metodológica e na execução do mapa de domínios hidrogeológicos da bacia do rio São Francisco (MAPA 6).

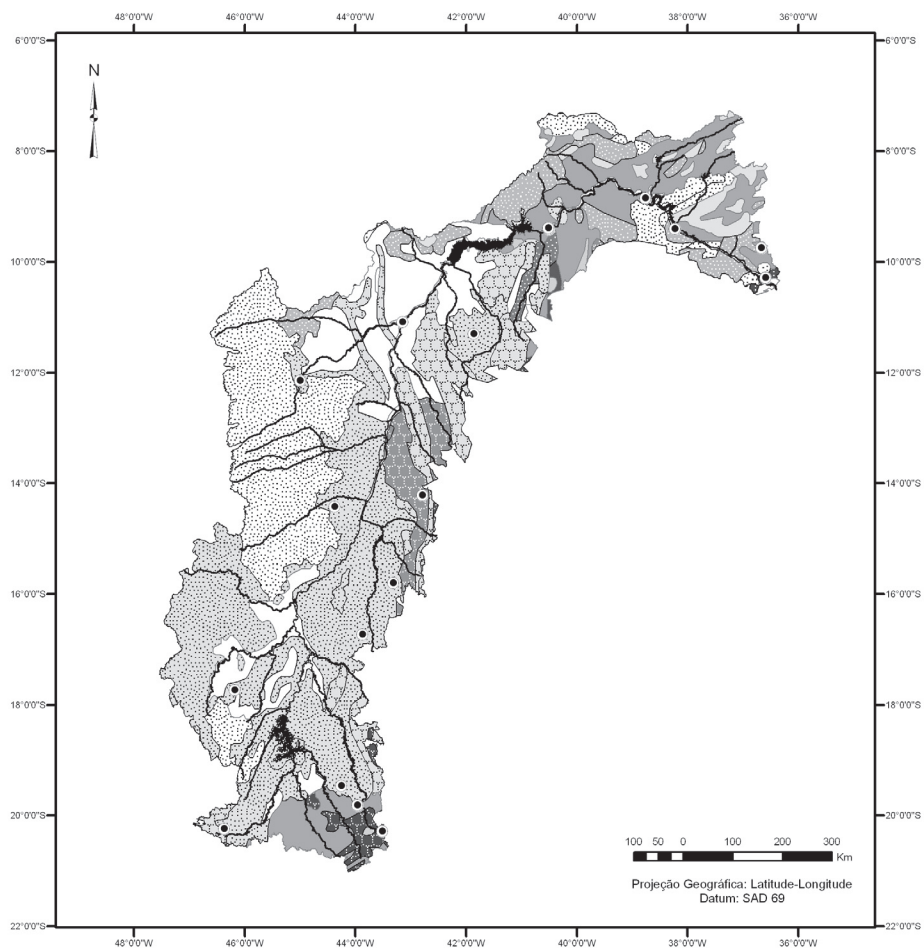
Caracterização do quadro físico da bacia do rio São Francisco

A geomorfologia da região configurou-se a partir da associação entre diferentes características geológicas (litológicas e tectônicas) e contextos climáticos que, principalmente ao longo do Cenozóico, foram marcados por mudanças e oscilações em resposta à dinâmica atmosférica global.

Geologicamente (MAPA 2), o rio São Francisco insere-se parcialmente em um cráton homônimo pré-brasiliano, pertencente ao Escudo Atlântico (ALKMIN; MARTINS NETO, 2001). Há registros de rochas pertencentes ao ciclo Jequié (2,6 a 2,7 bilhões de anos), o mais antigo encontrado no Brasil. O ciclo Transamazônico, que afetou as rochas continentais há cerca de 2 bilhões de anos, atingiu a região. Dois outros eventos tectônicos significativos delimitaram a bacia sedimentar do São Francisco – o Espinhaço (1 a 1,3 bilhão de anos) e o Brasiliano (0,45 a 0,7 bilhão de anos) – e estabeleceram os maciços elevados que passaram a atuar como interflúvios da bacia hidrográfica no Cenozóico (SCHOBENHAUS, 1984).

Em termos litológicos (MAPA 3), predominam na denominada “Depressão Sertaneja e do São Francisco” (ROSS, 1985) rochas sedimentares detríticas – sobretudo arenitos – e carbonáticas (IBGE, 2000a), com destaque, na porção sul, para o Grupo Bambuí e suas diversas formações. Complexos metamórficos estão presentes nos interflúvios a leste e a sudeste da bacia (CPRM, 2004) e também

²O termo “físico-territorial” está sendo utilizado para unidades espaciais apoiadas em variáveis geográficas de caráter físico (e não necessariamente natural), tais como geologia, geomorfologia, solos, vegetação, clima e recursos hídricos.



● Sede das territorialidades-chaves

— Rios Principais

- Gnaisse de origem magmática e/ou sedimentar de médio a alto grau metamórfico e rochas graníticas desenvolvidas durante o tectonismo
- Rochas gnáissicas de origem magmática e/ou sedimentar de médio grau metamórfico e rochas graníticas desenvolvidas durante o tectonismo
- Rochas magmáticas
- Rochas magmáticas de composição félsica e máfica
- Sedimentos arenosos do Pleistoceno
- Sedimentos arenosos e argilo-carbonáticos de grau metamórfico fraco a médio
- Sedimentos arenosos e argilo-carbonáticos desde muito pouco até fraco grau metamórfico
- Sedimentos arenosos e argilosos, podendo incluir níveis carbonosos do Terciário
- Sedimentos argilosos, arenosos e cascalhos
- Sedimentos relativos a aluviões atuais e terraços mais antigos do Holoceno
- Sequência de rochas verdes
- Sequências metamórficas de origem sedimentar de médio a baixo grau metamórfico
- Sequências sedimentares, principalmente psamíticas, podendo incluir piroclásticas

Fonte: Elaboração dos autores, com base cartográfica do IBGE (2000a).

em uma vasta área do alto vale do São Francisco. Essas litologias condicionam o modelado de serras, com destaque para a Serra do Espinhaço.

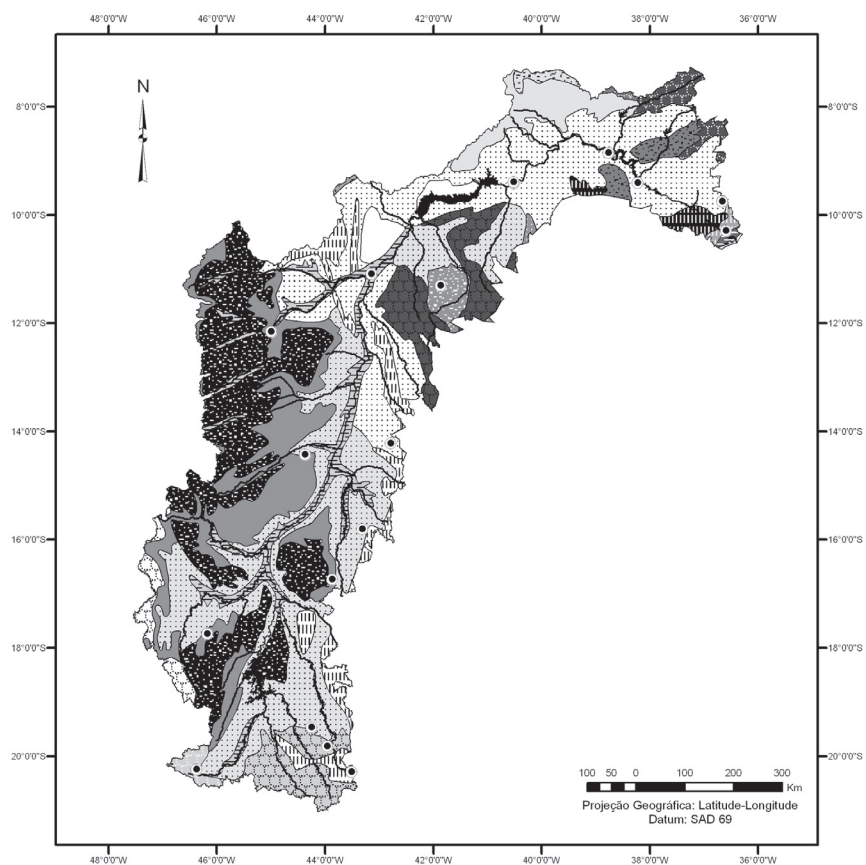
Ross (1985) engloba essa unidade morfológica formada por cinturões orogênicos antigos no domínio de “Planaltos e serras do atlântico leste-sudeste”. As coberturas areníticas do oeste baiano condicionaram a formação de chapadas que atuam como divisores de água e eficientes aquíferos, sendo denominadas, no mapa do IBGE (2006), “Chapadas do rio São Francisco”.

