



## **Cadernos de Recursos Hídricos**

# ***DISPONIBILIDADE E DEMANDAS DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL***

**República Federativa do Brasil**

Luiz Inácio Lula da Silva  
Presidente

**Ministério do Meio Ambiente – MMA**

Marina Silva  
Ministra

**Agência Nacional de Águas - ANA**

**Diretoria Colegiada**

José Machado – Diretor-Presidente  
Benedito Braga  
Oscar de Moraes Cordeiro Netto  
Bruno Pagnoccheschi  
Dalvino Troccoli Franca

**Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos**

João Gilberto Lotufo Conejo

**Superintendência de Usos Múltiplos**

Joaquim Guedes Corrêa Gondim Filho

**Superintendência de Conservação de Água e Solo**

Antônio Félix Domingues

**Superintendência de Outorga e Cobrança**

Francisco Lopes Viana

**Superintendência de Fiscalização**

Gisela Damm Forattini

**Superintendência de Apoio a Comitês**

Rodrigo Flecha Ferreira Alves

**Superintendência de Informações Hidrológicas**

Valdemar Santos Guimarães

**Superintendência de Tecnologia e Capacitação**

José Edil Benedito

**Superintendência de Administração e Finanças**

Luis André Muniz

**AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS  
MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE**

# **DISPONIBILIDADE E DEMANDAS DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL**

*Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos  
Superintendência de Conservação de Água e Solo  
Superintendência de Usos Múltiplos*

## **EQUIPE TÉCNICA**

*João Gilberto Lotufo Conejo – Coordenação Geral  
Superintendente de Planejamento de Recursos Hídricos*

## **TÉCNICOS**

*Bolivar Antunes Mattos – Coordenação Executiva  
Alexandre Lima de F. Teixeira  
Carlos Alexandre Príncipe Pires  
Fernando Roberto de Oliveira  
João Augusto B. Burnett  
José Luiz Gomes Zoby  
Marcos Airton de Sousa Freitas*

## **COLABORADORES**

*Fernando Arruda Damascena  
Guilherme Batista Correa  
Moema Versiani Acselrad  
Rafael Carneiro Di Bello*

**Brasília – DF  
Maio – 2005**

© Agência Nacional de Águas – ANA  
Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Blocos B, L e M  
CEP 70610-200, Brasília / DF  
PABX: 2109-5400  
Endereço eletrônico: <http://www.ana.gov.br>

**Equipe editorial:**

*Supervisão editorial:* Bolivar Antunes Matos

*Elaboração dos originais:* SPR, SUM e SAS

*Revisão dos originais:* SPR

*Editoração eletrônica dos originais:* SPR

*Projeto gráfico, editoração e arte-final:* SPR

*Capa e ilustração:* SPR

*Diagramação:* SPR

**Todos os direitos reservados**

É permitida a reprodução de dados e de informações contidos nesta publicação, desde que citada a fonte.

**CIP-Brasil (Catalogação-na-publicação)**

ANA - CDOC

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2. METODOLOGIA</b>	<b>3</b>
2.1. Precipitação	3
2.2. Vazão natural e de estiagem	3
2.3. Evapotranspiração	4
2.4. Vazão regularizada	5
2.5. Disponibilidade de águas superficiais	6
2.6. Disponibilidade de águas subterrâneas	6
2.7. Demandas de recursos hídricos	9
2.8. Outorga de direito de usos dos recursos hídricos	12
2.9. Balanço entre disponibilidade e demandas	12
<b>3. DIVISÃO HIDROGRÁFICA NACIONAL E UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE REFERÊNCIA</b>	<b>14</b>
<b>4. ÁGUAS SUPERFICIAIS</b>	<b>16</b>
4.1. Precipitação	16
4.2. Vazões médias e de estiagem	21
4.3. Sazonalidade e escoamento superficial	25
4.4. Variação climática e escoamento superficial	27
4.5. Vazões regularizadas	29
4.6. Balanço hídrico e evapotranspiração	34
<b>5. ÁGUAS SUBTERRÂNEAS</b>	<b>36</b>
5.1. Bacias Sedimentares Proterozóicas	37
5.2. Bacias Sedimentares Fanerozóicas	38
5.3. Terrenos Cristalinos	41
5.4. Principais Sistemas Aquíferos	43
<b>6. DEMANDAS DE RECURSOS HÍDRICOS</b>	<b>77</b>
<b>7. OUTORGAS DE DIREITO DE USOS DOS RECURSOS HÍDRICOS</b>	<b>82</b>
<b>8. BALANÇO ENTRE DISPONIBILIDADE E DEMANDA</b>	<b>87</b>
8.1. Águas superficiais	87
8.2. Águas subterrâneas	109
<b>9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	<b>112</b>
<b>10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>118</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Divisão Hidrográfica Nacional (Resolução nº 32 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos).....	14
Figura 3.2 Regiões hidrográficas, sub-regiões e unidades hidrográficas de referência.....	15
Figura 4.1 Isoietas anuais no país, entre 1961 e 1990.....	16
Figura 4.2 Isoietas mensais no país, entre 1961 e 1990.....	18
Figura 4.3 Chuvas médias mensais em postos pluviométricos (dados de 1961-1990).....	19
Figura 4.4 Variação percentual da precipitação no país entre os períodos de 1961-1990 e 1931-1960.....	20
Figura 4.5 Contribuição da vazão média nas regiões, em percentagem.....	22
Figura 4.6 Contribuição média anual das regiões hidrográficas, em km <sup>3</sup> .....	23
Figura 4.7 Vazões específicas nas unidades hidrográficas de referência.....	24
Figura 4.8 Hidrogramas nas regiões hidrográficas Amazônica, Tocantins/Araguaia, São Francisco, Paraná, Paraguai e Uruguai.....	26
Figura 4.9 Série normalizada de vazões naturais nas regiões hidrográficas Tocantins/Araguaia, São Francisco e Paraná, entre 1931 e 2001.....	28
Figura 4.10 Diagrama com a vazão regularizada pelas hidrelétricas do rio Tocantins.....	31
Figura 4.11 Diagrama com a vazão regularizada pelas hidrelétricas do rio São Francisco.....	31
Figura 4.12 Diagrama com a vazão regularizada pelas hidrelétricas do rio Paraíba do Sul.....	32
Figura 4.13 Diagrama com a vazão regularizada pelas hidrelétricas do rio Paranaíba.....	32
Figura 4.14 Diagrama com a vazão regularizada pelas hidrelétricas do rio Grande.....	32
Figura 4.15 Diagrama com a vazão regularizada pelas hidrelétricas do rio Tietê.....	32
Figura 4.16 Diagrama com a vazão regularizada pelas hidrelétricas do rio Paranapanema.....	33
Figura 4.17 Diagrama com a vazão regularizada pelas hidrelétricas do rio Paraná.....	33
Figura 4.18 Diagrama com a vazão regularizada pelas hidrelétricas do rio Iguaçu.....	33
Figura 4.19 Diagrama com a vazão regularizada pelas hidrelétricas do rio Uruguai.....	33
Figura 4.20 Balanço hídrico anual no país.....	35
Figura 5.1 Principais domínios sedimentares (em verde) e cristalinos (amarelo).....	37

Figura 5.2 Área de recarga dos principais sistemas aquíferos do país. ....	43
Figura 5.3 Perfil geológico na Bacia Sedimentar do Amazonas. ....	47
Figura 5.4 Perfil geológico da Bacia Potiguar. ....	49
Figura 5.5 Perfil geológico na Bacia Sedimentar do Parnaíba. ....	52
Figura 5.6 Perfil geológico próximo a São Luís-MA. ....	57
Figura 5.7 Perfil geológico da Bacia Sedimentar do Araripe. ....	58
Figura 5.8 Perfil geológico na zona norte de Recife-PE. ....	63
Figura 5.9 Perfil geológico na Bacia Sedimentar do Recôncavo. ....	65
Figura 5.10 Perfil gravimétrico interpretado, a sul da cidade de Barreiras-BA. ....	68
Figura 5.11 Perfil geológico da Bacia Sedimentar do Paraná. Os sistemas aquíferos Furnas e Ponta Grossa pertencem ao Grupo Paraná. ....	71
Figura 6.1 Vazões de retirada, consumo e retorno nas regiões hidrográficas. ....	78
Figura 6.2 Vazões de retirada para os diferentes usos nas regiões hidrográficas. ....	78
Figura 6.3 Vazões de consumo para os diferentes usos nas regiões hidrográficas. ....	79
Figura 6.4 Vazões de retirada para os diferentes usos no país. ....	79
Figura 6.5 Vazões de consumo para os diferentes usos no país. ....	80
Figura 6.6 Retirada de água para irrigação por unidade de área. ....	81
Figura 7.1 Número de outorgas para captação emitidas nos estados. ....	83
Figura 7.2 Vazões outorgadas para captação emitidas nos estados. ....	83
Figura 7.3 Vazões disponíveis, de retirada e outorgadas no país. ....	84
Figura 7.4 Vazões outorgadas por uso consuntivo, em percentual. ....	84
Figura 7.5 Vazão outorgada por região hidrográfica. ....	85
Figura 7.6 Relação entre a vazão outorgada (reduzida) e a vazão de retirada nas regiões hidrográficas. ....	86
Figura 8.1 Vazão média anual por habitante. ....	88
Figura 8.2 Disponibilidade e demanda de recursos hídricos, ao longo do rio Verde Grande. ....	89
Figura 8.3 Disponibilidade e demanda de recursos hídricos, ao longo do rio Jaguaribe. ....	90
Figura 8.4 Disponibilidade e demanda de recursos hídricos, ao longo do rio Tietê. ....	90
Figura 8.5 Disponibilidade e demanda de recursos hídricos, ao longo do rio Tocantins. ....	91
Figura 8.6 Relação entre demanda e disponibilidade hídrica nos principais cursos d'água. ....	92

Figura 8.7 Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Amazônica.....	94
Figura 8.8 Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Tocantins/Araguaia. ....	95
Figura 8.9 Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental.....	96
Figura 8.10 Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Parnaíba.....	97
Figura 8.11 Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental.....	98
Figura 8.12 Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica São Francisco.....	99
Figura 8.13 Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Atlântico Leste.....	100
Figura 8.14 Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Atlântico Sudeste.....	101
Figura 8.15 Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Atlântico Sul.....	102
Figura 8.16 Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Paraná.....	103
Figura 8.17 Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Uruguai.....	104
Figura 8.18 Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Paraguai.....	105

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Retiradas médias por habitante e por faixa populacional. ....	10
Tabela 4.1 Precipitação média anual nas regiões hidrográficas. ....	17
Tabela 4.2 Vazões médias e de estiagem nas regiões hidrográficas e no país...	21
Tabela 4.3 Vazão regularizada pelas principais usinas hidrelétricas. ....	29
Tabela 4.4 Balanço hídrico simplificado. ....	34
Tabela 5.1 Disponibilidade de águas subterrâneas nos principais sistemas aquíferos do país.....	44
Tabela 5.2 Distribuição das áreas de recargas dos aquíferos nas regiões hidrográficas do país. ....	46
Tabela 5.3 Produtividade dos poços do sistema aquífero Serra Grande. ....	53
Tabela 5.4 Produtividade dos poços do sistema aquífero Cabeças.....	54
Tabela 5.5 Produtividade dos poços do sistema aquífero Poti-Piauí. ....	55
Tabela 5.6 Produtividade dos poços no aquífero Corda. ....	56
Tabela 5.7 Produtividade dos poços do sistema aquífero Barreiras. ....	60
Tabela 5.8 Produtividade dos poços do aquífero Beberibe.....	63
Tabela 5.9 Produtividade dos poços do sistema aquífero Inajá. ....	65
Tabela 5.10 Produtividade dos poços do sistema aquífero São Sebastião.....	66
Tabela 5.11 Produtividade dos poços do sistema aquífero Marizal. ....	67
Tabela 5.12 Produtividade dos poços do sistema aquífero Furnas.....	70
Tabela 5.13 Distribuição da área do sistema aquífero Guarani, por estado.....	72
Tabela 5.14 Síntese das avaliações de reservas para o sistema aquífero Guarani. ....	72
Tabela 5.15 Produtividade dos poços do sistema aquífero Guarani. ....	74
Tabela 6.1 Vazões de retirada, consumo e retorno e percentuais. ....	77
Tabela 6.2 Área irrigada e vazões de retirada e consumo para irrigação. ....	80
Tabela 6.3 Vazões de retirada e consumo para irrigação. ....	81
Tabela 7.1 Outorgas para captação no país. ....	82
Tabela 8.1 Vazão média por habitante no país. ....	87
Tabela 8.2 Principais rios com trechos onde a relação entre demanda e disponibilidade é, pelo menos, preocupante (>10%).....	106
Tabela 8.3 Disponibilidade hídrica e demanda potencial de água nos principais sistemas aquíferos do país.....	110



## 1. INTRODUÇÃO

A Agência Nacional de Águas - ANA, conforme as atribuições conferidas pela sua Lei de criação (9.984/2000), tem a finalidade de implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos, cabendo-lhe, entre outras atribuições, promover a elaboração de estudos para subsidiar a aplicação de recursos financeiros da União em obras e serviços de regularização de cursos d'água, de alocação e distribuição de água e controle da poluição hídrica, em consonância com o estabelecido nos Planos de Recursos Hídricos. É atribuição da Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos da ANA elaborar e manter atualizado o diagnóstico de oferta e demanda, em quantidade e qualidade, dos recursos hídricos do país.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar a disponibilidade, a demanda de recursos hídricos e o balanço entre as duas, nas doze regiões hidrográficas brasileiras e nos principais cursos d'água, fornecendo subsídios e recomendações para ações dos órgãos gestores.

A disponibilidade hídrica de águas superficiais foi considerada como sendo a vazão regularizada pelo sistema de reservatórios a montante da seção de interesse, com 100% de garantia, somada à vazão incremental de estiagem (vazão com permanência de 95%, no trecho não regularizado). Em rios sem regularização, portanto, a disponibilidade foi considerada como apenas a vazão de estiagem (com permanência de 95%).

O cálculo de disponibilidade hídrica foi baseado nas séries de vazões naturais das principais bacias do Sistema Interligado Nacional e nos dados pluviométricos e fluviométricos do Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas. Em relação às águas subterrâneas, admitiu-se que a disponibilidade corresponde a 20% das reservas renováveis, desconsiderando a contribuição das reservas permanentes. Os principais aquíferos do país e suas potencialidades foram estimados a partir do Mapa Geológico e do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas do Serviço Geológico do Brasil - CPRM, e dos dados fluviométricos e pluviométricos acima mencionados.

O cálculo de demandas no país foi realizado a partir dos dados de censos demográficos, agropecuários e industriais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e do projeto “Estimativa das vazões para atividades de uso

consuntivo da água nas principais bacias do Sistema Interligado Nacional – SIN. Relatório Final – Metodologia e Resultados Consolidados” (ONS 2003), cujas vazões de consumo foram aprovadas pela Agência Nacional de Águas – ANA através das resoluções 209 a 216/04.

Os resultados mostram que o Brasil é rico em termos de disponibilidade hídrica, mas apresenta uma grande variação espacial e temporal das vazões. As bacias localizadas em áreas que apresentam uma combinação de baixa disponibilidade e grande utilização dos recursos hídricos passam por situações de escassez e estresse hídrico. Estas bacias, aqui destacadas, precisam de intensas atividades de planejamento e gestão dos recursos hídricos.