A Depressão Sertaneja e do São Francisco estende-se por uma área “rebaixada e predominantemente aplainada” (ROSS, 1985, p. 36) e constitui-se por subunidades morfológicas que, em parte, coincidem com a geologia regional: depressão do alto-médio rio São Francisco e depressão do baixo rio São Francisco, entre outras (IBGE, 2006).

O clima da bacia está diretamente relacionado à variação latitudinal que esta possui (MAPA 4). Na porção sul há predominância do clima tropical subquente semi-úmido, apresentando algumas áreas de clima mesotérmico brando semi-úmido, condicionado em parte pela morfologia local (IBGE, 2002). Uma vasta área em Minas Gerais e no oeste da Bahia possui clima tropical quente semi-úmido, sendo a porção norte da depressão dominada pelo clima tropical semi-árido, com locais apresentando até 11 meses de estiagem. Essas características climáticas são de grande importância para a compreensão dos processos hidrogeológicos do sistema de aquíferos na bacia do São Francisco; como exemplo, verifica-se que dos 36 principais afluentes do São Francisco apenas 19 são perenes (PATRUS *et al.*, 2001).

Quanto à vegetação, assim como no caso do clima, há uma reconhecida variação latitudinal, mas com especificidades locais muito claras, condicionadas, em parte, pelos aspectos geomorfológicos, geológicos e edafológicos (MAPA 5). Desse fato resultam estratos diversificados de savana e florestas estacionais, além de áreas de tensão ecológica (CALDEIRON; IBGE, 1993). De acordo com o Plano Diretor de Desenvolvimento do Vale do São Francisco – PLANVASF (1989, citado por PATRUS *et al.*, 2001), 25% da área total da bacia estava sendo utilizada para agricultura, pastagem ou floresta plantada, caracterizando-se os 75% restantes por vegetação natural.

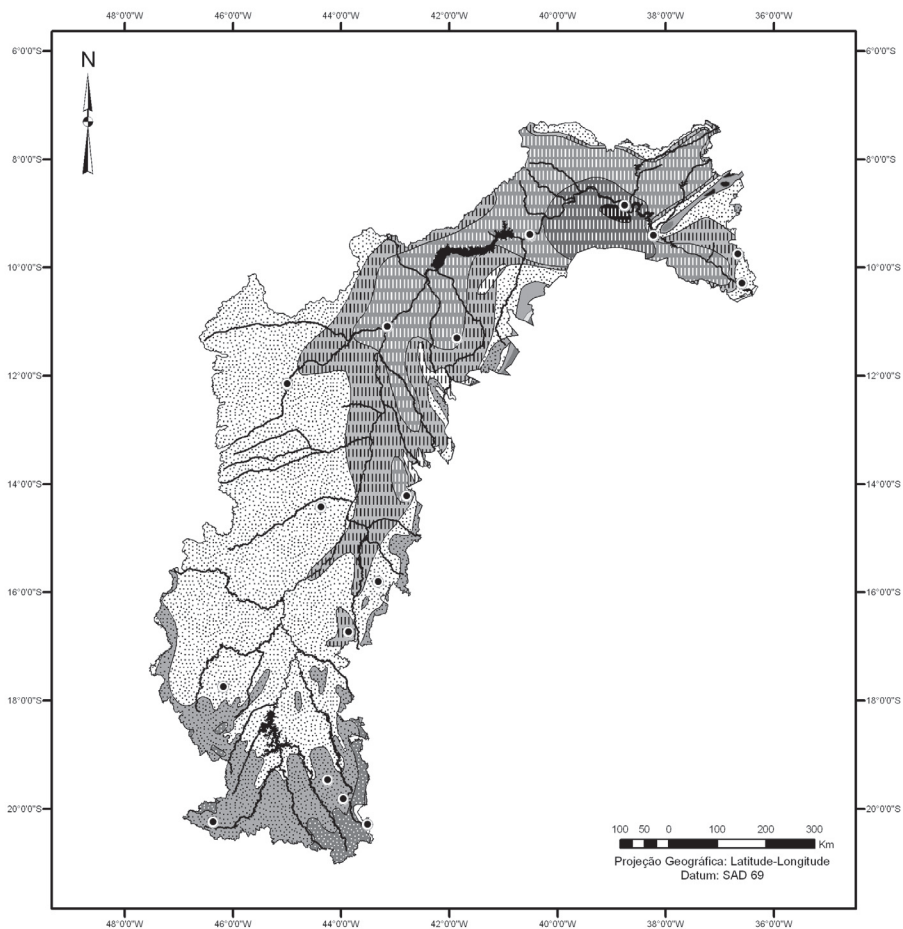
Na atualidade, é bem provável que tal proporção se apresente modificada em decorrência do avanço das áreas de agricultura irrigada. Segundo o *Mapa de vegetação do Brasil* (IBGE, 2004), a bacia apresenta savanas, principalmente dos tipos arbórea, parque e gramíneo-lenhosa, todas com interferência antrópica. Extensas áreas sem interferência antrópica aparecem praticamente só na faixa de savana arbustiva, no leste da bacia. As florestas estacionais (tanto a decidual quanto a semidecidual) predominam nas áreas marginais do médio vale, estando, entretanto, muito alteradas. O noroeste da Bahia, na bacia do rio Grande, é um dos poucos lugares em que essa formação vegetacional pode ser encontrada com pouca interferência antrópica, apesar de ser uma região de expansão da agroindústria. Por outro lado, grandes áreas de savana estépica são encontradas relativamente conservadas, sobretudo no Baixo Vale, na fronteira da Bahia com Pernambuco (IBGE, 2004). A diversidade vegetacional completa-se com as áreas de tensão ecológica, definidas como zonas de contato entre dois ou mais tipos de vegetação (CALDEIRON; IBGE, 1993).



● Sede das territorialidades-chaves — Rios Principais

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> Campos de Dunas do médio Rio São Francisco Chapada do Araripe Chapada do Meio-Norte Chapada dos Rios Tonã/Jatobá e Tabuleiros do Recôncavo/Tucano Chapadas do Rio São Francisco Chapadas dos Rios Irecê e Utinga Chapadas, Planaltos e Patamares dos Rios Jequitinhonha/Pardo Depressão Sertaneja e de Paranaguá Depressão do Alto-Médio Rio São Francisco e Baixadas dos Rios Jacaré/Salitre Depressão do Meio-Norte Depressão do Rio Araguaia/Pantanal Depressão dos Altos Rios Tocantins/Araguaia Patamar Sertanejo | <ul style="list-style-type: none"> Patamares dos Rios São Francisco/Tocantins e Serra da Saudade Planalto Central Brasileiro Planalto Centro-Sul Mineiro e Depressão de Belo Horizonte Planalto Sertanejo Planalto da Borborena Planalto da Canastra Planaltos Residuais Sertanejos Planaltos e Serras da Diamantina Serras do Espinhaço/Tabatinga/Quadrilátero Ferrífero Planícies Fluviais e/ou Fluvioacustres Planícies Marinhas, Fluvioamarinhas e/ou Fluvioacustres Tabuleiro dos Rios Real/Vaza Barris Tabuleiros Costeiros |
|---|---|

Fonte: Elaboração dos autores, com base cartográfica do IBGE (2000a).