Este estudo técnico está estruturado em dez capítulos, apresentando a metodologia empregada, a base georreferenciada que foi utilizada, a disponibilidade de águas superficiais e subterrâneas, as demandas de recursos hídricos, um sucinto panorama das outorgas de direito de usos no país, o balanço entre disponibilidade e demandas, e as conclusões e recomendações finais.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Precipitação

A precipitação média anual foi determinada a partir do mapa de isoietas, elaborado para o país, através da interpolação por *krigagem* das Normais de Precipitação Total (Instituto Nacional de Meteorologia – INMET). Estas Normais correspondem a 204 estações pluviométricas operadas pelo INMET, abrangendo o período entre 1961 a 1990. Para estimativa da precipitação média anual nas regiões hidrográficas, sub-regiões, unidades hidrográficas de referência e sistemas aquíferos foi realizada a integração das isoietas na área de cada uma destas unidades.

### 2.2. Vazão natural e de estiagem

A vazão natural é aquela que seria originada na bacia hidrográfica se não houvesse qualquer interferência humana como usos consuntivos, derivações, regularizações, importações e exportações de água. Entretanto, esta condição não é observada na maior parte das bacias em decorrência das atividades antrópicas, que alteram as condições de uso e ocupação do solo e afetam diretamente as condições do escoamento superficial.

A vazão natural média não pode ser considerada como único parâmetro para representar a disponibilidade hídrica, uma vez que a descarga dos rios depende da sazonalidade e da variabilidade climática. Portanto, os períodos críticos em termos de disponibilidade hídrica devem ser avaliados, a fim de garantir uma margem de segurança às atividades de planejamento e gestão. As vazões de estiagem podem ser analisadas através da frequência de ocorrência de vazões em uma seção do rio da bacia hidrográfica. Adotou-se a vazão com permanência de 95% - a vazão média diária que é excedida ou igualada em 95% do tempo – como sendo representativa da disponibilidade hídrica em condição de estiagem.

A determinação das vazões (média e de estiagem) nas regiões hidrográficas Tocantins/Araguaia, São Francisco e Paraná foi baseada nos resultados do projeto “Revisão das séries de vazões naturais nas principais

bacias do Sistema Interligado Nacional” (ONS 2003). O projeto citado calculou as vazões naturais entre os principais aproveitamentos hidrelétricos para o período compreendido entre os anos de 1931 e 2001.

Nas demais regiões, as vazões foram obtidas a partir dos registros das estações fluviométricas que são operadas pela Agência Nacional de Águas e que estão disponíveis no Sistema de Informações Hidrológicas (<http://hidroweb.ana.gov.br/hidroweb/>). Para cada unidade hidrográfica de referência foi selecionada a estação fluviométrica mais próxima à foz, com a série hidrológica mais extensa (preferencialmente superior a 15 anos de dados) e foram calculados os seguintes indicadores:

- Vazão média de longo período  $Q_m$  (m<sup>3</sup>/s): definida pela média aritmética das vazões diárias de todo o período da série disponível;
- Vazão com permanência de 95%  $Q_{95}$  (m<sup>3</sup>/s): vazão que é igualada ou excedida em 95% do tempo (obtida com base na série disponível de vazões diárias).

Ainda foram determinadas as seguintes relações para cada estação fluviométrica:  $q_m = \frac{Q_m}{A}$  (vazão específica média, em L/s.km<sup>2</sup>) e  $r_{95} = \frac{Q_{95}}{Q_m}$ , onde  $A$  é a área de drenagem da estação. Para cálculo da vazão média ( $Q_m$ ) e da vazão de estiagem ( $Q_{95}$ ) de cada unidade hidrográfica utilizou-se das seguintes expressões:  $Q_m = A_s \cdot q_m$  e  $Q_{95} = Q_m \cdot r_{95}$ , onde  $A_s$  é a área da unidade hidrográfica de referência.

Em situações nas quais não se dispunha de dados, foram adotados valores de vazões específicas de bacias contíguas com características físicas e hidrológicas similares. Apesar das limitações do método e dos dados disponíveis, observou-se a coerência global das estimativas obtidas.

### 2.3. Evapotranspiração

A evapotranspiração real, em cada unidade hidrográfica do país, foi calculada através do balanço hídrico simplificado:  $ETr = P$  (precipitação) –  $Q$  (escoamento superficial). Portanto, outras eventuais perdas, como a recarga de água subterrânea para fora da bacia e usos consuntivos, encontram-se incorporadas na estimativa da evapotranspiração real.

## **2.4. Vazão regularizada**

Os reservatórios são capazes de armazenar água nos períodos úmidos e liberar parte do volume armazenado nos períodos de estiagem, tornando disponível uma maior quantidade de água quando esta seria naturalmente menor. A vazão regularizada é a quantidade de água que pode ser fornecida por um reservatório com uma determinada segurança, considerado o período de dados da série histórica de vazões afluentes. Do ponto de vista teórico, a maior vazão que pode ser regularizada é a vazão natural média. Entretanto, a vazão regularizada também é função das condições de operação dos reservatórios, que depende diretamente dos seus usos múltiplos, que pode incluir a geração de energia, abastecimento humano, irrigação e o amortecimento de cheias, entre outros.

O balanço hídrico dos principais reservatórios em operação no país e integrantes do Sistema Interligado Nacional (SIN) foi realizado com a finalidade de estimar a vazão regularizada. Esta vazão foi calculada através da utilização de um modelo para alocação de água em sistemas complexos de recursos hídricos (AcquaNet), desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Considerou-se que a variação de armazenamento nos reservatórios é igual à soma das vazões naturais afluentes, menos a soma das vazões defluentes e da evaporação, durante o período disponível de dados. A simulação foi realizada a partir dos dados de vazões naturais, evaporações líquidas (diferença entre a evaporação real do reservatório e a evapotranspiração real no local antes da sua implantação) e curvas cota-área-volume para o período de 1931 a 2001. Em cada reservatório, foi determinada a vazão regularizada com a garantia de 100% de fornecimento de água, considerando a operação simultânea dos reservatórios.

Adicionalmente, baseadas em informações existentes em Planos Diretores, foram compiladas as vazões regularizadas pelos principais açudes do Nordeste.

## **2.5. Disponibilidade de águas superficiais**

Este estudo considera a disponibilidade hídrica superficial na bacia como sendo a vazão regularizada pelo sistema de reservatórios a montante da seção de interesse, com 100% de garantia, somada à vazão incremental de estiagem (vazão com permanência de 95%, no trecho não regularizado). Em rios onde não existe regularização, a disponibilidade hídrica foi considerada como igual à vazão de estiagem.

A vazão de estiagem (com permanência de 95%) foi calculada a partir das séries de vazões naturais (regiões Tocantins/Araguaia, São Francisco, Paraná) e das estações fluviométricas existentes (demais regiões).

As restrições impostas aos cursos d'água pelos seus diferentes usos como, por exemplo, o comprometimento da qualidade das águas, as vazões para diluição de efluentes, a operação de reservatórios e a manutenção de vazões mínimas para conservação de ecossistemas não foram consideradas neste estudo.

## **2.6. Disponibilidade de águas subterrâneas**

A caracterização dos principais sistemas aquíferos do país foi baseada no seu potencial hídrico, em termos de reserva e produtividade, da sua extensão e importância no abastecimento regional. Considerando estes critérios, o estudo concentrou-se principalmente nos aquíferos porosos situados nas bacias sedimentares. A base cartográfica digital utilizada foi o mapa geológico do Brasil, na escala 1:2.500.000, produzido pela CPRM (2001).

As informações sobre produtividade dos aquíferos baseiam-se nos dados de poços do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) da CPRM.

Foi realizada uma estimativa das reservas exploráveis ou disponibilidades hídricas dos principais aquíferos do país. Para tal, foi inicialmente calculada a área de recarga dos aquíferos, baseada no mapa geológico da CPRM, e a precipitação média sobre estas áreas, utilizando o mapa de isoietas do Brasil, contendo as Normais 1961-1990.

As reservas hídricas dos aquíferos são divididas em reservas renováveis e permanentes. As reservas permanentes ou seculares são aquelas que se situam abaixo da variação anual do nível freático. As reservas reguladoras ou renováveis correspondem ao volume de água armazenada no aquífero acima do nível freático mínimo. Elas correspondem, de forma geral, ao escoamento de base dos rios, ou seja, à contribuição do aquífero para os rios ao longo de um ano hidrológico. O valor de escoamento básico de um rio pode ser considerado, portanto, como valor de recarga dos aquíferos.

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 estudo, 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. Este valor também é considerado satisfatório sob o aspecto de manutenção da vazão dos rios, porque considera que apenas 20% do escoamento de base poderiam ser afetados pela captação de água subterrânea. As reservas exploráveis adotadas neste estudo representariam, portanto, 20% do escoamento de base dos rios.

O cálculo do escoamento básico foi realizado em hidrogramas selecionados de estações fluviométricas do Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas. Nos sistemas aquíferos sedimentares onde não foram encontradas estações fluviométricas elegíveis para os cálculos, a estimativa da relação escoamento básico/precipitação foi realizada a partir de valores de literatura ou valores calculados para sistemas aquíferos com características geológicas e geográficas similares (ANA, 2003).

Sabe-se que nas áreas de recarga dos aquíferos, uma parte da água que infiltra no solo, através de sistemas de fluxos locais a intermediários, participa do escoamento básico, enquanto que uma outra parte, que integra o sistema de fluxo

intermediário a regional, vai para as porções mais profundas dos aquíferos ou para as porções confinadas, a chamada recarga profunda. Na escala de trabalho adotada na presente avaliação, não foi possível identificar a parte de recarga profunda, embora estes valores sejam, em geral, baixos quando comparados ao valor do escoamento básico. Os dados de literatura mencionam a recarga profunda com valores entre 5 e 10% da recarga total (DAEE 1974).

Por fim, cabe destacar que as disponibilidades hídricas superficial e subterrânea, para fins de análise, não podem ser somadas para fornecer um valor de disponibilidade total. Na verdade, a disponibilidade hídrica superficial inclui, no seu valor, a disponibilidade subterrânea, já que esta representa uma parte do escoamento de base dos rios. A água subterrânea retirada em um determinado ponto implica em redução da contribuição do aquífero para o rio e, conseqüentemente, a diminuição da água disponível no rio.

A definição de sistemas aquíferos e aquíferos apresentada consiste em uma primeira aproximação sendo baseada, principalmente em critérios geológicos. Isso se deve ao caráter preliminar do trabalho, à base restrita de poços tubulares utilizadas para cálculos de vazão, bem como de parâmetros relativos aos aquíferos, tais como propriedades hidrodinâmicas, geometria e, naturalmente, da escala de baixa resolução utilizada para a segregação dos aquíferos. Os valores de produtividade de poços, parâmetros hidrodinâmicos e de escoamento básico (recarga) apresentados devem ser interpretados de forma cuidadosa, considerando a escala de trabalho adotada no estudo e as limitações intrínsecas ao processo de atribuição de valores médios dos parâmetros avaliados para unidades aquíferas de extensão regional. Evidentemente, que o percentual utilizado para estimar as reservas explotáveis em relação às reguladoras, constitui um valor inicial, que poderá ser maior ou menor, a depender do nível de conhecimento que se tem do sistema aquífero em questão, incluindo fatores ambientais e climáticos locais, entre outros. Não pode ser esquecido que a perenidade de cursos de água, lagos e áreas alagadas é mantida em parte pela contribuição das reservas reguladoras, de forma que ao explotá-las na totalidade, poder-se-á estar comprometendo a existência daqueles corpos superficiais e ecossistemas associados. Naturalmente, há outros agravantes, a depender de condições locais, no caso de se exaurir completamente as reservas reguladoras e parte das permanentes, tais como intrusão de cunha salina, problemas

geotécnicos, abatimento de terrenos em áreas cársticas, entre outros. Existem situações em que o volume e a intensidade da exploração podem contribuir para um aumento da recarga, renovação, entre outros benefícios. Todavia, só a partir de estudos hidrogeológicos detalhados é factível adotar um cenário de exploração mais intenso.

## **2.7. Demandas de recursos hídricos**

A estimativa das demandas relativas aos usos consuntivos da água tem por objetivo subsidiar os estudos técnicos que visam manter atualizado o balanço entre a demanda e a disponibilidade dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, no País.

Em 2004, a ANA aprovou as vazões de consumo estimadas no projeto “Estimativa das vazões para atividades de uso consuntivo da água nas principais bacias do Sistema Interligado Nacional – SIN. Relatório Final – Metodologia e Resultados Consolidados” (ONS 2003) Esse projeto forneceu a demanda de aproximadamente 2.240 municípios situados nas regiões hidrográficas São Francisco, Tocantins/Araguaia e Paraná. Estas demandas foram adotadas no presente trabalho. Nos demais municípios, aproximadamente 3.270, utilizou-se a metodologia descrita nas Notas Técnicas NT-007-SPR-03, NT-010-SPR-03, NT-013-SPR-03 (ANA 2003a, b, c) e adaptada aos resultados obtidos pelo ONS (2003).

A demanda de água corresponde à vazão de retirada, ou seja, a água captada destinada a atender os diversos usos consuntivos. Além desta informação, há o interesse em prever-se o volume de água efetivamente consumido durante seu uso. Para esta finalidade, duas outras classes de vazões são consideradas, a vazão de retorno e a vazão de consumo. As vazões de retorno podem ser obtidas a partir da vazão de retirada multiplicando-se pelo coeficiente de retorno determinado para cada tipo de consumo. A vazão de consumo é calculada pela diferença entre a vazão de retirada e a vazão de retorno. Em média, os coeficientes de retorno usados no presente trabalho são aqueles adotados em ONS (2003): abastecimento urbano – 0,8; abastecimento

rural – 0,5; abastecimento industrial – 0,8; irrigação – 0,2; criação de animais – 0,2.

Os diversos usos consuntivos considerados para o cálculo das demandas foram:

- Demanda urbana atendida;
- Demanda urbana não atendida;
- Demanda rural;
- Criação animal;
- Demanda industrial e
- Demanda de irrigação.

As demandas foram calculadas para cada município, utilizando-se a base municipal do IBGE, referente ao Censo Demográfico de 2000. Posteriormente, estas informações municipais foram agregadas nas diversas unidades de gerenciamento de recursos hídricos do País.

A demanda urbana foi subdividida em duas categorias: demanda urbana atendida que corresponde à população urbana atendida por rede geral e a demanda urbana não atendida, correspondente ao restante da população urbana. Para o cálculo da demanda urbana atendida, foram utilizadas retiradas médias de água por habitante obtidas a partir da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB (IBGE 2000) e do Censo Demográfico (IBGE 2000). Foram fixados limites mínimo e máximos de retiradas estabelecidos em função da população urbana, conforme mostrado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 Retiradas médias por habitante e por faixa populacional.

Faixa Populacional	Retiradas (L/habitante/dia)	
	Mínimo	Máximo
< 10.000	120	320
10.000 -100.000	150	340
100.000 – 500.000	180	360
> 500.000	200	380

A demanda urbana não-atendida (população não abastecida por rede geral de água) foi calculada pela diferença entre a população urbana e a população

atendida por rede geral multiplicada pelo *per capita* usado no cálculo da demanda rural.

A demanda rural refere-se ao consumo de água das comunidades rurais não incluindo atendimento relativo à criação de animais e à irrigação, ambos calculados separadamente. A demanda rural variou de 70 a 120 L/hab/dia, de acordo com o Estado.

Na determinação da demanda animal foi utilizado o parâmetro BEDA (unidade de equivalente animal) que corresponde ao total da pecuária em bovino equivalente, adotando-se o consumo igual a 50 L/BEDA/dia. Foi adicionado a este valor o consumo correspondente à criação de aves, assumindo-se o coeficiente igual a 0,4 L/ave/dia.

Para a demanda industrial procurou-se considerar as indústrias ou setores industriais que possuem sistemas próprios de abastecimento de água ou então sistemas de abastecimento diferenciados do restante da comunidade.