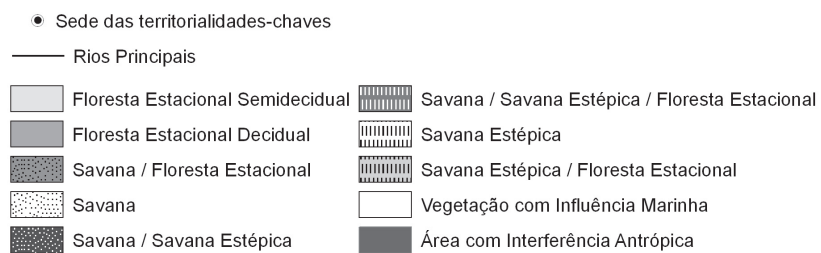
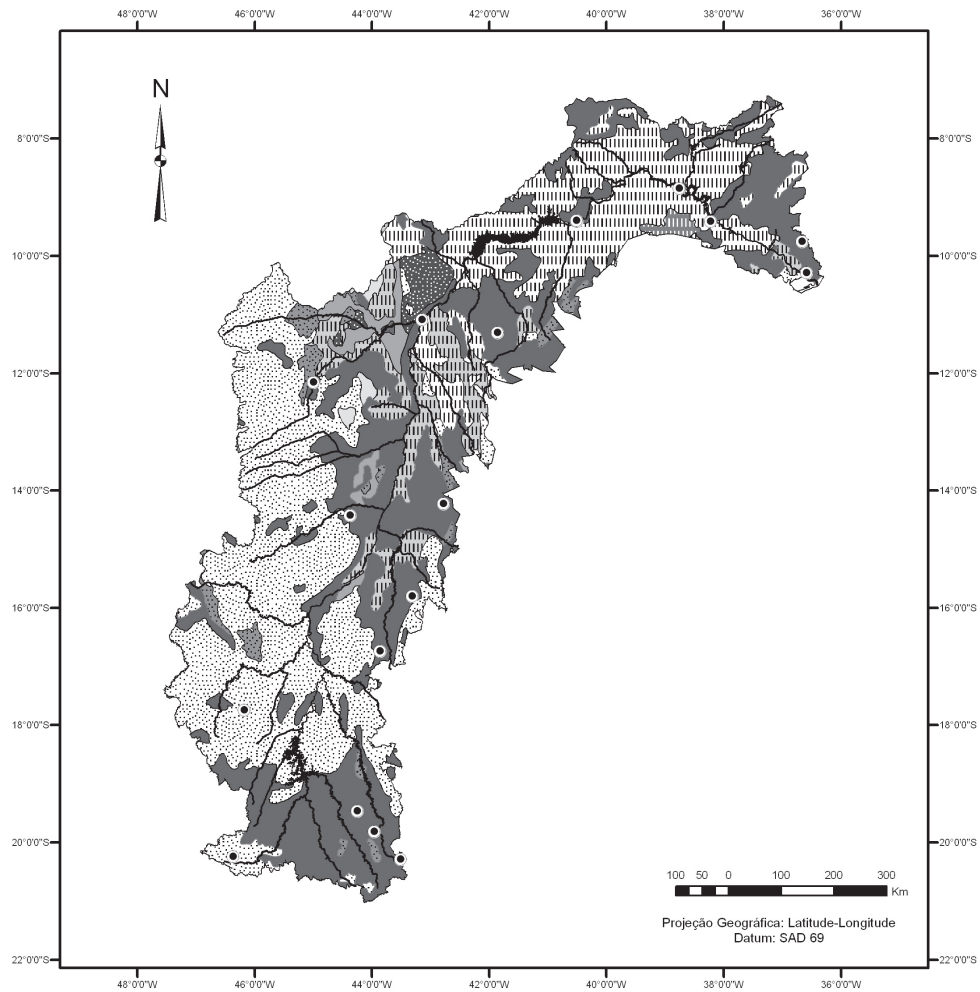
● Sede das territorialidades-chaves

— Rios Principais

- semi-árido, subquente - média entre 15 e 18° em pelo menos 1 mês, 6 meses secos
- semi-árido, quente - média > 18° C em todos os meses, 6 meses secos
- semi-árido, quente - média > 18° C em todos os meses, 7 a 8 meses secos
- semi-árido, quente - média > 18° C em todos os meses, 9 a 10 meses secos
- semi-árido, quente - média > 18° C em todos os meses, 11 meses secos
- semi-úmido, mesotérmico brando - média entre 10 e 15° C, 4 a 5 meses secos
- semi-úmido, subquente - média entre 15 e 18° em pelo menos 1 mês, 4 a 5 meses secos
- semi-úmido, quente - média > 18° C em todos os meses, 4 a 5 meses secos
- úmido, mesotérmico brando - média entre 10 e 15° C, 1 a 2 meses secos
- úmido, subquente - média entre 15 e 18° em pelo menos 1 mês, 1 a 2 meses secos
- úmido, subquente - média entre 15 e 18° em pelo menos 1 mês, 3 meses secos
- úmido, quente - média > 18° C em todos os meses, 3 meses secos
- úmido, quente - média > 18° C em todos os meses, 1 a 2 meses secos

Fonte: Elaboração dos autores, com base cartográfica do IBGE (2000a).

MAPA 5 Formações vegetacionais, ecótonos e áreas com interferência antrópica na bacia do rio São Francisco



Fonte: Elaboração dos autores, com base cartográfica do IBGE (2000a).

Domínios hidrogeológicos como critério de definição de territorialidades-chaves

As territorialidades-chaves não se reportam puramente a critérios físicos, já que o conceito de território³ incorpora outras acepções socioespaciais atinentes a outras dimensões geográficas, como a política, a econômica e a cultural. Por outro lado, pressões demográficas sobre os recursos naturais não se distribuem homoganeamente no espaço, e isso requer a compreensão sobre o modo como elas evoluem e sobre sua intensidade. Dessa maneira, não há como negligenciar nos estudos sobre as territorialidades questões como as pertinentes à dinâmica demográfica e urbana e tampouco as influências antrópicas sobre o meio ambiente.

Os objetivos deste trabalho estão associados ao fato de que os aspectos do quadro físico influenciam a dinâmica das atividades humanas. A investigação demonstrou que, na bacia do São Francisco, a distribuição e a organização espacial dos recursos hídricos são fatores que se destacam na configuração de territorialidades. Em qualquer parte do mundo as águas, especificamente a sua disponibilidade em quantidade e qualidade, condicionam as formas de ocupação humana. A configuração hidrológica destaca-se, nesse sentido, como um dos mais relevantes aspectos geográficos da bacia do São Francisco, sobretudo se relacionada às dimensões sociais e populacionais, e tem historicamente condicionado a estruturação de territorialidades-chaves nessa área de contextos tão diversos.

Entretanto, a rede de drenagem superficial não surge como um critério apropriado de identificação de territorialidades, por não corresponder à disponibilidade hídrica de um local e também por se apresentar com nível de detalhamento muito variável de acordo com a escala das bases cartográficas utilizadas, sendo essa variabilidade resultante de uma série de fatores ambientais. Em uma bacia extensa como a do São Francisco, esse fato pode gerar imprecisões importantes. O quadro hidrogeológico, por outro lado, depende da distribuição espacial de unidades físicas com delimitações mais precisas nas cartas disponíveis: os aquíferos. Ainda que seus limites sejam zonais e não lineares como os dos cursos d'água, também os aquíferos requerem a observação das escalas de trabalho para o estudo de uma área do tamanho da bacia do São Francisco.

Os aquíferos são as unidades preferenciais para estudo das águas subterrâneas. Um aquífero é, em linhas gerais, um sistema geológico que permite a circulação e o armazenamento de água. Pode ser compreendido como “uma formação que contém material permeável suficiente para render quantidades significativas de água a poços e fontes” (TODD; MAYS, 2005, p. 36, tradução nossa). Fica evidente que “o conhecimento da geologia [...] é o ponto de partida para a compreensão da distribuição espacial dos aquíferos” (FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997, p. 23) e, por consequência, da dinâmica hidrogeológica.

Existem dois tipos principais de aquíferos: os granulares, marcados pelo armazenamento de água nos interstícios da rocha e apresentando dinâmica geralmente livre; e os estruturais ou fissurais, onde a água é armazenada nos sistemas de estruturas geológicas como falhas e fraturas, estando geralmente confinada sob pressão.

O critério da hidrogeologia permitiu, na escala do estudo, a identificação de áreas que refletissem uma certa homogeneidade espacial quanto à dinâmica regional das águas em nível superficial e subsuperficial, considerada a sua indissociabilidade (FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997; FERRER, 1994). A importância dos aquíferos estende-se à estruturação da rede hidrográfica superficial e dos fluxos subterrâneos, à dinâmica dos processos geomorfológicos, à manutenção de domínios e processos biológicos, e à organização de usos e atividades humanas. Nesse caso, os recursos hídricos influenciam historicamente a dinâmica populacional e o desenvolvimento econômico.

³ Neste estudo, o conceito de “território” corresponde à definição constante do dicionário de geografia de Roger Brunet et al. (1990), ou seja, diz respeito à projeção sobre um espaço determinado de estruturas específicas de um grupo humano, a qual inclui a maneira de repartição, gestão e ordenamento desse espaço.

Os domínios hidrogeológicos foram escolhidos como as unidades mais adequadas para representar a dinâmica hidrológica regional considerando os seguintes aspectos:

- permeabilidade e capacidade de armazenamento subterrâneo;
- influência no regime fluvial (perene ou sazonal).