A demanda industrial é a mais difícil de ser obtida pela falta de informações adequadas que permitam relacionar parâmetros como tipologia da indústria, produção industrial e consumo de água para cada localidade. O problema é minimizado porque, em média, a demanda industrial não se constitui na parcela mais significativa do consumo de água no País, a qual corresponde a 18% da demanda total. A metodologia foi baseada no número de empregados na indústria de transformação (ANA 2003c). Estes valores, em L/empregado/dia, foram determinados em locais com informações sobre a demanda industrial e, posteriormente, extrapolados para as demais regiões. A faixa resultante variou de 800 a 7.250 L/empregado/dia definida em função do Estado e da população urbana do município.

O cálculo da demanda de irrigação baseou-se em parâmetros, tais como, área irrigada, precipitação e evapotranspiração potencial. Estes valores foram ajustados à estimativa de demandas de irrigação do ONS (2003).

Maiores detalhes sobre a metodologia aplicada para estimativas de usos consuntivos poderão ser obtidos no projeto “Estimativa das vazões para atividades de uso consuntivo da água nas principais bacias do Sistema Interligado Nacional – SIN. Relatório Final – Metodologia e Resultados Consolidados” do ONS (2003) e nas resoluções 209 a 216/2004 da ANA (e respectivas Notas Técnicas), que aprovam as estimativas de usos consuntivos nas bacias do rio São

Francisco, do rio Iguaçu, do rio Paraná, do rio Tocantins, do rio Paranapanema, do rio Tietê, do rio Grande e do rio Paranaíba.

## 2.8. Outorga de direito de usos dos recursos hídricos

As informações aqui apresentadas sobre outorgas de direito de recursos hídricos no país foram fornecidas pela Superintendência de Outorga e Cobrança da Agência Nacional de Águas.

## 2.9. Balanço entre disponibilidade e demandas

O balanço entre disponibilidade e demandas de recursos hídricos nas doze regiões hidrográficas foi realizado, analisando três situações diferentes:

(1) A razão entre a vazão média e a população. Utilizada para expressar a disponibilidade de recursos hídricos em grandes áreas, a vazão média por habitante é expressa pelo quociente entre a vazão média e a população ( $\text{m}^3/\text{hab}/\text{ano}$ ). Este indicador não reflete a real disponibilidade hídrica, ou seja, a efetiva quantidade de água disponível para uso, uma vez que a vazão média não está disponível em todas as circunstâncias. A classificação adotada é adaptada de publicações das Nações Unidas para traçar o quadro mundial (UNESCO 2003; Alcamo *et al.* 2000):

	< 500 $\text{m}^3/\text{hab}/\text{ano}$ – Situação de escassez;
	500 a 1. 700 $\text{m}^3/\text{hab}/\text{ano}$ – Situação de estresse;
	> 1.700 $\text{m}^3/\text{hab}/\text{ano}$ – Situação confortável.

(2) A razão entre a vazão de retirada para os usos consuntivos e a vazão média. A European Environment Agency e as Nações Unidas utilizam o Índice de Retirada de Água ou *water exploitation index*, que é igual ao quociente entre a retirada total anual e a vazão média de longo período. Este índice adota a seguinte classificação:

-  < 5% - Excelente. Pouca ou nenhuma atividade de gerenciamento é necessária. A água é considerada um bem livre;
-  5 a 10% - A situação é confortável, podendo ocorrer necessidade de gerenciamento para solução de problemas locais de abastecimento;
-  10 a 20% - Preocupante. A atividade de gerenciamento é indispensável, exigindo a realização de investimentos médios;
-  20% a 40% - A situação é crítica, exigindo intensa atividade de gerenciamento e grandes investimentos;
-  > 40% - A situação é muito crítica.

(3) A razão entre a vazão de retirada para os usos consuntivos e a disponibilidade hídrica (em rios sem regularização, a vazão de estiagem - a vazão com permanência de 95%; em rios com regularização, a vazão regularizada somada ao incremento de vazão com permanência de 95%). Neste estudo, este indicador será usado para refletir a situação real de utilização dos recursos hídricos. Para a definição de faixas de classificação deste índice, serão adotadas as mesmas faixas da situação (2), consideradas adequadas para o caso brasileiro.

Para as águas subterrâneas, o balanço foi realizado, considerando a relação entre a vazão de retirada para os usos consuntivos (demanda potencial), na área de recarga do aquífero, e a vazão explorável. Ou seja, esse indicador aponta a possibilidade, ou não, das águas subterrâneas atenderem a demanda total.

### 3. DIVISÃO HIDROGRÁFICA NACIONAL E UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE REFERÊNCIA

Com a instituição da Lei 9.433/97, definiu-se a bacia hidrográfica como a unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Tendo como base o princípio acima, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, instituiu a Divisão Hidrográfica Nacional, segundo a resolução no. 32, de 15 de outubro de 2003, como mostra a Figura 3.1.



Figura 3.1 Divisão Hidrográfica Nacional (Resolução nº 32 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos).

Considera-se como região hidrográfica o espaço territorial brasileiro compreendido por uma bacia, grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas com características naturais, sociais e econômicas homogêneas ou similares, com vistas a orientar o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos.

Para fins de planejamento e com a finalidade de estudar, detalhar e caracterizar as regiões hidrográficas, as 12 regiões foram divididas em 83

unidades (nível 2) e 332 unidades hidrográficas de referência (nível 3), como mostra a Figura 3.2, abrangendo os principais rios e sub-bacias da região. A divisão procurou preservar as unidades de gestão de recursos hídricos utilizadas por cada estado e Distrito Federal que compõem a bacia. Essas divisões, que em alguns estados foram estabelecidas por lei, levam em consideração aspectos diversos, entre eles, hidrográficos, socioeconômicos e concernentes à política local. O reconhecimento dessas áreas é de relevância fundamental para uniformização e troca de informações entre os órgãos federais e estaduais que tratam do assunto.

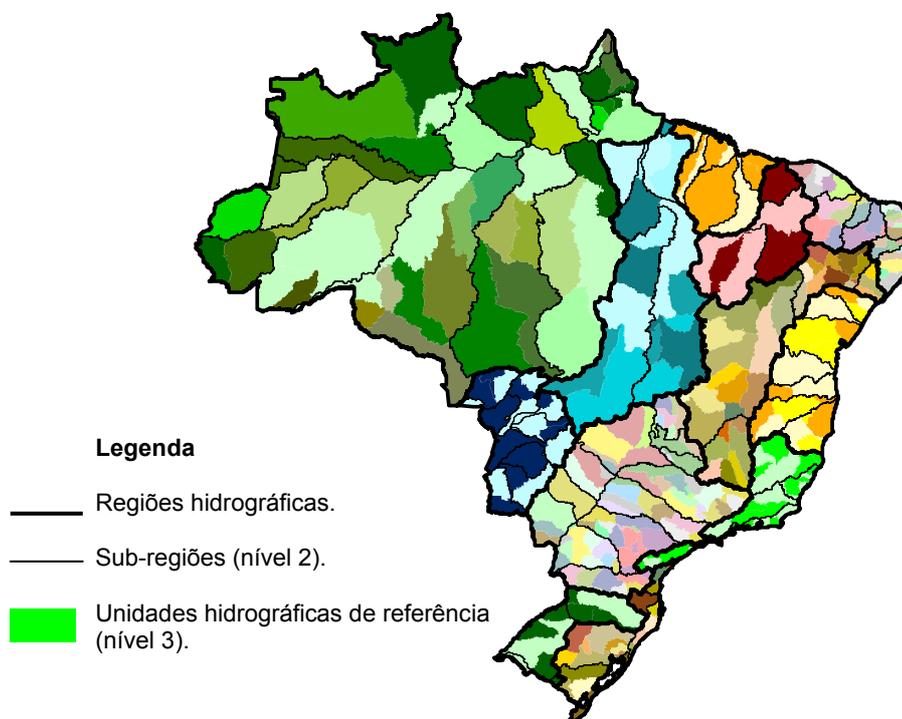


Figura 3.2 Regiões hidrográficas, sub-regiões e unidades hidrográficas de referência.

Adicionalmente, os principais rios das 12 regiões foram selecionados, com a finalidade de sua caracterização, por trechos. Tal procedimento possibilitou uma melhor identificação, localização e priorização de ações visando auxiliar as atividades de planejamento e gestão de recursos hídricos.

## 4. ÁGUAS SUPERFICIAIS

### 4.1. Precipitação

No país, a precipitação média anual é de 1.797 mm, variando desde menos de 800 mm, na região semi-árida do Nordeste, a mais de 2.500 mm, na Amazônia (Figura 4.1).

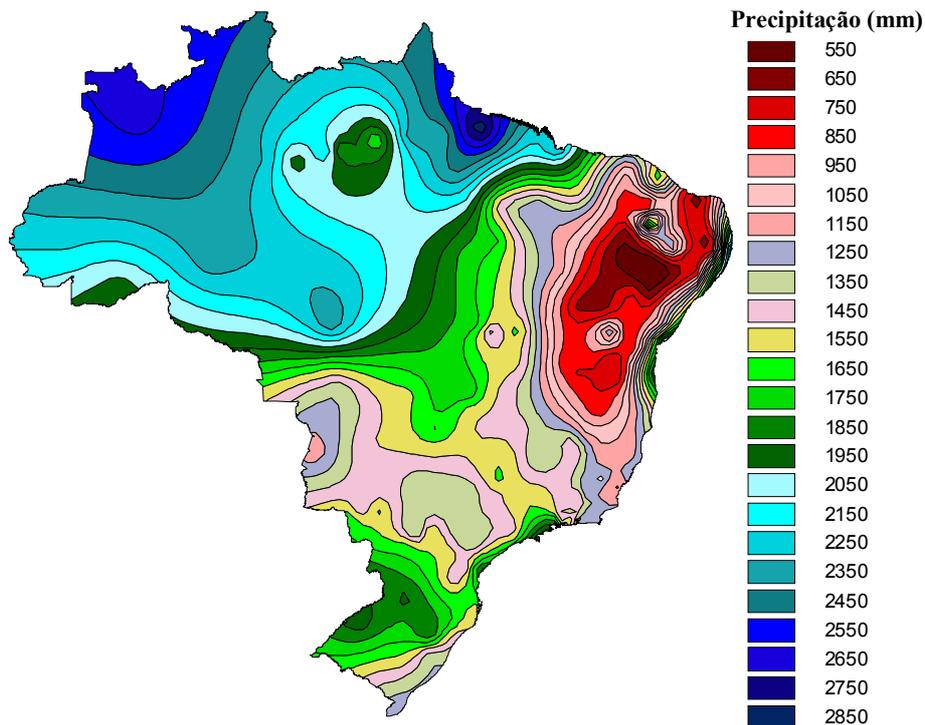


Figura 4.1 Isoietas anuais no país, entre 1961 e 1990.

A Tabela 4.1 mostra a precipitação média em cada uma das 12 regiões hidrográficas brasileiras. Os menores valores de precipitação no país ocorrem nas regiões hidrográficas do São Francisco (1.037 mm), Atlântico Leste (1.058 mm), Parnaíba (1.117 mm) e Atlântico Nordeste Oriental (1.218 mm). As maiores precipitações são observadas nas regiões Amazônica (2.239 mm), Tocantins/Araguaia (1.837 mm), Atlântico Nordeste Ocidental (1.790 mm) e Uruguai (1.785 mm).

Tabela 4.1 Precipitação média anual nas regiões hidrográficas.

<b>Região hidrográfica</b>	<b>Precipitação média* (mm)</b>
Amazônica	2.239
Tocantins/Araguaia	1.837
Atlântico Nordeste Ocidental	1.790
Parnaíba	1.117
Atlântico Nordeste Oriental	1.218
São Francisco	1.037
Atlântico Leste	1.058
Atlântico Sudeste	1.349
Atlântico Sul	1.568
Uruguai	1.785
Paraná	1.511
Paraguai	1.398
<b>Brasil</b>	<b>1.797</b>

\* Período 1961 - 1990

Além da grande variação espacial, é importante considerar a sazonalidade da precipitação, como mostra a Figura 4.2, que apresenta as isoietas mensais, entre 1961 e 1990. A Figura 4.3 mostra os hietogramas de algumas estações pluviométricas nas regiões hidrográficas.

As chuvas são abundantes e regulares na região hidrográfica Amazônica, concentrando-se nos meses de novembro a maio, como mostra o hietograma de uma estação em Manaus (Figura 4.3). A distribuição das isoietas (paralelas à linha do Equador, entre abril e julho) nessa região (Figura 4.2) demonstra a influência da Zona de Convergência Intertropical. No Nordeste do país, as chuvas concentram-se entre os meses de março a julho. No Nordeste Setentrional, a precipitação é mais intensa no período de março a maio, como mostra o hietograma, em Quixeramobim-CE, mas na costa leste do Nordeste, as chuvas podem prolongar-se até agosto, como mostra o hietograma em Maceió-AL.

O inverno seco atinge principalmente a região Centro-Oeste, em um período que se estende aproximadamente de junho a agosto (Figura 4.3 – Estação Brasília). Na região Sudeste ocorre uma diminuição das chuvas durante o inverno, principalmente no período de julho a agosto, e o aumento das chuvas durante o verão, entre os meses de dezembro a fevereiro (Figura 4.3 – Estação São Carlos). Na região Sul, as chuvas são bem distribuídas durante o ano, como mostra a estação em Passo Fundo-RS (Figura 4.3).

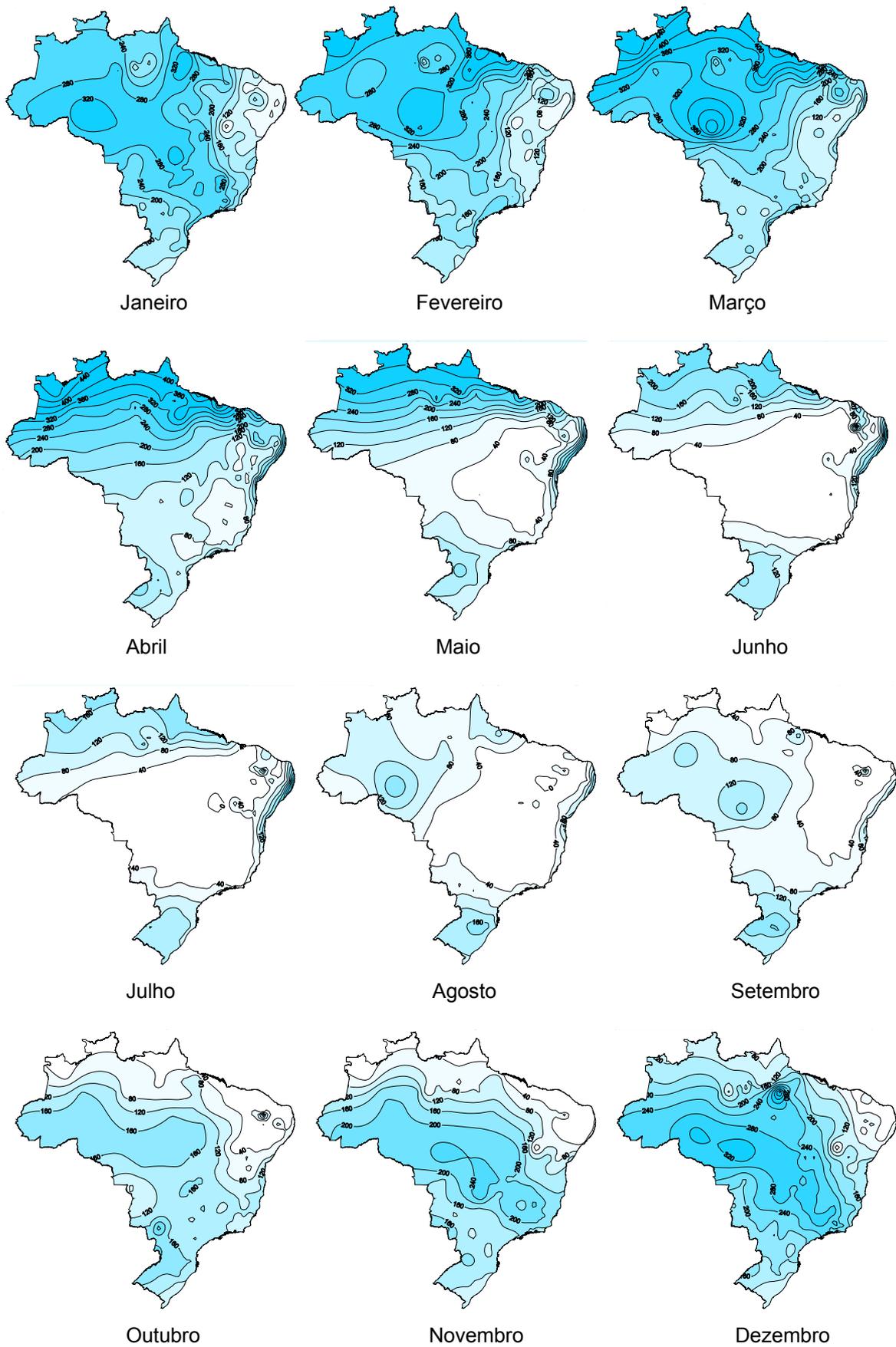


Figura 4.2 Isoietas mensais no país, entre 1961 e 1990.