Esses aspectos não foram monitorados mas sim, analisados comparativamente, domínio a domínio, a partir do principal parâmetro geológico dos aquíferos que pôde ser inferido sem levantamentos de campo: a permeabilidade das rochas (cujo parâmetro quantitativo é a condutividade hidráulica) e, conseqüentemente, a facilidade com que as águas se infiltram e percolam pelos sistemas estruturais, pelos sistemas granulares e outros vazios dos materiais. Mesmo não tendo sido feito um levantamento quantitativo desse parâmetro nos aquíferos, processo que foge aos objetivos deste trabalho, a permeabilidade pôde ser inferida principalmente com base nos seguintes critérios:

- textura das rochas: materiais arenosos, como arenitos e quartzitos, são em geral mais permeáveis do que aqueles com texturas mais finas, como os argilitos e as ardósias;
- existência de sistemas estruturais como falhas ou zonas de cisalhamento nos aquíferos: quanto mais deformadas as rochas, mais permeáveis tendem elas a ser;
- presença de rochas metamórficas: o metamorfismo cria planos de fraqueza favoráveis à infiltração e à percolação da água, principalmente quando as rochas estão intemperizadas;
- presença de rochas sedimentares: os planos de estratificação também contribuem para a infiltração e a percolação da água;
- ocorrência de ambientes cársticos: a dissolução de rochas carbonáticas, como calcários e dolomitos, pode formar cavidades subterrâneas que aumentam a permeabilidade; feições como sumidouros e ressurgências favorecem a dinâmica hidrológica subterrânea.

Os sistemas hidrogeológicos foram então classificados com base no cruzamento dessas informações.

A bacia hidrográfica do São Francisco reúne, em sua extensão, grandes diversidades litológico-estruturais e de formas e intensidade na ocupação do solo, aspectos que, em conjunto, interferem na qualidade e quantidade dos recursos hídricos subterrâneos. As diferenças nos tipos rochosos e na conformação estrutural refletem-se na capacidade de armazenamento e na transmissividade dos sistemas aquíferos [...]. (MOURÃO; CRUZ; GONÇALVES, 2001, p. 328).

Compreende-se assim que, dentre os elementos teóricos necessários para o entendimento do papel dos aquíferos na dinâmica hidrológica, bem como para sua escolha como critério de seleção das territorialidades, podem ser citados aqueles relativos aos processos de infiltração, percolação e exfiltração, os quais são condicionados por propriedades litológicas, como a capacidade de transmissão e armazenamento de água das rochas. Os processos de exfiltração dependem do potencial hidráulico subsuperficial e respondem pela origem de nascentes de cursos d'água. Em ambientes cársticos, por exemplo, pontos de exfiltração podem representar ressurgências. No sentido inverso, as águas superficiais respondem pela recarga dos aquíferos a partir de processos de infiltração. As características bioclimáticas, morfológicas e geológicas determinam melhores ou piores condições de recarga.

A gênese e a evolução dos domínios geológicos são outros fatores importantes para a individualização de sistemas aquíferos. Complexos gerados, por exemplo, em eventos tectônicos diferenciados,

como em faixas orogênicas antigas, marcam sistemas hidrogeológicos de interesse para o trabalho por serem potenciais aquíferos estruturais. Coberturas sedimentares mesozóicas e cenozóicas apresentam, por outro lado, gênese diferenciada em relação aos complexos arqueanos e proterozóicos na bacia do São Francisco e comportam-se diferencialmente em termos hidrológicos.

Determinando, por suas características, a disponibilidade hídrica superficial e a subterrânea, os aquíferos contribuem para o surgimento e a configuração de núcleos urbanos, atividades econômicas e redes sociais, que se desenvolvem a partir da disponibilidade e dos diversos usos da água. Em áreas com escassez hídrica, como nos ambientes semi-áridos que ocupam grande parte da bacia, a importância da água na estruturação do espaço torna-se ainda mais evidente. Neste trabalho, os domínios hidrogeológicos foram identificados e caracterizados quanto aos seus aspectos ambientais gerais, o que possibilita a discussão acerca da aplicabilidade da metodologia utilizada e das possibilidades de continuidade das pesquisas.

Os aquíferos e os recursos hídricos associados não constituem, aqui, objetos de caracterização qualitativa, não obstante terem sido critérios físicos fundamentais para a individualização das territorialidades-chaves. Prioriza-se a análise da distribuição espacial dos aquíferos e mananciais hídricos, para que em estudos futuros se possa aprofundar a compreensão de sua influência na configuração da rede de localidades, vis-à-vis atividades econômicas e dinâmicas populacionais e territoriais.

A escolha dos sistemas aquíferos como principal critério físico de individualização das territorialidades na escala da bacia do São Francisco deveu-se, em parte, às deficiências apresentadas por outros critérios. O clima, as formações vegetacionais, a morfologia, os solos e os processos geomorfológicos não se mostraram adequados para a identificação de espaços notáveis no que tange a aspectos sociais.

A maior dificuldade que permeou, em maior ou menor grau, esses aspectos foi a insuficiência de dados e documentos que apresentassem o nível de detalhe necessário para o estudo na escala da bacia. Os mapas encontrados, principais fontes de informação para o presente trabalho, são apresentados em escalas inadequadas aos objetivos da pesquisa: escalas com elevado nível de detalhamento, o que exigiria uma infinidade de cartas para produzir uma generalização inevitável (1:100.000, 1:50.000); ou a escala nacional (1:5.000.000), que oculta especificidades importantes. Quando foram encontrados mapas adequados, havia neles uma descontinuidade espacial na bacia, posto que são estaduais.

Ademais, esses critérios não possuem relações diretas com aspectos socioeconômicos e geohistóricos, tais como possíveis movimentos populacionais na bacia; mesmo o clima, que pode ser pensado como um fator de expulsão da região do semi-árido, não exerce necessariamente esse papel, creditado aqui à água – superficial e subterrânea. Não apresentando espacialidades que estruturassem o que está sendo chamado de territorialidades-chaves, esses critérios foram utilizados como secundários à hidrogeologia.

No caso das águas superficiais, as escalas de mapeamento disponíveis não apresentam a rede hidrográfica em um nível de detalhe adequado para a metodologia do trabalho. Para que alguma característica da rede hidrográfica pudesse ser adotada como critério – como a densidade de drenagem, por exemplo –, os mapas deveriam ser bem detalhados, inviabilizando a pesquisa. Entretanto, a rede hidrográfica não pode ser estudada de modo desconectado dos aquíferos e das águas subterrâneas. A dinâmica hidrológica subsuperficial cumpre um papel fundamental no ciclo hidrológico, tanto para a manutenção da perenidade dos cursos superficiais, quanto para o armazenamento de água (TODD; MAYS, 2005).

Da mesma forma, variáveis hidrométricas que indicam disponibilidade hídrica, como as vazões fluviais, exigem séries de dados monitorados em estações fluviométricas, estando estas presentes quase exclusivamente nos maiores rios do país. As lacunas temporais e espaciais existentes nesse tipo de informação impedem a formulação de conclusões e análises temáticas mais acuradas sobre grandes bacias hidrográficas. A regionalização de vazões também não é adequada ao trabalho, pois geraria dados que falseariam a disponibilidade hídrica superficial, já que as vazões são variáveis pontuais e não de área.

A qualidade da água poderia ser um outro critério de identificação de territorialidades-chaves na bacia, por refletir, temporal e espacialmente, as pressões humanas – atividades e usos – e por condicionar as redes sociodemográficas e econômicas. O critério esbarra porém na mesma dificuldade verificada em relação à escala. A análise da qualidade hídrica somente atenderia os objetivos do trabalho se houvesse certa verticalização dos estudos em unidades espaciais menores, o que resultaria em relações de causa-efeito entre usos do solo e das águas e poluição/ contaminação destas. A escala da bacia do São Francisco não permitiu esse detalhamento.

Os aquíferos foram, assim, considerados as unidades do quadro físico mais adequadas para os objetivos do trabalho, condicionando a dinâmica hidrológica subterrânea e a superficial e indicando a organização espacial dos estoques hídricos em quantidade. Além de ter determinado grande parte do processo histórico de ocupação da bacia, como demonstram os muitos núcleos populacionais surgidos às margens dos maiores rios, as águas condicionam o atual quadro de organização espacial das atividades humanas. Centros urbanos, atividades industriais e áreas agrícolas dependem de recursos hídricos para sua existência, e os mananciais hídricos exercem um papel de aglutinador de fluxos. Os diferentes espaços surgidos e desenvolvidos na bacia têm relação direta com a disponibilidade hídrica.

Para a escala da bacia, a escassez de bases cartográficas precisas e a dimensão espacial de certas unidades hidrogeológicas exigiram aproximações e adaptações metodológicas. Foram determinados os domínios que possuem relevância espacial, de acordo com prioridades relacionadas aos objetivos do trabalho.

A definição dos domínios hidrogeológicos como as unidades espaciais mais adequadas para este estudo foi seguida da determinação das próprias territorialidades-chaves, a partir do estudo das municipalidades presentes em cada domínio. Os limites dos aquíferos não coincidem com os limites político-administrativos, o que exige a escolha das territorialidades de cada domínio com base em algum outro critério. Buscando a coerência com os objetivos propostos⁴, foram selecionados os municípios que representam as maiores pressões populacionais sobre as águas superficiais e subterrâneas. Neste caso, foi adotado o critério de tamanho da população – dados obtidos junto ao *Censo demográfico de 2000* (IBGE, 2000b) – por refletir, indiretamente, as maiores pressões sobre os estoques hídricos e sobre a qualidade (poluição ou contaminação) das águas em cada domínio hidrogeológico. Desse modo, o critério utilizado para a seleção dessas localidades foi o número de habitantes do distrito-sede, posto que a pressão sobre os recursos naturais exercida por uma população concentrada em uma área urbana é geralmente maior do que seria a exercida por uma população com o mesmo número de indivíduos mas que estivesse dispersa em uma área rural.

Domínios hidrogeológicos e territorialidades-chaves

No contexto geral, a bacia do São Francisco pode ser dividida em três províncias hidrogeológicas (ANJOS *et al.*, 1996). Essa divisão baseou-se primeiramente nas questões climatológicas – precipita-

⁴ Por integrar um projeto que vai além das questões físico-geográficas, este trabalho demanda a manutenção da comunicação entre os grupos através do critério populacional.

ção, temperatura, evaporação etc. – e, posteriormente, em uma associação destas com os aspectos fisiográficos e geológicos, ressaltando os tipos de aquíferos. Entretanto, acredita-se que essa divisão não seja a mais adequada aos objetivos deste trabalho, pelo fato de ela priorizar a variável climática em detrimento da geológica. Conhecendo o quadro físico da bacia do São Francisco, propõe-se aqui uma compartimentação diferenciada, o que em nada desmerece o trabalho realizado por Anjos *et al.* (1996) para a América do Sul, outra escala de estudo.

De acordo com Anjos *et al.* (1996), a maior parte da bacia encontra-se na *Província do São Francisco*, onde predominam aquíferos fraturados (MOURÃO; CRUZ; GONÇALVES, 2001), apesar da ocorrência de extensos aquíferos granulares e cársticos. Os aquíferos de sedimentos mesozóicos, associados às características fisiográficas regionais, sobressaem devido a sua “[...] função reguladora importante para o escoamento superficial da zona média do rio São Francisco” (ANJOS *et al.*, 1996, p. 107, tradução nossa).

Parte do leste da bacia e das sub-regiões Médio Sertanejo e Baixo Vale encontra-se na *Província do Escudo Oriental*, formada predominantemente por rochas pré-cambrianas. A subprovíncia de sudeste apresenta melhores condições hídricas em relação à de nordeste, pois esta é caracterizada por índices pluviométricos inferiores, abundância de cursos d’água temporários e ocorrência de águas salobras devido às elevadas taxas de evaporação. O clima mais úmido da porção meridional favorece a formação de mantos de intemperismo mais espessos em áreas com topografia suave, cobertura vegetal e estabilidade tectônica. Esses regolitos agem como eficientes materiais para o armazenamento de umidade devido à presença de materiais agregantes e retentores de água, como argilas, matéria orgânica e óxidos.

As planícies de inundação desenvolvem-se melhor em climas úmidos e são ambientes hídricos eficientes no equilíbrio dos processos hidrológicos locais, como a infiltração e a percolação, já que concentram sedimentos e matéria orgânica, contribuindo também para a perenização dos cursos d’água. Já os canais entrelaçados, típicos de ambientes mais secos, apresentam uma dinâmica marcada por alargamento do canal a partir da erosão lateral das margens, sendo características as barras de canal.

Na região litorânea do Baixo Vale encontra-se a subprovíncia Alagoas/Sergipe das *Províncias Costeiras*. Nessa região há aquíferos de alta capacidade de armazenamento e caracterizados por sedimentos médios e grosseiros do mesozóico relacionados ao preenchimento de *grabens*.

Utilizando-se a geologia regional como aproximação ao conceito de sistemas de aquíferos, distinguiram-se quatro grupos de domínios hidrogeológicos por critérios associados à litologia, à estratigrafia e à estrutura das unidades geológicas. De acordo com Freeze e Cherry (1979, p. 145, tradução nossa), “na maioria das regiões, o conhecimento da litologia, da estratigrafia e da estrutura conduz diretamente a um entendimento da distribuição dos aquíferos”.

Um primeiro condicionante para identificação dos sistemas aquíferos compõe-se, então, da litologia e de suas características atuais em função da atuação de processos geológicos e geomorfológicos ao longo do tempo. Esse critério indica características como porosidade, permeabilidade, capacidade de armazenamento e transmissividade de água. Entretanto, um domínio hidrogeológico não se restringe somente a questões dessa natureza. As demais variáveis fisiográficas são importantes para a compreensão de aspectos como capacidade de recarga, qualidade da água, posição do nível freático e taxas de infiltração/exfiltração, dentre outros.

Os aquíferos foram divididos em quatro domínios segundo as classificações geológicas: rochas detríticas⁵; rochas carbonáticas; complexos metamórficos; e complexo granito-gnáissico. Com a análise, sobretudo, dos aspectos climatológicos, vegetacionais, geomorfológicos, pedológicos e antrópicos, distinguiram-se 18 domínios hidrogeológicos na bacia do São Francisco. Para cada um desses domínios selecionou-se um município-chave, respeitando o critério de pressão demográfica sobre os recursos hídricos e com base nos dados de população do distrito-sede em 2000 (IBGE, 2000b).

O MAPA 6 mostra a espacialização das localidades-chaves físico-geográficas na bacia, segundo o critério supracitado de diferenciação dos domínios hidrogeológicos. Salienta-se que, nos casos de diferentes aquíferos superpostos em uma mesma seqüência estratigráfica, considera-se sempre o aquífero mais superficial (aflorante), por ser aquele que condiciona mais diretamente as características da rede de drenagem superficial e as atividades humanas. É o caso das diferentes litologias do Grupo Bambuí, que são, por vezes, sobrepostas por coberturas areníticas mais recentes.

Grupo das rochas detríticas

Considerando o critério textural, os arenitos tendem a armazenar grandes volumes de água devido à sua permeabilidade elevada. Essa permeabilidade tem origem tanto no tamanho dos poros dos materiais de textura arenosa, como no fato de os arenitos serem constituídos essencialmente de grãos de quartzo, que são ionicamente inertes. Desse modo, a água pode circular mais facilmente, sem ser retida por forças de adesão das superfícies das partículas.

O significado dos arenitos como aquíferos depende da diversidade dos ambientes deposicionais (FREEZE; CHERRY, 1979). Exceções ocorrem quando, por exemplo, há um elevado percentual de sedimentos finos, formando-se aquíferos com baixa transmissividade de água. A presença de discontinuidades físicas, como planos de estratificação e planos estruturais, aumenta a permeabilidade dos arenitos. Se, por um lado, os arenitos são eficientes aquíferos por permitir a fácil e rápida infiltração e percolação de água, por outro, e pelo mesmo motivo, são muito susceptíveis à poluição.