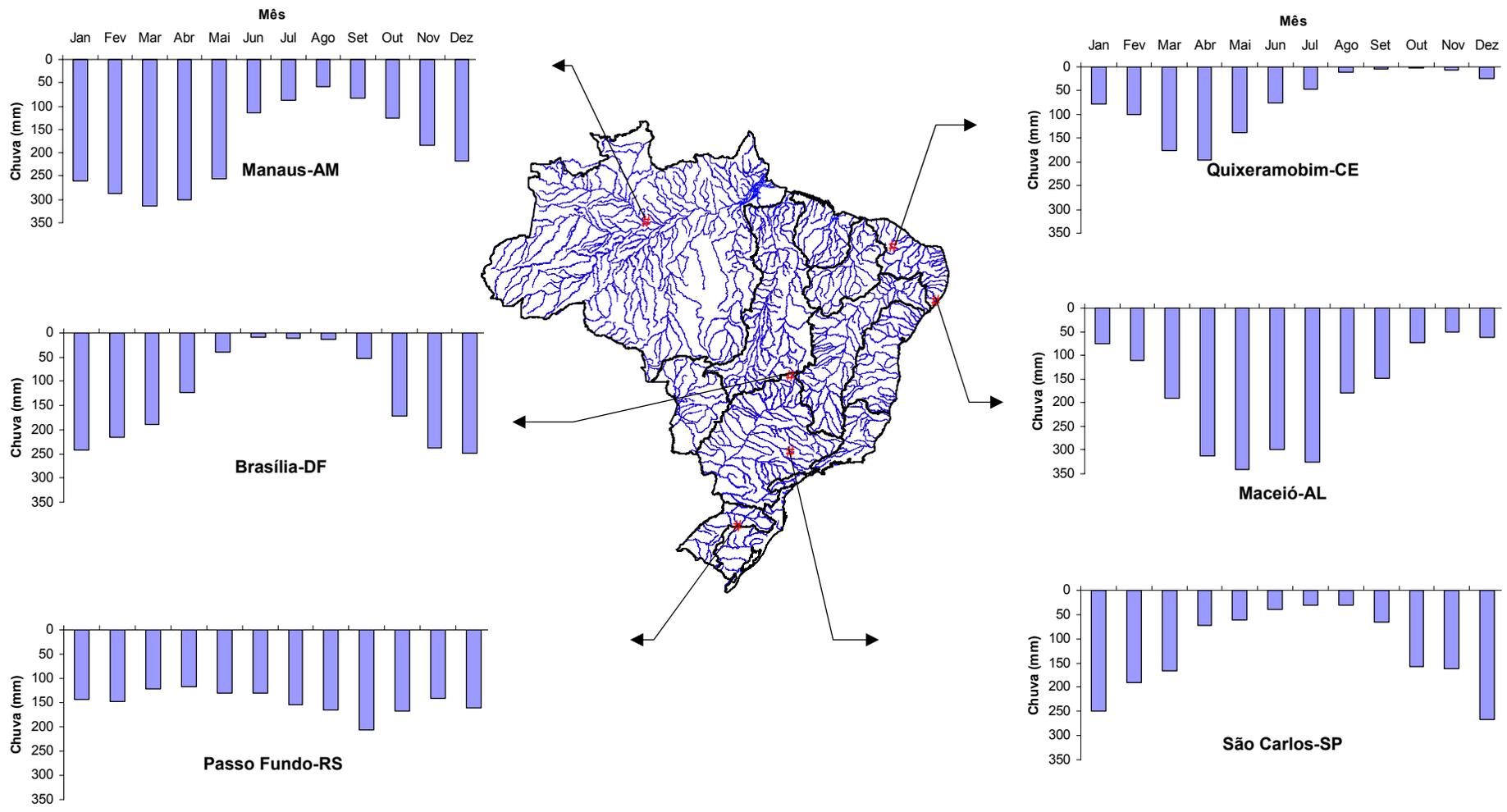


Figura 4.3 Chuvas médias mensais em postos pluviométricos (dados de 1961-1990).

A Figura 4.4 compara a precipitação média no país entre 1961 e 1990 com a precipitação ocorrida entre 1931 e 1960. Na maior parte do país, não há diferenças entre os dois períodos citados. As exceções são uma parte do semi-árido do Nordeste, que apresenta um aumento de até 40% nos valores médios de precipitação, no período 1961 a 1990, e partes das regiões Parnaíba, Atlântico Nordeste Oriental, e no Submédio São Francisco. Nota-se uma pequena diminuição da precipitação em determinados locais das regiões hidrográficas Amazônica e Atlântico Leste.

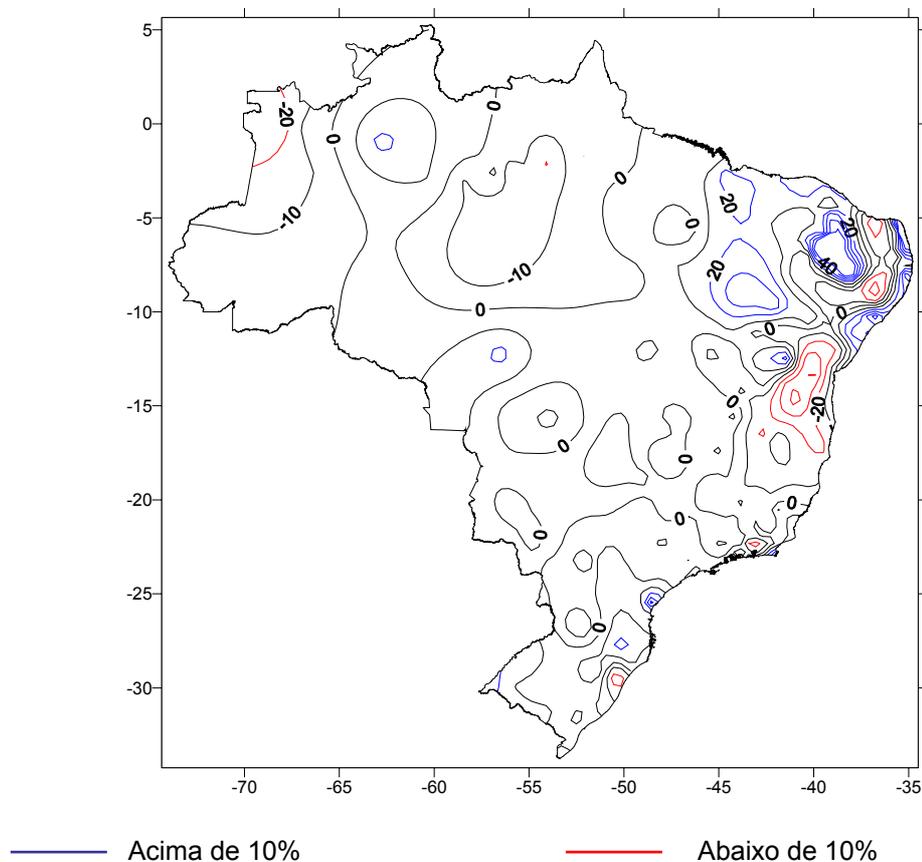


Figura 4.4 Variação percentual da precipitação no país entre os períodos de 1961-1990 e 1931-1960.

## 4.2. Vazões médias e de estiagem

A vazão média anual dos rios em território brasileiro é de 179 mil m<sup>3</sup>/s (5.660 km<sup>3</sup>/ano). Este valor corresponde a aproximadamente 12% da disponibilidade mundial de recursos hídricos, que é de 1,5 milhões de m<sup>3</sup>/s (44.000 km<sup>3</sup>/ano, Shiklomanov 1998). Levando-se em consideração as vazões oriundas em território estrangeiro que entram no país (Amazônica – 86.321 m<sup>3</sup>/s, Uruguai – 878 m<sup>3</sup>/s e Paraguai – 595 m<sup>3</sup>/s e), essa disponibilidade hídrica total atinge valores da ordem de 267 mil m<sup>3</sup>/s (8.427 km<sup>3</sup>/ano - 18% da disponibilidade mundial). A Tabela 4.2, a seguir, apresenta dados de vazões média e de estiagem do país e das doze regiões hidrográficas.

Tabela 4.2 Vazões médias e de estiagem nas regiões hidrográficas e no país.

Região hidrográfica	Área (km <sup>2</sup> )	Vazão média (m <sup>3</sup> /s)	Vazão de estiagem <sup>1</sup> (m <sup>3</sup> /s)
Amazônica <sup>2</sup>	3.869.953	131.947	73.748
Tocantins/Araguaia	921.921	13.624	2.550
Atlântico Nordeste Ocidental	274.301	2.683	328
Parnaíba	333.056	763	294
Atlântico Nordeste Oriental	286.802	779	32
São Francisco	638.576	2.850	854
Atlântico Leste	388.160	1.492	253
Atlântico Sudeste	214.629	3.179	989
Atlântico Sul	187.522	4.174	624
Uruguai <sup>3</sup>	174.533	4.121	391
Paraná	879.873	11.453	4.647
Paraguai <sup>4</sup>	363.446	2.368	785
<b>Brasil</b>	<b>8.532.772</b>	<b>179.433</b>	<b>85.495</b>

<sup>1</sup>: Vazão com permanência de 95%. <sup>2</sup>: A bacia amazônica ainda compreende uma área de 2,2 milhões de km<sup>2</sup> em território estrangeiro, a qual contribui com adicionais 86.321 m<sup>3</sup>/s, em termos de vazão média. <sup>3</sup> A bacia do rio Uruguai ainda compreende adicionais 37 mil km<sup>2</sup> em território estrangeiro, a qual contribui com 878 m<sup>3</sup>/s. <sup>4</sup> A bacia do rio Paraguai compreende adicionais 118 mil km<sup>2</sup> em território estrangeiro e 595 m<sup>3</sup>/s.

A Tabela 4.2 mostra ainda as vazões em épocas de estiagens, utilizando a vazão com permanência de 95% dos rios das regiões hidrográficas como referência. As maiores vazões de estiagem estão na região Amazônica, Paraná e Tocantins/Araguaia, enquanto as menores estão nas bacias do Atlântico Nordeste Oriental, Parnaíba e Atlântico Leste. Em geral as bacias hidrográficas localizadas sobre formações sedimentares, com maior área de drenagem e/ou com

regularidade das chuvas, apresentam vazões de estiagem entre 20 a 30% da vazão média, podendo alcançar 70%. Por outro lado, as bacias localizadas em terrenos cristalinos, com regime de chuva irregular possuem vazões de estiagem muito baixas, em geral, inferiores a 10% da vazão média. Com exceção das regiões hidrográficas Tocantins/Araguaia, São Francisco e Paraná (onde foram usadas séries de vazões naturais, ONS 2003), o cálculo das vazões de estiagem das demais bacias foi baseado nos dados observados das estações fluviométricas e pode, portanto, estar influenciado pelas eventuais regularizações e usos consuntivos existentes.

O exame da Tabela 4.2 e da Figura 4.5 permite verificar que a região hidrográfica Amazônica detém 73,6% dos recursos hídricos superficiais. Ou seja, a vazão média desta região é quase três vezes maior que a soma das vazões das demais regiões hidrográficas. A segunda maior região, em termos de disponibilidade hídrica, é a do Tocantins/Araguaia, com 13.624 m<sup>3</sup>/s (7,6%), seguida da região do Paraná, com 11.453 m<sup>3</sup>/s (6,4%). As bacias com menor vazão são, respectivamente: Parnaíba, com 763 m<sup>3</sup>/s (0,4%); Atlântico Nordeste Oriental, com 779 m<sup>3</sup>/s (0,4%) e Atlântico Leste, com 1.492 m<sup>3</sup>/s (0,8%).

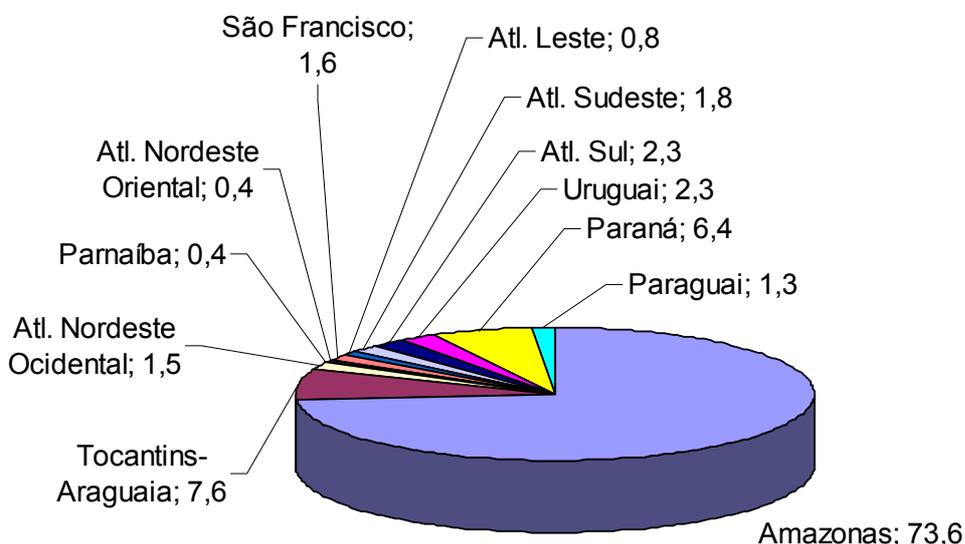


Figura 4.5 Contribuição da vazão média nas regiões, em percentagem.

A Figura 4.6 mostra a contribuição média anual de cada região, em km<sup>3</sup>. A região Amazônica contribui com 4.161 km<sup>3</sup>/ano; seguida do Tocantins/Araguaia,

com 430 km<sup>3</sup>/ano; o Paraná, com 361 km<sup>3</sup>/ano; o Atlântico Sul, com 132 km<sup>3</sup>/ano; o Uruguai, com 130 km<sup>3</sup>/ano; o Sudeste, com 100 km<sup>3</sup>/ano; o São Francisco com 90 km<sup>3</sup>/ano; o Nordeste Ocidental, com 85 km<sup>3</sup>/ano; o Paraguai com 75 km<sup>3</sup>/ano; o Leste com 47 km<sup>3</sup>/ano; o Nordeste Oriental com 25 km<sup>3</sup>/ano e finalmente, o Parnaíba com 24 km<sup>3</sup>/ano.