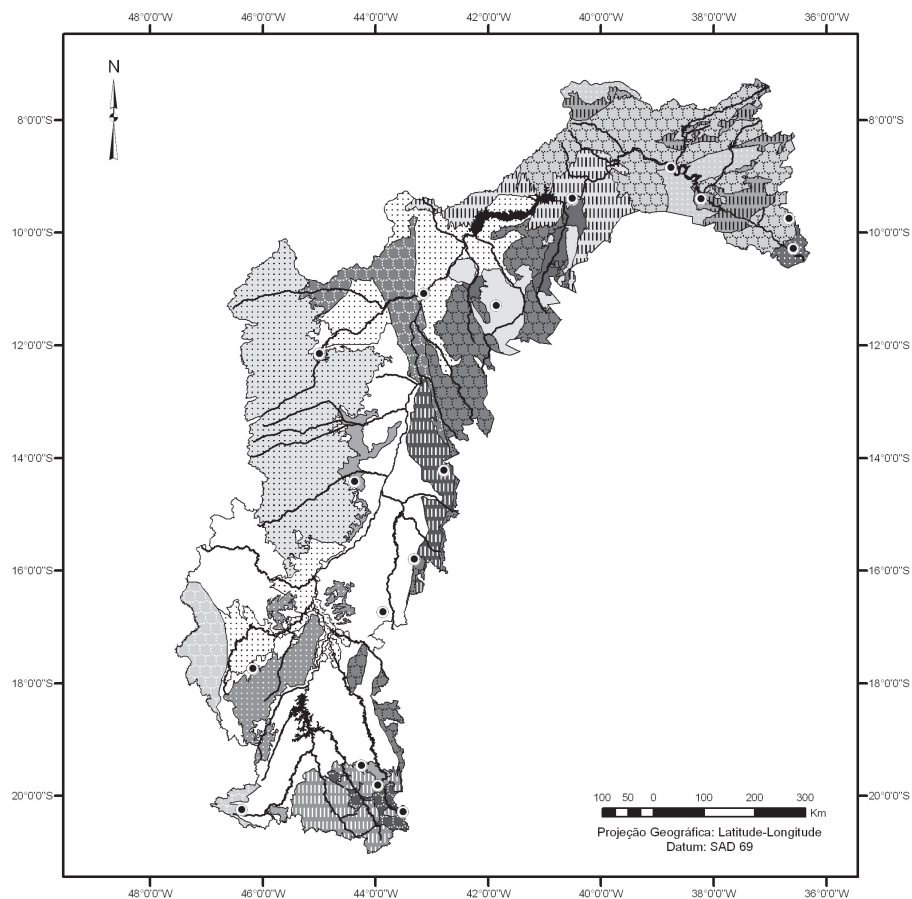
Na bacia do São Francisco foram identificados cinco domínios hidrogeológicos ligados aos arenitos, a saber:

1. Domínio das Coberturas Areníticas da Formação Barreiras – Penedo (AL);
2. Domínio das Coberturas Areníticas da Formação Urucuia – Barreiras (BA);
3. Domínio das Coberturas Sedimentares do Médio Mineiro – João Pinheiro (MG);
4. Domínio das Coberturas Sedimentares Clasto-químicas do Baixo Vale – Rodelas (BA);
5. Domínio dos Depósitos Sedimentares Recentes.

Dois desses domínios (2 e 3) situam-se na porção ocidental e apresentam características semelhantes em relação ao período de origem, ao clima atual e à menor ocorrência de estruturas. Distinguem-se, entretanto, quanto às unidades geológicas – predomínio das formações Urucuia (arenito, pelito e conglomerado) e Areado (arenito, siltito, folhelho e conglomerado), respectivamente –, ambas coexistindo com depósitos quaternários.

No Baixo Vale encontram-se dois outros domínios que possuem características peculiares. No domínio clasto-químico (4) predominam arenitos, conglomerados e folhelhos, mas há presença importante de calcários. Verifica-se também grande densidade de lineamentos tectônicos, o que

⁵ O termo "rochas detríticas" é aqui utilizado devido ao maior rigor conceitual que o envolve, compreendendo rochas sedimentares clásticas como arenitos, siltitos e argilitos.



● Sede das territorialidades-chaves — Rios Principais

Grupo das Rochas Detríticas

- Coberturas Areníticas da Formação Barreiras
- Coberturas Areníticas da Formação Urucuia
- Coberturas Sedimentares Cretáceas do Médio Mineiro
- Coberturas Sedimentares Mesozóicas Clasto-Químicas
- Depósitos Sedimentares Recentes

Grupo das Rochas Carbonáticas

- Dom. Cárstico da Formação Caatinga
- Dom. Cárstico da Formação Sete Lagoas
- Dom. Carbonático Não-Cárstico da Formação Salitre
- Dom. Carbonático Não-Cárstico do Grupo Bambuí

Grupo das Rochas Granito-Gnáissicas

- Dom. do Batólito de Guanambi
- Dom. do Embasamento Cristalino de Belo Horizonte
- Dom. Magmático do Baixo São Francisco
- Dom. Granito-Gnáissico do Médio Sertanejo

Grupo dos Complexos Metamórficos Regionais

- Dom. Metamórfico do Médio Noroeste Baiano
- Dom. do Espinhaço
- Dom. do Quadrilátero Ferrífero
- Dom. da Canastra
- Dom. da Borborema

Fonte: Elaboração dos autores, com base cartográfica do IBGE (2000a) e da CPRM (2004).

contribui para uma maior permeabilidade. Suas principais formações são Marizal, São Sebastião, Candeias e Exu. Já o domínio da Formação Barreiras (1) é peculiar por possuir alta capacidade de armazenamento e transmissão de água (ANJOS *et al.*, 1996), sendo constituído, sobretudo, por arenitos, argilitos e conglomerados, de idade cenozóica e com origem principalmente fluvial, associados a depósitos litorâneos.

De modo geral, os arenitos, se comparados a outros aquíferos, apresentam baixa densidade de drenagem superficial, justificada pelas eficientes taxas de infiltração associadas à elevada permeabilidade das rochas. Entretanto, os arenitos não são eficientes retentores de água subsuperficial, facilitando a circulação hídrica, devido às características mineralógicas dos grãos de quartzo. O pH das águas é normalmente maior que 7 (básico), havendo baixas proporções de sal dissolvido (MOURÃO; CRUZ; GONÇALVES, 2001).

Um quinto domínio (5) caracterizado por sedimentos recentes inconsolidados pode ser identificado, sobretudo no Médio Noroeste Baiano e no Médio Norte Mineiro. Sua individualização fez-se necessária devido à sua grande expressividade espacial. A espessura de suas coberturas arenosas varia bastante de acordo com a sua gênese e com o seu estado de desnudação, sendo que a dinâmica hidrológica se apresenta igualmente condicionada pelas formações geológicas subjacentes⁶. Não é rara a ocorrência de nascentes de água no contato entre as coberturas e as unidades geológicas inferiores devido a mudanças abruptas de textura e capacidade de infiltração.

Grupo das rochas carbonáticas

As rochas carbonáticas são muito diversas, variando de acordo com a composição, com o nível de pureza e com o grau de desenvolvimento das zonas cársticas. Normalmente essas rochas, sobretudo o calcário, possuem permeabilidade primária baixa, refletida em uma “medíocre capacidade de transmissão de água subterrânea” (FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997, p. 27). Isso se deve à textura fina dos precipitados químicos, o que gera um predomínio de microporos.

Todavia, sistemas estruturais e cavidades de dissolução modificam sobremaneira esse panorama, gerando grande permeabilidade secundária (MOURÃO; CRUZ; GONÇALVES, 2001). A carstificação depende não apenas da presença de rochas carbonáticas mas também de outros fatores, como a disponibilidade hídrica, a temperatura e o pH das soluções ambientes, a pureza dos carbonatos, as particularidades das seqüências estratigráficas nas quais se inserem as rochas carbonáticas, dentre outros. A somatória desses condicionantes gera diferentes contextos carbonáticos, permitindo distingui-los em domínios cársticos e não-cársticos, a saber:

6. Domínio Cárstico da Formação Caatinga – Juazeiro (BA);
7. Domínio Cárstico da Formação Sete Lagoas – Montalvânia e Sete Lagoas (MG)⁷;
8. Domínio Carbonático Não-cárstico da Formação Salitre – Irecê (BA);
9. Domínio Carbonático Não-cárstico do Grupo Bambuí – Montes Claros (MG).

Os domínios cársticos são considerados aquíferos eficientes na circulação e no armazenamento de água, apresentando contatos hidráulicos abundantes entre a água subterrânea e a superficial (TODD; MAYS, 2005). Os intensos e continuados processos de carstificação geraram ricos patrimônios morfológicos na bacia do São Francisco, havendo presença de dolinas, uvalas, *poljes*, cavernas, sumidouros, ressurgências e outras formas. Nesse contexto encaixam-se dois domínios (6 e 7), que correspondem às províncias cársticas de Juazeiro e São Desidério, na Bahia – Domínio Cárstico da

⁶ Por esse motivo, ao Domínio dos Depósitos Sedimentares Recentes não foi relacionada qualquer territorialidade-chave.

⁷ O Domínio Cárstico da Formação Sete Lagoas está sendo representado por duas territorialidades-chaves (Sete Lagoas e Montalvânia) devido à grande diversidade bioclimática por ele apresentada.