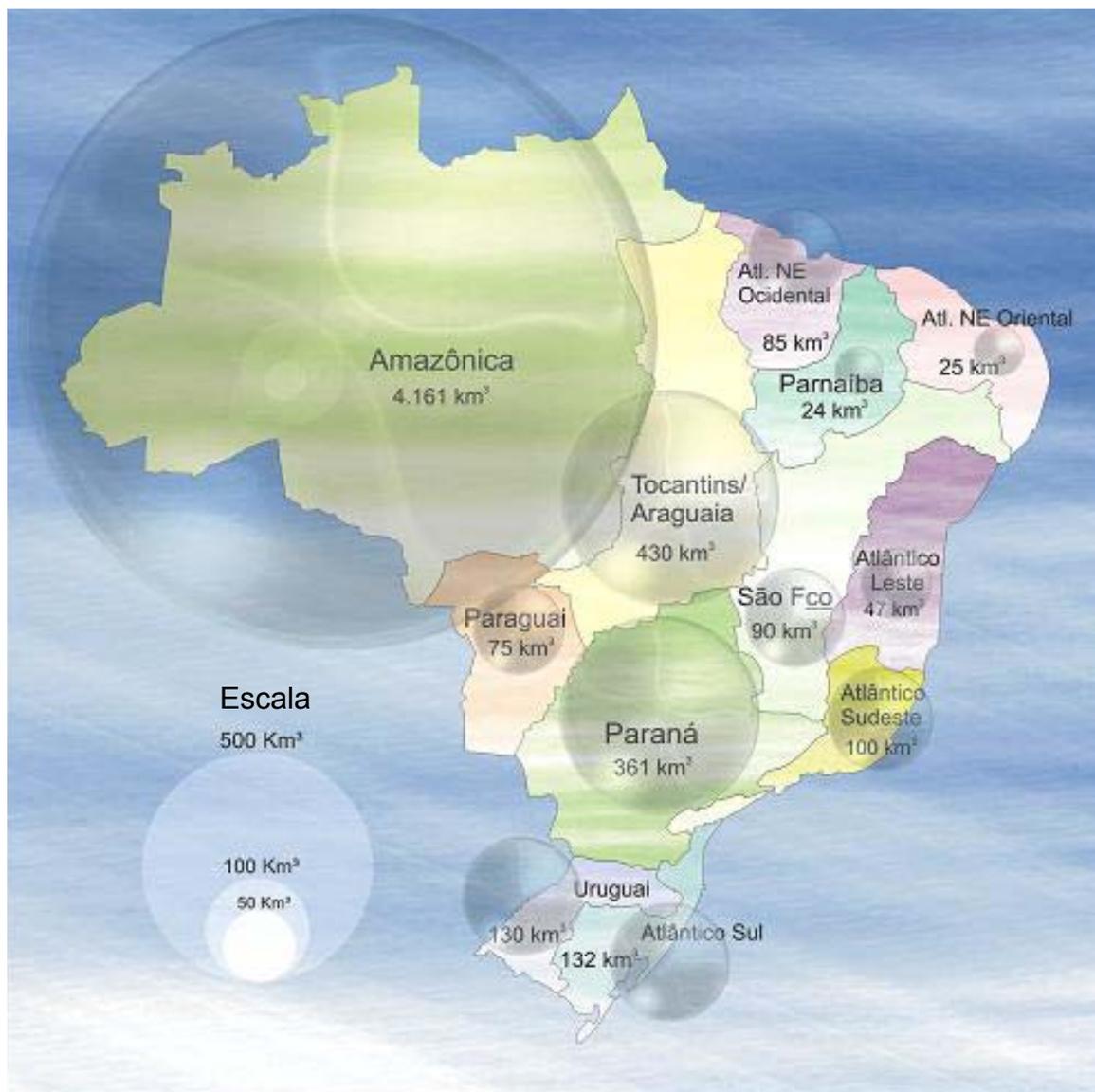


Figura 4.6 Contribuição média anual das regiões hidrográficas, em km<sup>3</sup>.

A Figura 4.7 mostra as vazões específicas em 332 unidades hidrográficas, das doze regiões hidrográficas. A vazão específica indica as regiões mais e menos produtoras de água. No Brasil, a vazão específica varia de menos de 2

L/s.km<sup>2</sup>, nas bacias da região semi-árida, até mais de 40 L/s.km<sup>2</sup>, no noroeste da região Amazônica, sendo a média nacional igual a 21 L/s.km<sup>2</sup>. A baixa vazão específica observada na região do Pantanal (região hidrográfica do Pantanal) mostra que esta área, apesar da abundância de água oriunda na região de Planalto, não é produtora de água, resultando em baixa contribuição da região do Pantanal ao escoamento superficial. No Pantanal há uma expressiva perda de água por evapotranspiração, como será visto no balanço hídrico simplificado.

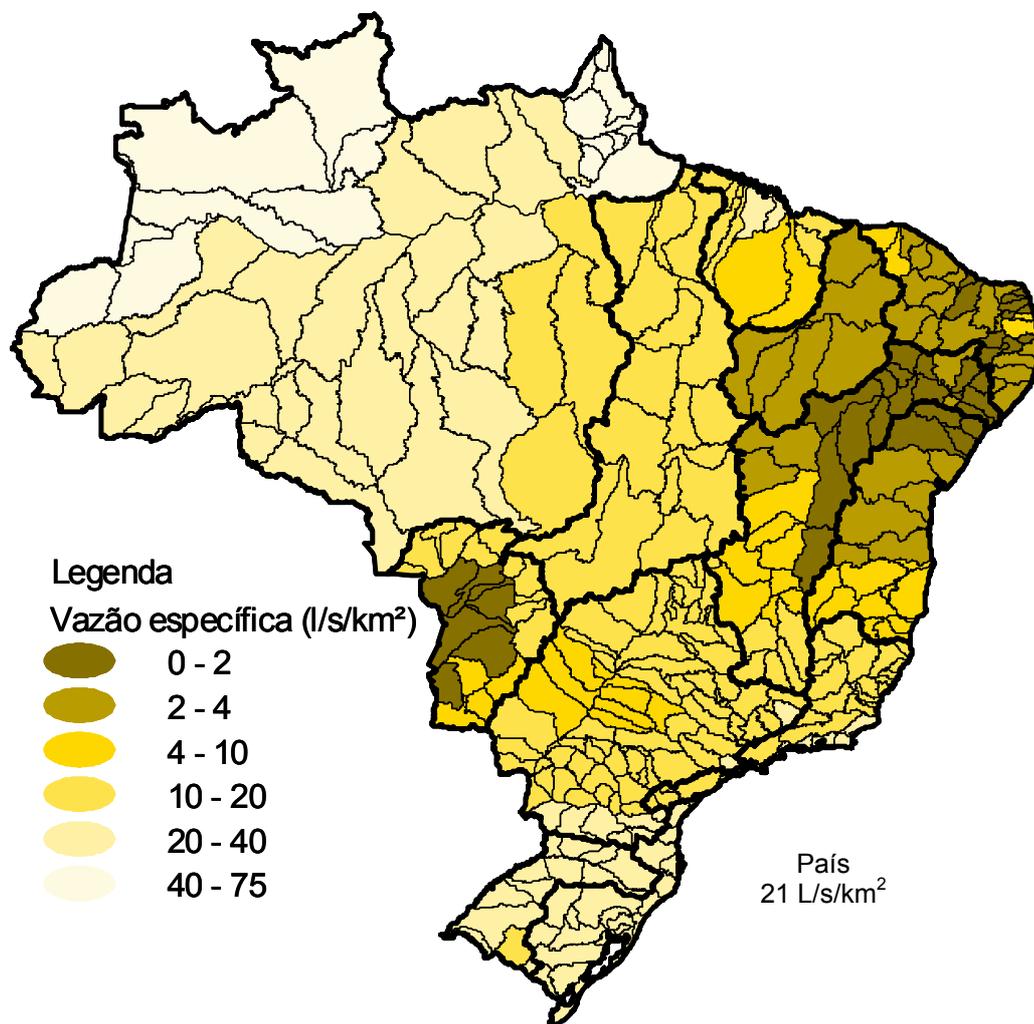


Figura 4.7 Vazões específicas nas unidades hidrográficas de referência.

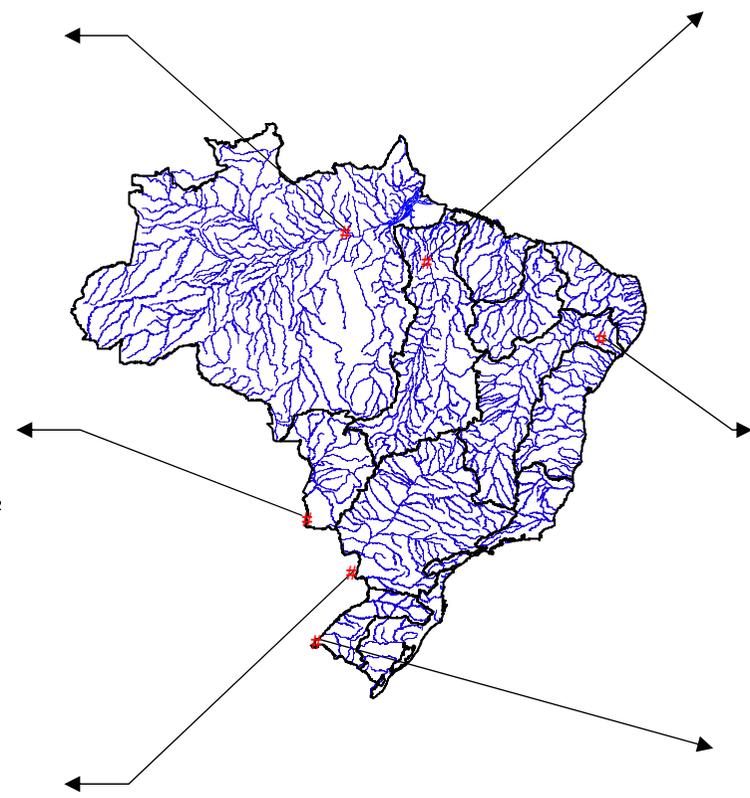
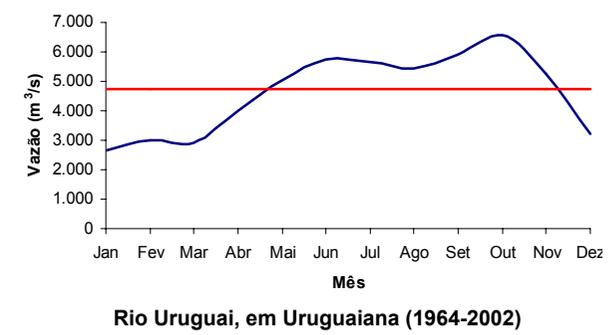
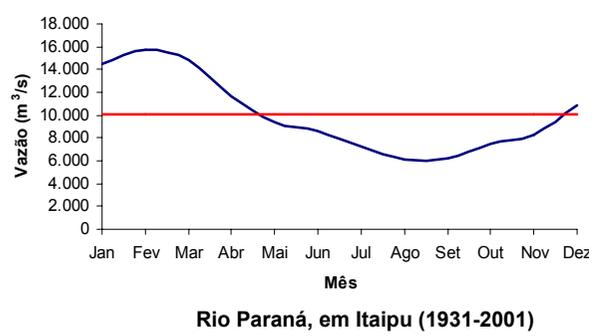
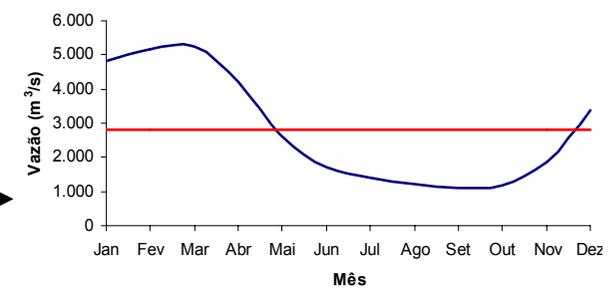
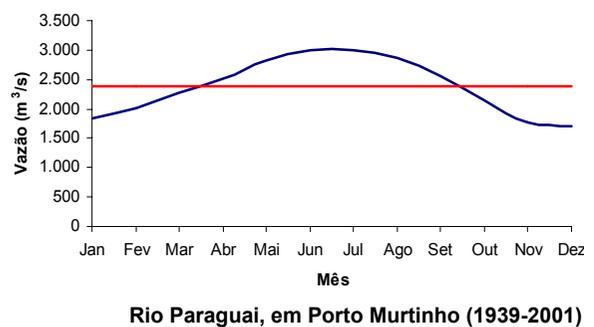
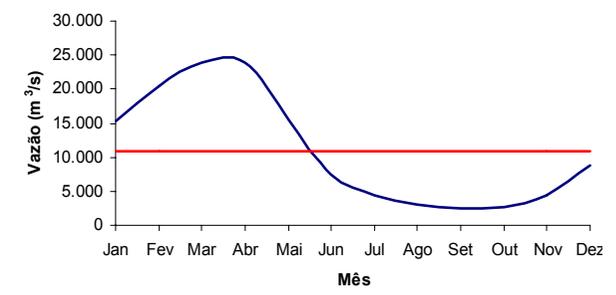
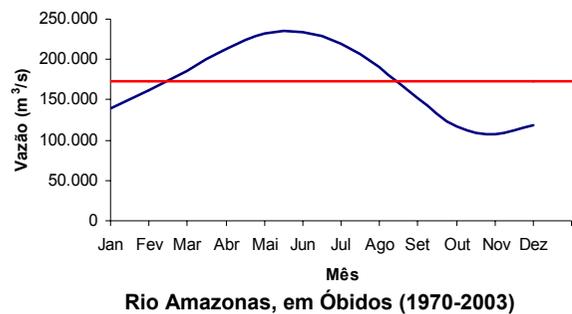
### 4.3. Sazonalidade e escoamento superficial

De forma complementar aos estudos de vazões médias de longo período, é importante destacar as variações sazonais, que ocorrem no escoamento dos rios, provocadas principalmente pelas estações do ano e os regimes de chuvas associados. A Figura 4.8 mostra a vazão média ao longo dos meses em algumas regiões hidrográficas.

Devido a grande extensão do território brasileiro e a sua posição global, o período de maiores e menores vazões não é idêntico entre as regiões hidrográficas. No rio Amazonas, observa-se que as maiores vazões (230.000 m<sup>3</sup>/s) ocorrem entre os meses de maio a julho e as menores (110.000 m<sup>3</sup>/s), nos meses de outubro e novembro. Já na região hidrográfica do Tocantins, em Tucuruí, as maiores vazões (22.500 m<sup>3</sup>/s) ocorrem entre os meses de fevereiro a abril e as menores (2.500 m<sup>3</sup>/s), nos meses de setembro e outubro.

No rio São Francisco, as maiores vazões (5.000 m<sup>3</sup>/s) são observadas entre os meses de janeiro a março, e as menores (1.100 m<sup>3</sup>/s), entre os meses de setembro e outubro. Na região hidrográfica do Paraná, as maiores vazões (15.000 m<sup>3</sup>/s) acontecem entre os meses de janeiro a março, e as menores (6.200 m<sup>3</sup>/s), entre os meses de agosto e setembro. Na região hidrográfica do Paraguai, as maiores vazões (2.950 m<sup>3</sup>/s) ocorrem entre os meses de junho a agosto e as menores (1.900 m<sup>3</sup>/s), nos meses de dezembro e janeiro (Figura 4.8).

A defasagem observada na Figura 4.8 entre os períodos de estiagem e de excedentes em relação à média demonstram a complementaridade e o ganho de sinergia ao se integrarem os sistemas hídricos, o que é explorado pelo sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil (Sistema Interligado Nacional –SIN).



— Vazão média mensal      — Vazão média anual

Figura 4.8 Hidrogramas nas regiões hidrográficas Amazônica, Tocantins/Araguaia, São Francisco, Paraná, Paraguai e Uruguai.

#### 4.4. Variação climática e escoamento superficial

O escoamento dos rios é influenciado pelos sistemas de circulação da atmosfera que, de forma geral, permanecem constante ao longo dos anos, mas possuem uma variabilidade natural; podendo-se perceber, por exemplo, anos mais ou menos chuvosos.

A Figura 4.9 mostra as séries anuais de vazões normalizadas (a vazão média anual foi diminuída da média aritmética e dividida pelo seu desvio padrão), nas regiões hidrográficas Tocantins/Araguaia (rio Tocantins, em Tucuruí), São Francisco (rio São Francisco, em Xingó) e Paraná (rio Paraná, em Tucuruí), entre 1931 e 2001. A Figura 4.9 também mostra o período correspondente às menores vazões (período crítico).

No Brasil, o período considerado crítico pelo setor elétrico, em relação à geração de energia a partir de hidrelétricas, ou seja, aquele correspondente às menores vazões observadas, estendeu-se de 1949 a 1956. Porém, na região hidrográfica do São Francisco, o período crítico foi entre 1999 a 2001 (Figura 4.9), quando ocorreu racionamento de energia elétrica em todo o país.

Na região hidrográfica do São Francisco, os anos de 1979 e 1945 foram muito atípicos com vazões quase três vezes (em termos de desvio padrão) acima da média. Na região hidrográfica do Paraná, o ano de 1983 foi extremamente chuvoso e a vazão foi quase cinco vezes (em termos de desvio padrão) acima da média.

Um tema que vem preocupando a comunidade científica e a sociedade em geral é a perspectiva de que as diversas ações antrópicas estejam alterando o clima na Terra. Na região hidrográfica do Paraná, observa-se que as vazões vêm aumentando sistematicamente na bacia desde o início dos anos setenta. Estudos realizados pela Agência Nacional de Águas (não publicado), Tucci & Clarke (1996) e Muller *et al.* (1998) apontam a não estacionariedade (uma série temporal é dita estacionária se suas propriedades estatísticas não mudam com o tempo) das séries hidrológicas afluentes à Itaipu. Muller *et al.* (1998) sugerem que o aumento de vazões na bacia do Paraná não seria explicado apenas por variações climáticas, mas decorreria dos efeitos conjuntos do aumento da precipitação e diminuição da evapotranspiração provocada pela retirada da mata nativa e pelo manejo do solo.

No entanto, nas demais bacias, em especial Tocantins/Araguaia e São Francisco, não se observam fenômenos de não estacionariedade.

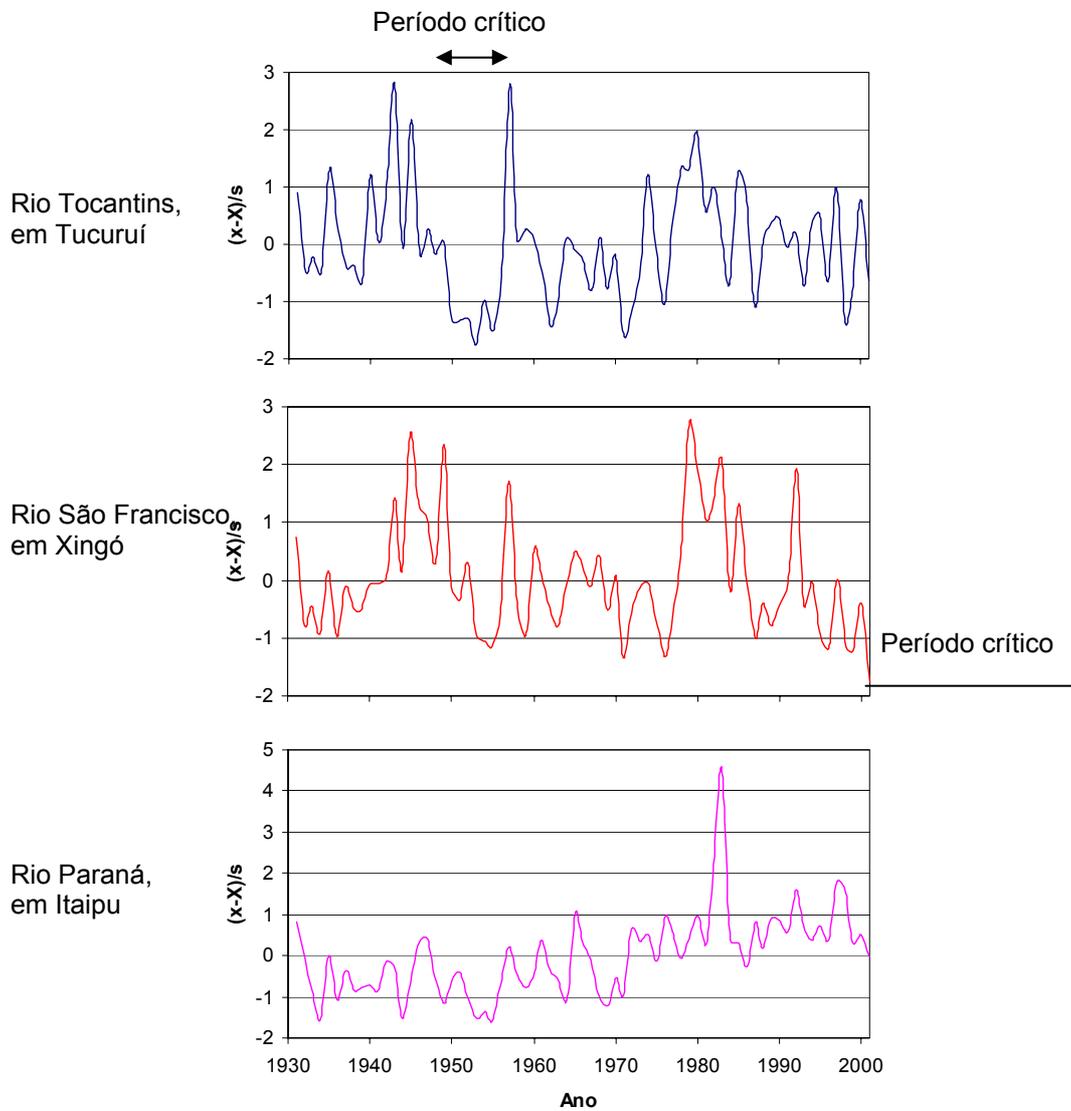


Figura 4.9 Série normalizada de vazões naturais nas regiões hidrográficas Tocantins/Araguaia, São Francisco e Paraná, entre 1931 e 2001.

#### 4.5. Vazões regularizadas

As vazões regularizadas pelos principais reservatórios do país são apresentadas na Tabela 4.3, juntamente com a área de drenagem, a vazão afluente média e o grau de regularização da bacia, representado pela razão entre a vazão regularizada e a vazão média.

Tabela 4.3 Vazão regularizada pelas principais usinas hidrelétricas.

Rio	Usina	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	Vazão média (m <sup>3</sup> /s)	Vazão regularizada (m <sup>3</sup> /s)	Grau de regularização (%)
<b>Região hidrográfica do Tocantins/Araguaia</b>					
Tocantins	Serra da Mesa	51.233	784	662	84
Tocantins	Cana Brava	58.022	879	664	75
Tocantins	Luis E. Magalhães (Lajeado)	183.718	2.484	794	32
Tocantins	Tucuruí	757.577	10.948	4.755	43
<b>Região hidrográfica do Parnaíba</b>					
Parnaíba	Boa Esperança	87.500	453	301	66
<b>Região hidrográfica do São Francisco</b>					
Preto	Queimado	3.760	57	34	60
São Francisco	Três Marias	50.732	686	513	75
São Francisco	Sobradinho	499.084	2.706	1.825	67
São Francisco	Itaparica	593.384	2.791	1.875	67
São Francisco	Moxotó	606.270	2.810	1.875	67
São Francisco	Xingó	610.544	2.810	1.875	67
<b>Região hidrográfica Atlântico Sudeste</b>					
Paraíba do Sul	Paraíbuna	4.150	69	64	93
Paraíba do Sul	Santa Branca	5.030	80	73	91
Jaguari	Jaguari	1.300	28	25	89
Paraíba do Sul	Funil	13.410	229	150	65
Paraíba do Sul	Santa Cecília	16.694	297	196	66
<b>Região hidrográfica do Paraná</b>					
Bacia hidrográfica do rio Paranaíba					
Araguari	Nova Ponte	15.480	532	261	49
Araguari	Miranda	18.124	349	288	82
Corumbá	Corumbá I	27.604	452	172	38
Paranaíba	Emborcação	29.050	483	384	80
Paranaíba	Itumbiara	94.728	1.548	1.214	78
Paranaíba	Cachoeira Dourada	99.775	1.624	1.240	76
Paranaíba	São Simão	171.474	2.363	1.734	73
Bacia hidrográfica do rio Grande					
Pardo	Caconde	2.588	54	30	56
Pardo	Euclides da Cunha	4.392	88	38	43
Pardo	Limoeiro (A. S. Oliveira)	4.471	89	39	44
Grande	Camargos	6.279	133	76	57
Grande	Funil	15.153	322	76	24
Grande	Furnas	52.138	929	678	73
Grande	Mascarenhas de Moraes	59.600	1.016	768	76
Grande	Luiz Carlos Barreto (Estreito)	61.942	1.035	775	75
Grande	Jaguara	62.700	1.045	777	74

Rio	Usina	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	Vazão média (m <sup>3</sup> /s)	Vazão regularizada (m <sup>3</sup> /s)	Grau de regularização (%)
Grande	Igarapava	63.693	1.103	783	71
Grande	Volta Grande	68.800	1.133	794	70
Grande	Porto Colômbia	77.427	1.328	828	62
Grande	Marimbondo	118.515	1.847	1.174	64
Grande	Água Vermelha	139.437	2.089	1.367	65
<b>Bacia hidrográfica do rio Tietê</b>					
Guarapiranga	Guarapiranga	631	12	7	58
Pinheiros	Pedreira (Billings)	560	19	19	100
Tietê	Ponte Nova	320	8	8	100
Tietê	Edgard de Souza	4.844	105	42	40
Tietê	Barra Bonita	33.156	435	205	47
Tietê	Bariri	36.708	486	261	54
Tietê	Ibitinga	44.923	581	300	52
Tietê	Promissão	58.106	699	383	55
Tietê	Nova Avanhandava	62.727	747	385	52
Tietê	Três Irmãos	71.221	797	480	60
<b>Bacia hidrográfica do rio Paranapanema</b>					
Paranapanema	Jurumirim	17.891	220	161	73
Paranapanema	Piraju	18.336	225	163	72
Paranapanema	Chavantes	27.769	338	240	71
Paranapanema	Ourinhos	28.160	342	240	70
Paranapanema	Canoas II	39.531	459	243	53
Paranapanema	Canoas I	41.276	477	243	51
Paranapanema	Capivara	84.715	1.077	658	61
Paranapanema	Taquaruçu	88.707	1.137	672	59
Paranapanema	Rosana	100.799	1.281	702	55
<b>rio Paraná</b>					
Paraná	Porto Primavera	571.855	7.130	4.368	61
Paraná	Ilha Solteira	377.197	5.243	3.400	65
Paraná	Souza Dias (Jupia)	476.797	6.341	3.880	61
Paraná	Itaipu	823.555	10.027	5.370	54
<b>Bacia hidrográfica do rio Iguaçu</b>					
Jordão	Desvio Jordão	4.682	126	10	-
Iguaçu	Foz do Areia (Munhoz)	30.127	654	328	50
Iguaçu	Segredo (G. Ney Braga)	34.346	749	377	50
Iguaçu	Salto Santiago	43.852	994	517	52
Iguaçu	Salto Osório	45.769	1.041	523	50
Iguaçu	Salto Caxias	56.977	1.336	530	40
<b>Região hidrográfica do Uruguai</b>					
Passo Fundo/Erechim	Passo Fundo	2.170	55	32	58
Chapecó	Quebra Queixo	2.670	79	10	13
Pelotas	Barra Grande	13.000	300	105	35
Canoas	Campos Novos	14.200	305	54	18
Pelotas	Machadinho	32.050	729	223	31
Uruguai	Ita	44.500	1.022	243	24

Analisando os principais reservatórios do país na Tabela 4.3, nota-se que a usina de Tucuruí pode regularizar, 4.755 m<sup>3</sup>/s, ou 43% da vazão média; a usina de Sobradinho regulariza 1.825 m<sup>3</sup>/s (67% da vazão média); e a usina de Itaipu

regulariza 5.370 m<sup>3</sup>/s (54% da vazão média). Na maioria das regiões, o grau de regularização assegurado pelos reservatórios é de cerca de 60% da vazão média.

Destacam-se ainda os açudes existentes em alguns cursos d'água do Nordeste, que apesar de não serem geradores de energia, são fundamentais para o abastecimento humano, a dessedentação de animais e a irrigação na região semi-árida. Na região Atlântico Nordeste Oriental, os açudes Orós e Castanhão, localizados no rio Jaguaribe, regularizam 20 e 30 m<sup>3</sup>/s, respectivamente; o açude Banabuiú, no rio Banabuiú, afluente do rio Jaguaribe, regulariza 13 m<sup>3</sup>/s; os açudes Coremas Mãe d'Água e Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, no rio Piranhas-Açu, regularizam 7 e 16 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. Na região Atlântico Leste, o açude Pedra do Cavalo, no rio Paraguaçu, pode regularizar 67 m<sup>3</sup>/s, com 100% de garantia.

As Figuras 4.10 a 4.19 mostram a localização dos reservatórios, através de um diagrama unifilar simplificado dos rios, e a vazão regularizada com 100% de garantia.



Figura 4.10 Diagrama com a vazão regularizada pelas hidrelétricas do rio Tocantins.

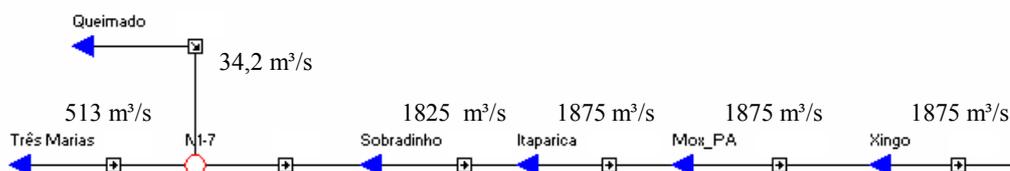


Figura 4.11 Diagrama com a vazão regularizada pelas hidrelétricas do rio São Francisco.

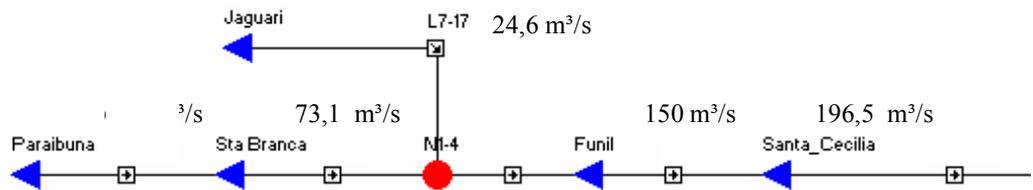


Figura 4.12 Diagrama com a vazão regularizada pelas hidrelétricas do rio Paraíba do Sul.