Formação Caatinga (brecha calcífera e calcrete) –, e de Montalvânia, Sete Lagoas e Arcos-Pains, em Minas Gerais – Domínio Cárstico da Formação Sete Lagoas (calcário, dolomito e pelito).

A eficiência das rochas carbonáticas não-cársticas como aquíferos na bacia está condicionada à presença de sistemas de lineamentos estruturais. Os dois outros domínios (8 e 9) do grupo das rochas carbonáticas são unidades da Formação Salitre e do Grupo Bambuí (ambas do Proterozóico), respectivamente, e inserem-se nesse contexto. O primeiro (8) é constituído, principalmente, por calcilitos, calcarenitos e arcóseos, entre outros, com grande densidade de fraturas, em uma região de clima semi-árido e, portanto, com alta evapotranspiração relativa e baixa recarga subterrânea. O segundo (9) é constituído por rochas carbonáticas (calcário, calcarenito, dolomito etc.) relativamente pouco fraturadas, mas sob clima úmido, o que favorece a recarga dos aquíferos.

Um problema comum nos aquíferos carbonáticos é a saturação da água pelos íons Ca^{++} e Mg^{++} (elevada dureza), o que pode gerar problemas de saúde à população.

Grupo das rochas granito-gnáissicas

Em geral, as rochas ígneas são caracterizadas por uma porosidade primária baixa, tendendo a nula quando não intemperizadas (FERRER, 1994); a condutividade hidráulica intergranular é, portanto, muito pequena na rocha sã. Essa relativa impermeabilidade faz com que essas rochas, quando sãs, venham a se constituir aquíferos com baixo potencial hídrico (TODD; MAYS, 2005). Entretanto, outros aspectos podem ser responsáveis por considerável permeabilidade secundária, como comentado anteriormente. A característica rúptil dessas rochas pode estar associada à presença de abundantes sistemas estruturais.

Quando em condições bioclimáticas favoráveis, as rochas ígneas também podem apresentar espessos mantos de intemperismo permeáveis. Os feldspatos, quando alterados, geram argilas que contribuem para a coesão e a porosidade. O excesso de argilas favorece a retenção de água, devido aos poros de pequeno tamanho e às forças de adesão das partículas ionicamente carregadas, mas desfavorece a circulação hídrica. A dissolução das rochas silicosas, apesar de ser lenta em relação à das carbonáticas, pode gerar descontinuidades internas e vazios intergranulares, podendo responder pela remoção de grandes volumes minerais em longo prazo, dependendo das condições de pH das soluções. Nesse contexto, rochas mais deformadas e intemperizadas tendem a formar aquíferos mais eficientes, apresentando maior permeabilidade e maior potencial de armazenamento hídrico.

Há também uma diversidade climática nesse domínio e, conseqüentemente, das condições de recarga dos aquíferos. Ambientes úmidos tendem a favorecer uma recarga maior e mais bem distribuída em termos temporais, favorecendo a perenidade dos cursos d'água (FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997).

Quatro domínios granito-gnáissicos foram identificados na bacia:

10. Domínio do Batólito de Guanambi – Guanambi (BA);
11. Domínio do Embasamento Cristalino de Belo Horizonte – RMBH (MG);
12. Domínio Magmático do Baixo São Francisco – Paulo Afonso (BA);
13. Domínio Granito-Gnáissico do Médio Sertanejo – Petrolina (PE).

O Batólito de Guanambi (10) encontra-se em uma área de tensão ecológica, no contato entre o clima semi-árido e o semi-úmido, bem como entre a vegetação de savana estépica e a de floresta estacional. Os litotipos predominantes são monzogranitos e monzonitos do Paleoproterozóico. Os

lineamentos estruturais são pouco expressivos na escala estudada, ocorrendo prioritariamente no contato entre a depressão São-Franciscana e a Serra do Espinhaço.

As condições ambientais são diferentes para o segundo domínio (11), que é constituído por gnaisses, granitos e migmatitos mesoarqueanos do embasamento cristalino. Encontra-se ao sul da bacia, em uma área de clima semi-úmido com intensa interferência antrópica. O clima contribui para a recarga do aquífero, mas os grandes sistemas de falhas também são restritos aos contatos com o Quadrilátero Ferrífero e com o Grupo Bambuí.

O Domínio Magmático (12) apresenta descontinuidade espacial, estando associado a suítes intrusivas da Província da Borborema. Litologicamente predominam granitos, gabros e granodioritos. Parte significativa do domínio encontra-se em uma das regiões mais secas da bacia, com o período de estiagem podendo alcançar nove meses. As características climáticas, então, limitam o potencial do aquífero.

O Domínio do Médio Sertanejo (13) é caracterizado por rochas metamagmáticas (ortognaisses migmatíticos) associadas a intrusões plutônicas e por uma densa rede de lineamentos estruturais. Enquanto as características geológicas favorecem o armazenamento e a circulação hídrica subterrânea, o clima não favorece a perenização de cursos d'água e tampouco a recarga contínua dos aquíferos.

Entretanto, há grandes variações locais que a escala dos mapas não permite identificar. Sobre tudo em relação aos lineamentos estruturais, essas especificidades podem responder a indagações relacionadas aos aspectos associados de infiltração/percolação da água, porosidade/permeabilidade da rocha e recarga dos aquíferos.

Grupo dos complexos metamórficos regionais

O comportamento hidrogeológico das rochas metamórficas apresenta, em relação ao das rochas ígneas, o fator adicional dos planos de metamorfismo que contribuem para o aumento da permeabilidade.

Os complexos metamórficos na bacia do São Francisco foram formados por intensos ciclos tectônicos de dobramentos e falhamentos, responsáveis por extensas faixas deformadas e zonas de cisalhamento. São caracterizados por rochas metassedimentares e/ou metamagmáticas, apresentando, de forma geral, grande densidade de lineamentos que conferem significativa permeabilidade secundária às rochas.

Comparativamente e sob as mesmas condições ambientais, as rochas metassedimentares tendem a formar aquíferos mais eficientes que as metamagmáticas, já que apresentam planos de estratificação e porosidade intergranular mais elevada.

Nesse sentido, cinco domínios foram distinguidos, correspondendo a episódios de metamorfismo regional:

14. Domínio Metamórfico do Médio Noroeste Baiano – Barra (BA);
15. Domínio do Espinhaço – Janaúba (MG);
16. Domínio do Quadrilátero Ferrífero – Ouro Preto (MG);
17. Domínio da Canastra – São Roque de Minas (MG);
18. Domínio da Borborema – Arapiraca (PE).

Dada a escala dos domínios, verifica-se importante diversidade geológica interna, com a distribuição de diferentes unidades litológicas. O Domínio do Espinhaço (15) está associado à ocorrência das rochas do Supergrupo Espinhaço e da Serra homônima, uma das principais unidades morfológicas

de Minas Gerais e da Bahia. Possui gênese associada a um ciclo orogenético pré-cambriano que dobrou as rochas locais bem como à ocorrência de eventos tectônicos posteriores, resultando no predomínio de rochas metassedimentares muito deformadas. Os longos períodos de exposição das rochas a diferentes contextos bioclimáticos e, conseqüentemente, a processos de desnudação e alteração provocaram significativa diferenciação na configuração e nas características dos aquíferos. O Domínio é marcado essencialmente por espessos quartzitos com elevada capacidade de infiltração e armazenamento, bem como com elevada permeabilidade. O contexto morfológico serrano favorece o baixo grau de intemperismo das rochas e o predomínio da permeabilidade estrutural.

O Domínio do Quadrilátero Ferrífero (16) também é constituído prioritariamente por rochas metassedimentares paleoproterozóicas do Supergrupo Minas. Assim como a Serra do Espinhaço, também é um dos principais domínios geológicos e geomorfológicos de Minas Gerais. As litologias são diversificadas e marcadas por grandes sistemas estruturais. As litologias mais resistentes (quartzitos e itabiritos) sustentam os interflúvios serranos que delimitam o Quadrilátero. A textura, a estrutura e a inclinação das rochas favorecem a existência de eficientes aquíferos, que dão origem a um rico complexo de nascentes, muitas delas protegidas em unidades de conservação, visando, dentre outros, ao abastecimento público de água da numerosa população da região de Belo Horizonte. O interior do Quadrilátero é marcado principalmente por xistos do Supergrupo Rio das Velhas e pelo Complexo do Bação. Essas são rochas com permeabilidade advinda principalmente dos sistemas estruturais e de mantos de alteração mais espessos do que os das bordas serranas, não possuindo porém os planos de acamamento e de metamorfismo que conferem elevada permeabilidade.