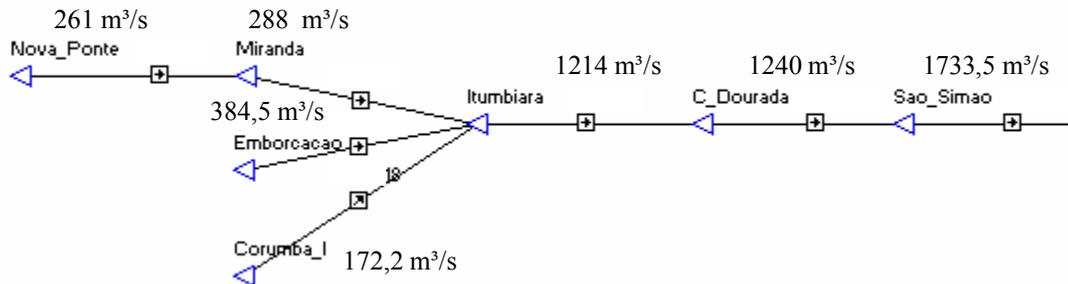


Figura 4.13 Diagrama com a vazão regularizada pelas hidrelétricas do rio Paranaíba.

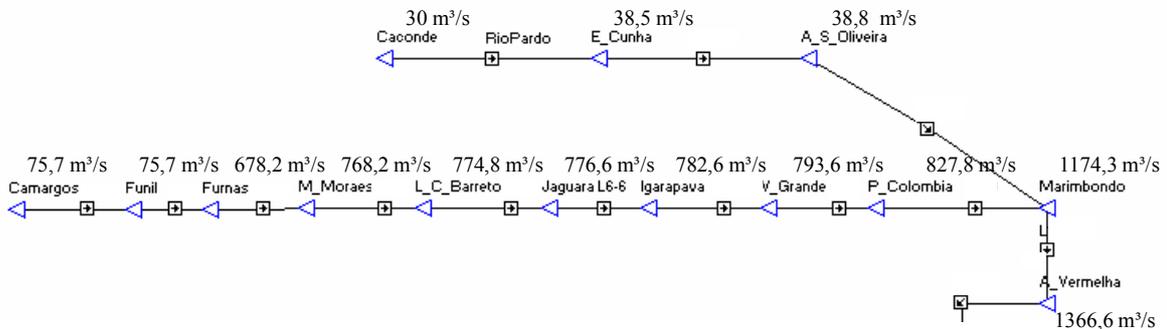


Figura 4.14 Diagrama com a vazão regularizada pelas hidrelétricas do rio Grande.

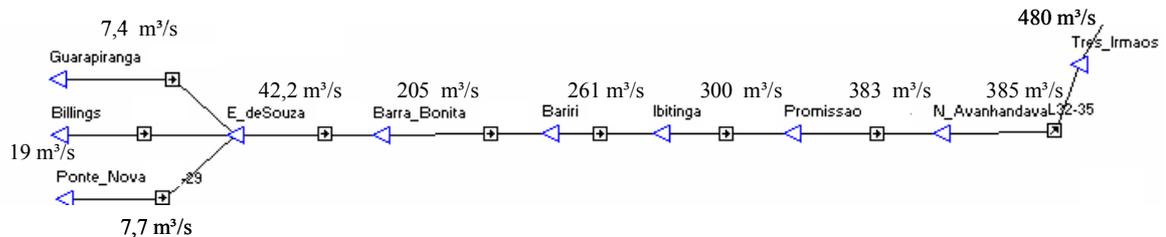


Figura 4.15 Diagrama com a vazão regularizada pelas hidrelétricas do rio Tietê.



Figura 4.16 Diagrama com a vazão regularizada pelas hidrelétricas do rio Paranapanema.

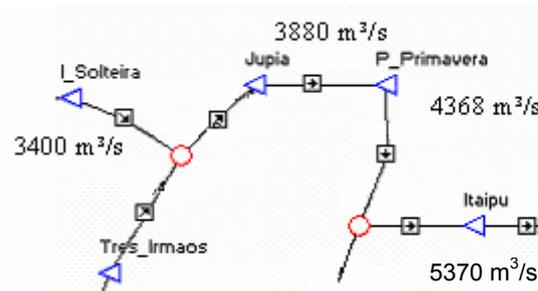


Figura 4.17 Diagrama com a vazão regularizada pelas hidrelétricas do rio Paraná.

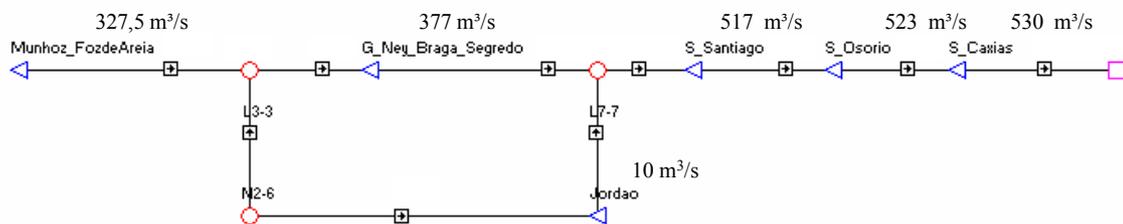


Figura 4.18 Diagrama com a vazão regularizada pelas hidrelétricas do rio Iguaçu.

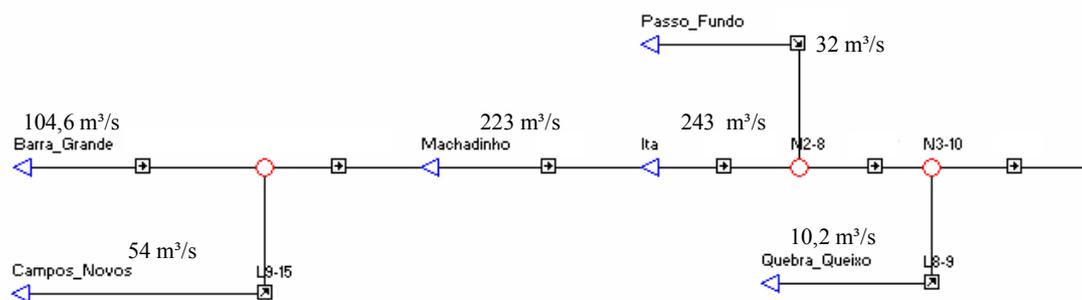


Figura 4.19 Diagrama com a vazão regularizada pelas hidrelétricas do rio Uruguai.

#### 4.6. Balanço hídrico e evapotranspiração

A Tabela 4.4 mostra o balanço hídrico simplificado, com vistas a obter estimativas da evapotranspiração real média nas regiões hidrográficas. A evapotranspiração real média anual do país é de 1.134 mm ou 63% da precipitação.

Tabela 4.4 Balanço hídrico simplificado.

Região hidrográfica	Precipitação* (P) (mm)	Vazão* (m <sup>3</sup> /s)	Evapotranspiração	
			(mm)	% de P
Amazônica	2.239	131.947	1.164	52
Tocantins/Araguaia	1.837	13.624	1.371	75
Atlântico Nordeste Ocidental	1.790	2.683	1.482	83
Parnaíba	1.117	763	1.045	94
Atlântico Nordeste Oriental	1.218	779	1.132	93
São Francisco	1.037	2.850	896	86
Atlântico Leste	1.058	1.492	937	89
Atlântico Sudeste	1.349	3.179	882	65
Atlântico Sul	1.568	4.174	866	55
Uruguai	1.785	4.121	1.040	58
Paraná	1.511	11.453	1.101	73
Paraguai	1.398	2.368	1.193	85
<b>Brasil</b>	<b>1.797</b>	<b>179.374</b>	<b>1.134</b>	<b>63</b>

\* Valores médios de longo período.

A análise dos dados mostra que as regiões hidrográficas Atlântico Nordeste Ocidental (1.482 mm), Tocantins/Araguaia (1.371 mm) e Paraguai (1.193 mm) apresentam os maiores valores de evapotranspiração real. Porém em relação à precipitação anual média ocorrida, as regiões Parnaíba (94% da precipitação), Atlântico Nordeste Oriental (93%), e Atlântico Leste (89%), além do São Francisco (86%), Paraguai (85%) e Atlântico Nordeste Ocidental (83%) são as que apresentam os maiores valores de evapotranspiração real em termos relativos, superando 80% da precipitação média e levando, conseqüentemente, aos menores percentuais de escoamento superficial efetivo. Tais valores são compatíveis com as características climáticas, nos casos das regiões hidrográficas que englobam o semi-árido nordestino, e também com as características fisiográficas, no caso da região hidrográfica do Paraguai, onde a presença do Pantanal oferece grandes superfícies líquidas que, aliadas a elevadas temperaturas, favorecem a evaporação. Nessas regiões, portanto, é

recomendável que ações destinadas à construção de reservatórios sejam empreendidas com base em estudos técnicos que demonstrem a viabilidade técnica da obra.

A variabilidade observada nas precipitações avaliza as considerações anteriores, pois as regiões hidrográficas que apresentam as menores precipitações são as mesmas onde as perdas por evapotranspiração são relativamente mais significativas.

A Figura 4.20 mostra o resultado do balanço hídrico simplificado, apresentando o escoamento e a evapotranspiração, em termos percentuais, em relação à precipitação e que aparece também expressa em mm.

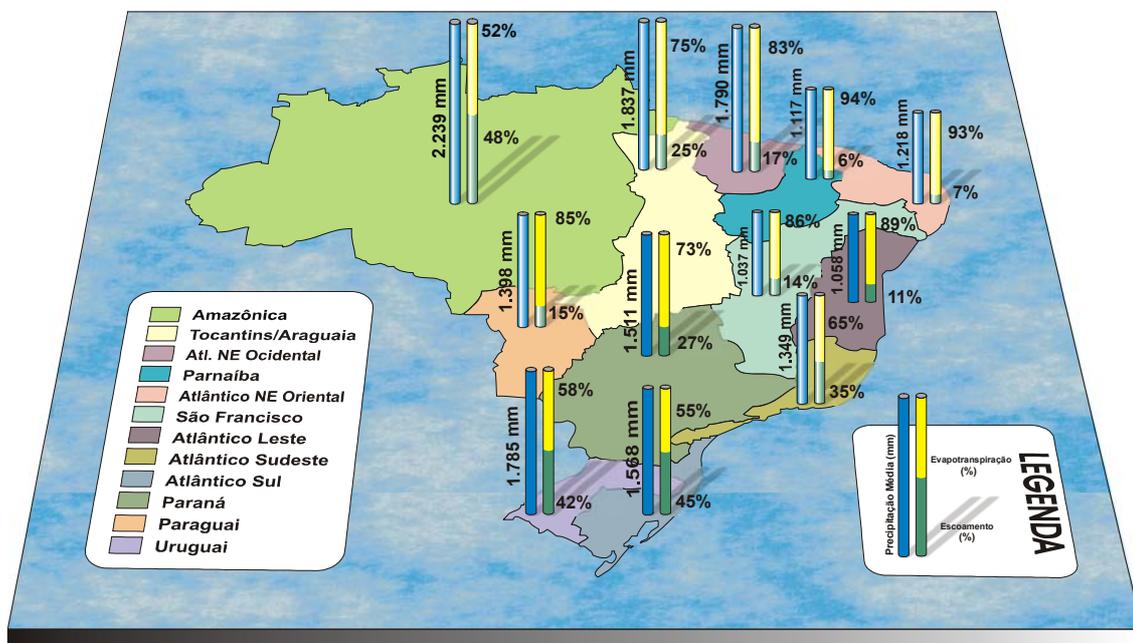


Figura 4.20 Balanço hídrico anual no país.

## 5. ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Em função da forma como as rochas armazenam e transmitem a água, as unidades geológicas podem ser divididas em três domínios aquíferos:

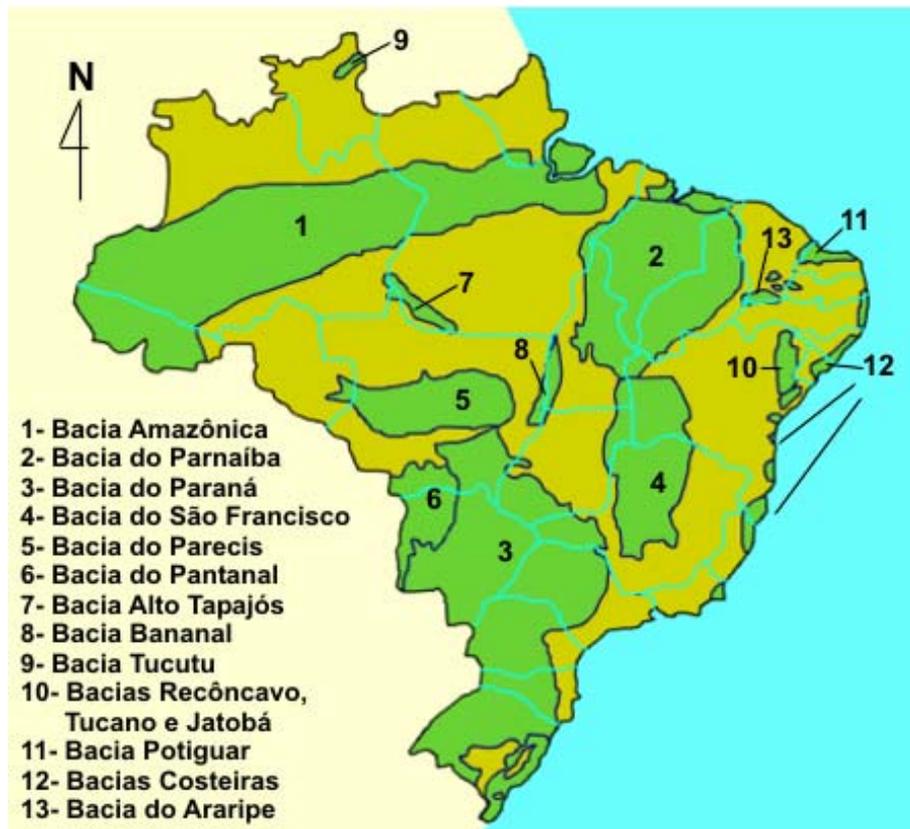
- Fraturado: água está associada à presença de descontinuidades na rocha, responsáveis por uma porosidade secundária associada a falhas, fraturas e diáclases. É representado pelas rochas ígneas e metamórficas e constitui os terrenos denominados genericamente de cristalinos;

- Fraturado-Cárstico: água está relacionada à presença de descontinuidades na rocha, como 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;

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

De forma geral, as rochas sedimentares constituem os melhores aquíferos em termos de produtividade de poços e reservas hídricas. Os terrenos sedimentares ocupam cerca de 4.130.000 km<sup>2</sup> da área do território nacional, ou seja, aproximadamente 48% do total, com boa distribuição, ocorrendo na maioria das regiões hidrográficas. Deste total, 2.761.086 km<sup>2</sup> (32% do país) correspondem à área de recarga dos principais sistemas aquíferos do país. A ampla presença de bacias sedimentares no território brasileiro, aliadas a condições climáticas favoráveis denota grande potencial para a água subterrânea. A seguir, são apresentados as principais bacias sedimentares brasileiras e os sistemas aquíferos mais importantes dessas áreas.

A abordagem da disponibilidade de água subterrânea no Brasil consta inicialmente de comentários de ordem geral sobre os terrenos sedimentares (bacias sedimentares) e cristalinos, relativamente às diferenças desses no que tange, especialmente à potencialidade hidrogeológica, diretamente vinculada à natureza geológica e ao clima. Em seguida, é apresentada uma descrição sucinta dos principais sistemas aquíferos sedimentares e de alguns sistemas cársticos e/ou fraturados em relação à produtividade de poços e reservas exploráveis.