O Domínio Metamórfico do Médio Noroeste Baiano (14) é caracterizado pelo grupo Rio Preto e por suas formações Santo Onofre e Sítio Novo, do Mesoproterozóico. Predominam filitos, xistos e quartzitos, havendo uma grande variação espacial no que tange aos lineamentos estruturais. Superficialmente, ocorrem coberturas sedimentares quaternárias na porção centro-norte, o que interfere na dinâmica hidrológica de acordo com a espessura e a organização desses sedimentos. As rochas metamórficas apresentam eficiente permeabilidade, mas o clima semi-árido não contribui para a recarga dos aquíferos.

O Domínio da Canastra (17) abrange o Planalto homônimo, no extremo sudoeste da bacia, bem como parte da borda leste do Planalto Central brasileiro. Predominam quartzitos, filitos e xistos do grupo Canastra, marcados por uma densa rede de lineamentos estruturais. Dessa maneira, condicionado pelo clima semi-úmido, o Domínio apresenta grande quantidade de nascentes, inclusive a do próprio rio São Francisco.

O Domínio da Borborema (18) também apresenta grande diversidade litológica associada a rochas metassedimentares e metamagmáticas neoproterozóicas, principalmente filitos, xistos e metagrauwacas. As estruturas geológicas conferem elevada permeabilidade, mas o clima semi-árido limita a recarga dos aquíferos.

Considerações finais

O processo de ocupação do interior do Brasil, que remonta ao século XVII, foi orientado pelos cursos d'água, que eram utilizados não apenas para o transporte mas também como fonte de alimentos e suprimento de água. As primeiras localidades da bacia do São Francisco surgiram em função da grande importância regional que o rio possuía, emoldurando, a partir de sua linearidade, uma primeira rede de cidades da bacia.

O declínio e o quase desaparecimento da navegação no São Francisco foram conseqüentes à expansão da malha rodoviária, em concomitância com processos de transformação do ambiente que geraram o assoreamento da calha do rio. Contudo, sua importância simbólica, cultural e econômica para boa parte da população da bacia parece incontestável. Da mesma forma, é clara a importância dos recursos hídricos para a dinâmica territorial das sub-regiões da bacia. Os contrastantes climas semi-árido e úmido, em associação com a capacidade de recarga e armazenamento hídrico dos aquíferos, condicionam a disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais em cada região.

Este trabalho suscita novas reflexões e estudos sobre a relevância das territorialidades-chaves, como foram aqui definidas, de forma que incorporem outras dimensões e critérios geográficos. Em unidades espaciais extensas, como a bacia do São Francisco, a escala de trabalho apresenta-se como um desafio, exigindo a investigação dos critérios mais adequados de definição de territorialidades. No caso em estudo, o quadro hidrogeológico foi considerado o elemento mais apropriado do quadro físico, por indicar o potencial de disponibilidades hídricas subterrâneas e superficiais a partir de características dos aquíferos como a permeabilidade. Esse critério refere-se à disponibilidade de água em quantidade, devendo-se salientar a importância da continuidade dos estudos para uma definição de territorialidades-chaves que também contemple os aspectos de disponibilidade hídrica em qualidade. Os usos que o homem faz da água são determinados por sua qualidade, podendo haver processos de atração ou repulsão de pessoas a partir da viabilidade desses usos.

A seleção dos aquíferos como unidades mais apropriadas para os objetivos do trabalho reflete sua importância na configuração do quadro espacial de disponibilidade hídrica, que, por sua vez, responde pela localização de mananciais subterrâneos e/ou superficiais que atuam como aglutinadores de atividades humanas. Situações de escassez hídrica em quantidade e qualidade, por seu lado, geram diferentes contextos de vulnerabilidade socioambiental.

A disponibilidade hídrica pode ser considerada o aspecto mais importante do quadro físico para a explicação do atual retrato de fluxos sociais, demográficos e econômicos na bacia. As territorialidades-chaves representam, portanto, os pólos humanos mais populosos associados aos principais domínios hidrogeológicos da bacia. O mapa das territorialidades elaborado pode, desse modo, contribuir para futuros estudos sobre as espacialidades regionais.

Deve-se ressaltar, finalmente, que a aplicabilidade da proposta deve ser contextualizada em função de objetivos que contemplem a organização e a distribuição espacial da população que definem as territorialidades. Situações como os importantes espaços agrícolas em que a água utilizada para irrigação possui fonte principalmente subterrânea não apresentam, necessariamente, relação com a concentração populacional. Na bacia, o exemplo de Barreiras é o mais clássico, onde a expansão da sojicultura é apoiada pela irrigação por pivôs centrais, com grande dispêndio de água. Territorialidades de caráter populacional podem ser complementadas por outras categorias de territorialidades que contemplem a relação entre usos e atividades humanas e apropriação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Referências

- ALKMIN, F. F.; MARTINS NETO, M. A. A bacia intercratônica do São Francisco: arcabouço estrutural e cenários evolutivos. In: PINTO, C. P.; MARTINS NETO, M. A. (Ed.). *Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais*. Belo Horizonte: SGB-MG, 2001. p. 9-30.
- ALMEIDA, F. G. Ordenamento territorial e a geografia física no processo de gestão ambiental. In: SANTOS, M. *et al. Território, territórios: ensaios sobre o ordenamento territorial*. 2. ed. Rio de Janeiro: DP&A, 2006. p. 333-354.
- ANJOS, N. F. R. *et al.* (Org.). *Mapa hidrogeológico de América del Sur*: texto explicativo organizado por Nelson da Franca Ribeiro dos Anjos e Albert Mente. Rio de Janeiro: Programa Hidrológico Internacional/ Departamento Nacional de Produção Mineral; Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1996. Escala 1:5.000.000.
- BRASIL. *Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997*. Instituto a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989.
- Brasília, 1997. Disponível em: <<https://www.presidencia.gov.br/>>. Acesso em: 19 fev. 2007.
- BRUNET, R. *et al. Les mots de la géographie: dictionnaire critique*. Paris: La Documentation Française Reclus, 1990.
- CALDEIRON, S. S.; IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Recursos naturais e meio ambiente: uma visão do Brasil*. Rio de Janeiro: Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais/ IBGE, 1993.
- CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. *Carta geológica do Brasil ao milionésimo*. Brasília: CPRM, 2004. (Cartas: Belo Horizonte, Rio de Janeiro, São Francisco, Brasília, Aracajú, Salvador).
- FEITOSA F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (Coord.). *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. Fortaleza: CPRM; LABHID/UFPE, 1997.
- FERRER, C. W. *Applied hydrogeology*. 3. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1994.
- FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. *Groundwater*. New Jersey: Prentice Hall, 1979.
- HOGAN, D. J.; MARANDOLA JR., E. Vulnerabilidades e risco: entre geografia e demografia. *Revista Brasileira de Estudos de População*, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 29-53, jan./jun. 2005.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Atlas nacional do Brasil*. 3. ed. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências/IBGE, 2000a.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo demográfico de 2000*. Rio de Janeiro: IBGE, 2000b.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Mapa de climas do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. Escala 1:5.000.000.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Mapa de unidades de relevo do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. Escala 1:5.000.000.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Mapa de vegetação do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Escala 1:5.000.000.
- MATOS, R. Grandes territorialidades, planejamento e questões ambientais. *Cadernos do LESTE*, Belo Horizonte, v. 6, n. 6, p. 45-60, dez. 2004.
- MOURÃO, M. A. A.; CRUZ, W. B.; GONÇALVES, R. L. F. Caracterização hidrogeológica da porção mineira da bacia hidrográfica do São Francisco. In: PINTO, C. P.; MARTINS NETO, M. A. (Ed.). *Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais*. Belo Horizonte: SGB-MG, 2001. p. 327-349.
- PATRUS, M. L. R. A. *et al.* Parcela mineira da bacia do rio São Francisco: caracterização hidroclimática e avaliação dos recursos hídricos de superfície. In: PINTO, C. P.; MARTINS NETO, M. A. (Ed.). *Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais*. Belo Horizonte: SGB-MG, 2001. p. 285-326.
- ROSS, J. L. S. Relevô brasileiro: uma nova proposta de classificação. *Revista do Departamento de Geografia da FFLCH/USP*, São Paulo, n. 4, p. 25-39, 1985.
- SACK, R. *Human territoriality: its theory and history*. Cambridge: Cambridge University Press, 1986.
- SCHOBENHAUS, C. *Geologia do Brasil: texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais*. Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral, 1984.
- TODD, D. K.; MAYS, L. W. *Groundwater hydrology*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2005.