Fonte: PETROBRAS

Figura 5.1 Principais domínios sedimentares (em verde) e cristalinos (amarelo).

### 5.1. Bacias Sedimentares Proterozóicas

A principal bacia sedimentar proterozóica brasileira, em termos de uso e potencial hidrogeológico é a do São Francisco, estabelecida no final do Proterozóico, a qual comporta dois importantes sistemas aquíferos de dimensões regionais. O Grupo Bambuí, do Neoproterozóico (850 a 650 Ma.), o qual origina o sistema aquífero Bambuí, ocorrendo nos estados de Minas Gerais, Bahia e Goiás, perfazendo cerca de 175.000 km<sup>2</sup>. A espessura desse grupo é variável, mas atinge até 2.500 m (Alvarenga 1978). Constitui aquífero cárstico-fraturado e produtividade muito variável, em função da heterogeneidade dos terrenos cársticos, mas, em geral, é boa. Recobrimo esse grupo, ocorrem os sedimentos cretácicos das formações Urucuia e Areado, que compõem o sistema aquífero Urucuia-Areado, também dispostos naqueles estados, sendo o principal aquífero dessa bacia.

## 5.2. Bacias Sedimentares Fanerozóicas

As maiores bacias sedimentares brasileiras são do Paleozóico (540 a 250 Ma), destacando-se a Bacia do Paraná, do Parnaíba e do Amazonas.

O empilhamento estratigráfico dessas bacias permitiu o desenvolvimento de seqüências intercaladas de formações com elevadas porosidade e permeabilidade com formações de menor permeabilidade, de forma a originar sistemas alternados de aquíferos e aquífero/aquícluse. Os primeiros são representados por sedimentos predominantemente arenosos, enquanto nos outros predominam termos pelíticos (argilosos). Formam aquíferos porosos e apresentam condições livres e confinadas, localmente jorrantes.

A Bacia Sedimentar do Amazonas é compartimentada por estruturas regionais em bacias menores: do Acre, Solimões e Amazonas. Ocupa boa parte da região norte do Brasil, coincidindo, em grande parte, com a bacia hidrográfica do rio Amazonas, tem área de cerca de 1.300.000 km<sup>2</sup> e espessuras que podem atingir milhares de metros. A deposição de sedimentos ocorreu entre o Ordoviciano (490 Ma.) e o Terciário (1,75 Ma.). A seqüência paleozóica a mesozóica de (490 a 65 Ma.) chega a 7.000 m de espessura, sendo recoberta pelos sedimentos terciários com espessura média em torno de 600 m. Os sistemas aquíferos mais importantes são o Solimões e Alter do Chão. O conhecimento hidrogeológico dessa região é reduzido. Cabe ressaltar que a elevada pluviometria regional, a natureza porosa desses aquíferos e a elevada densidade de cursos de água superficiais propiciam condições para que o nível d'água nos aquíferos seja raso.

A Bacia Sedimentar do Parnaíba é a principal bacia da região Nordeste com relação à potencialidade de água subterrânea, com área de 600.000 km<sup>2</sup>, ocupando boa parte dos estados do Piauí e Maranhão. Sua espessura máxima atinge cerca de 3.000 m. Os sedimentos dessa bacia foram depositados do Siluriano (440 Ma.) até o Cretáceo (65 Ma.). Os quatro sistemas aquíferos regionais mais importantes dessa bacia são: Cabeças, Serra Grande, Poti-Piauí e Itapecuru. Esses aquíferos são utilizados principalmente pelo estado do Piauí. No estado do Maranhão devido às condições geomorfológicas com topografias elevadas, a captação dos três sistemas aquíferos principais se torna problemática

(Mente, 1997). Por isso, nessa região, são explorados os aquíferos mais rasos Motuca, Corda e Itapecuru, em geral, sob condições livres. Cabe ainda destacar, que a água subterrânea representa a principal fonte de abastecimento das populações dos estados do Piauí e Maranhão, em especial nas regiões do interior de clima semi-árido em que os rios são praticamente todos intermitentes. No Maranhão, mais de 70 % das cidades usam água de poços, e no estado do Piauí este percentual supera 80 %.

Por fim, outra grande bacia paleozóica é a Bacia Sedimentar do Paraná, que perfaz cerca de 1.000.000 km<sup>2</sup> em território brasileiro, estendendo-se para a Argentina, Paraguai e Uruguai. Ocupa parte das regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do País. Tem espessura máxima de cerca de 8.000 m (Gabaglia & Milani, 1990), alojando estratos do Ordoviciano (490 Ma.) até o Cretáceo (65 Ma.). Comporta importantes sistemas aquíferos sedimentares, entre eles o sistema aquífero Guarani, um dos maiores mananciais subterrâneos do mundo, o sistema aquífero Serra Geral, sendo formado por rochas que constituem um dos mais expressivos derrames globais de lavas basálticas, que originam um sistema fraturado, além dos sedimentos dos grupos Bauru e Caiuá, os quais originam o sistema aquífero Bauru-Caiuá. Nas regiões da borda da bacia sedimentar, merecem destaque os sistemas aquíferos Furnas e Ponta Grossa. A exploração destes aquíferos, nas porções mais centrais da bacia, é dificultada pelas elevadas profundidades necessárias para os poços.

No estado de São Paulo, os principais sistemas aquíferos explorados estão situados na Bacia do Paraná. Dos 645 municípios, 462 (71,6%) são abastecidos total ou parcialmente com águas subterrâneas, sendo que 308 (47,7%) são totalmente abastecidos por este recurso hídrico. No estado, cerca de 5.500.000 pessoas são abastecidas diariamente por águas subterrâneas (Silva *et al.*, 1998).

As bacias sedimentares do Mesozóico (250 a 65 Ma.), em geral de dimensões inferiores às do Paleozóico, são comuns no território brasileiro, e concentram-se mais na região litorânea e, nesse caso, quase sempre têm uma parte imersa. Têm espessuras variáveis, mas, em geral, são espessas, podendo atingir alguns milhares de metros.

As principais bacias sedimentares mesozóicas, em relação ao potencial hidrogeológico, são:

- Potiguar – Ocupa uma área de cerca de 25.000 km<sup>2</sup> nos Estados do Rio Grande do Norte e Ceará. Tem como principais aquíferos o Açu e o Jandaíra, este último do tipo cárstico-fraturado;

- Pernambuco-Paraíba – Ocupa a costa oriental nordestina, entre o Rio Grande do Norte e Pernambuco, com cerca de 9.000 km<sup>2</sup>, tendo como principais sistemas aquíferos o Beberibe e Barreiras;

- Araripe – tem cerca de 9.000 km<sup>2</sup>, ocupa partes dos estados do Ceará, Pernambuco e Piauí. Destaca-se por apresentar na região do semi-árido nordestino, aquíferos porosos com boa produtividade. O sistema aquífero Missão Velha destaca-se como um dos mais importantes nessa bacia;

- Jatobá – Essa bacia tem cerca de 5.600 km<sup>2</sup> localiza-se no estado de Pernambuco, apresentando como principal sistema aquífero os sedimentos paleozóicos da Formação Tacaratu;

- Tucano – As formações paleozóicas Inajá e Tacaratu originam os sistemas aquíferos homônimos nessa bacia. Merecem destaque ainda os sedimentos cretácicos das formações Marizal e São Sebastião, que formam os sistemas aquíferos de mesmo nome, e a cobertura cenozóica representada pelo sistema Barreiras. A área dessa bacia é de cerca de 28.400 km<sup>2</sup>, localizando-se nos estados de Pernambuco e Bahia.

- Recôncavo – As formações cretácicas São Sebastião e Marizal representam os principais sistemas aquíferos dessa bacia. Ocorre em uma porção do estado da Bahia, ocupando cerca de 11.000 km<sup>2</sup>.

### 5.3. Terrenos Cristalinos

Os terrenos cristalinos ocupam cerca de 4.380.000 km<sup>2</sup> do território nacional, distribuindo-se por todas as regiões. São representados por diversos tipos de rochas, que inclui gnaisses, xistos, filitos, granitos, metacalcários, quartzitos de idade pré-cambriana (superior a 540 Ma.). Em geral, apresentam produtividades inferiores à média dos aquíferos sedimentares.

Nesses terrenos, a produtividade, bem como a qualidade das águas subterrâneas, depende da existência de fraturamento, da abertura dessas descontinuidades e, muito importante, da conectividade das mesmas, de forma que apenas uma parte das fraturas existentes tem capacidade de conduzir e armazenar água. O principal desafio para a locação de poços no cristalino é realizar a perfuração de modo a interceptar as fraturas, as quais precisam ser abertas e interconectadas, para que a produtividade e a qualidade sejam razoáveis. Do contrário, os poços poderão estar secos e/ou com baixa vazão e, no caso do semi-árido, com elevado conteúdo salino.

Nas regiões onde o clima tropical domina, ou seja, na maior parte do território nacional, há condições favoráveis para o desenvolvimento do intemperismo químico, resultando em perfis de alteração, com solos que atingem algumas dezenas de metros de espessura e recobrem a rocha cristalina. Nestas áreas, forma-se um sistema de dupla porosidade que se encontra hidraulicamente conectado: i) fraturado na porção mais profunda, não alterada e; ii) poroso, no manto intempérico (solo). As vazões dos poços nestes terrenos situam-se, de maneira geral, entre 6 e 8 m<sup>3</sup>/h.

Por outro lado, nas regiões de clima semi-árido, prevalece o intemperismo físico em relação ao químico, de forma que o manto de intemperismo é pouco espesso (1 a 3 metros) ou inexistente, restringindo ainda mais a potencialidade desses terrenos cristalinos. No Brasil, a maior parte do semi-árido nordestino, cerca de 600.000 km<sup>2</sup>, é constituída por terrenos cristalinos. A associação nesta região de baixas precipitações, distribuição irregular das chuvas, delgado manto intempérico, quando não ausente, cobertura vegetal esparsa especialmente no bioma caatinga, favorecem o escoamento superficial em detrimento da infiltração. Assim, no cristalino do semi-árido brasileiro, os poços muito comumente apresentam vazões entre 1 e 3 m<sup>3</sup>/h e elevado conteúdo salino, comumente

acima do limite de potabilidade. Apesar disso, em muitas pequenas comunidades do interior nordestino esses poços constituem a fonte de abastecimento disponível. O uso de dessalinizadores torna possível a utilização dos poços com água com elevada salinidade. 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 representar mais de 30 % dos poços existentes.

Projetos agrícolas com irrigação de dimensão familiar vêm sendo desenvolvidos baseados no uso de corpos aluvionares, de rios temporários, do cristalino nordestino, especialmente no estado do Ceará e Pernambuco. Neste caso, a captação de água subterrânea é realizada, nesses sedimentos inconsolidados, através de poços rasos, que têm produtividade regular e qualidade adequada. É importante destacar a questão da sustentabilidade do sistema, especialmente no tocante à salinização e às condições microbiológicas da água. A construção de barragens subterrâneas em leitos de cursos de água temporários também vem se constituindo numa solução hídrica importante para o cristalino do semi-árido, permitindo a reservação de água para o consumo humano, dessedentação animal e a prática de agricultura de subsistência.

#### 5.4. Principais Sistemas Aqüíferos

A Figura 5.2 mostra a área de recarga dos 27 principais sistemas aqüíferos brasileiros e a divisão hidrográfica nacional com as doze regiões. As reservas renováveis desses sistemas totalizam cerca de 21 mil m<sup>3</sup>/s. A disponibilidade hídrica subterrânea (reserva explotável), considerada igual a 20% das reservas reguladoras, corresponde a cerca de 4.100 m<sup>3</sup>/s.



Figura 5.2 Área de recarga dos principais sistemas aqüíferos do país.

A disponibilidade de águas subterrâneas dos principais sistemas aqüíferos do país é apresentada na Tabela 5.1, assim como as regiões hidrográficas dominantes, o tipo de aqüífero (poroso, fraturado, fraturado-cárstico; livre ou confinado), a espessura média, a área de recarga e a precipitação média sobre ela.

Tabela 5.1 Disponibilidade de águas subterrâneas nos principais sistemas aquíferos do país.

Sistema Aquífero	Tipo <sup>1</sup>	Região Hidrográfica dominante	Área de recarga (km <sup>2</sup> )	Espessura média (m)	Precipitação (mm/ano)	Reserva (m <sup>3</sup> /s)	
						Renovável	Explotável <sup>2</sup>
Solimões	P,L	Amazônica	457.664	-	2.206	4.481,5	896,3
Alter do Chão	P,L		312.574	-	2.098	1.247,5	249,5
Boa Vista	P,L		14.888	-	2.450	162,0	32,4
Parecis	P,L		88.157	150	1.890	2.324,0	464,8
Jandaíra	CF	Atl. NE Ori.	11.589	600	823	30,5	6,1
Açu	P,C		3.674	200	881	10,5	2,1
Itapecuru	P,L	Tocantins/Araguaia Parnaíba	204.979	100	1.836	1.074,0	214,8
Corda	P,L,C		35.266	160	1.371	46,0	9,2
Motuca	P,L		10.717		1.470	15,0	3,0
Poti-Piauí	P,L,C		117.012	400	1.342	650,0	130,0
Cabeças	P,L,C		34.318	300	1.104	36,0	7,2
Serra Grande	P,L,C		30.450	500	943	63,5	12,7
Barreiras	P,L,C		Atl. Leste Atl SE Atl. NE Ori. Atl. NE Ocid. Tocantins/Araguaia	176.532	60	1.938	1.085,0
Beberibe	P,L,C	Atl. NE Ori.	318	100	2.073	2,0	0,4
Marizal	P,L,C	Atl. Leste São Francisco	18.797	200	514	36,0	7,2
São Sebastião	P,L,C	Atl. Leste	6.783	-	1.358	41,0	8,2
Inajá	P,L,C	São Francisco	956	300	722	1,5	0,3
Tacaratu	P,L	São Francisco	3.890	200	965	14,5	2,9
Exu	P,L	Atl. NE Ori.	6.397	-	777	3,0	0,6
Missão Velha	P,L,C	Atl NE Ori.	1.324	130	1.115	1,0	0,2
Urucuiá-Areado	P,L	São Francisco Parnaíba	144.086	300	1.294	1.182,0	236,4
Bambuí	CF	Tocantins/Araguai	181.868	-	1.165	201,5	40,3
Bauru-Caiuá	P,L	Paraná	353.420	200	1.457	2.939,5	587,9
Serra Geral	F	Paraná Atl. Sul	411.855	150	1.681	3.731,5	746,3
Guarani	P,L,C	Uruguai Paraguai	89.936	250	1.487	805,7	161,1
Ponta Grossa	P,L,C	Tocantins/Araguaia Paraguai	24.807	300	1.543	145,5	29,1
Furnas	P,L,C		24.894	200	1.511	143,0	28,6
<b>TOTAL</b>			<b>2.761.086</b>			<b>20.473,2</b>	<b>4.094,6</b>

<sup>1</sup>: P: Poroso; L: Livre; C: Confinado; F: Fraturado; CF: Cárstico-fraturado. <sup>2</sup>: 20% das reservas renováveis.  
-: Dados insuficientes.

Além dos principais sistemas aquíferos acima mencionados, deve-se considerar a contribuição dos terrenos cristalinos e outras unidades sedimentares, que totalizam cerca de 5,8 milhões de km<sup>2</sup>.

Para o restante da área sedimentar (cerca de 1,4 milhões de km<sup>2</sup>), foi estimada uma recarga média de 8% da precipitação. Os terrenos cristalinos foram subdivididos em: cristalino com manto de intemperismo, com uma área de 3,8 milhões de km<sup>2</sup> e uma recarga de 4% da precipitação; cristalino sem manto de intemperismo, com uma área de 600 mil km<sup>2</sup> e uma recarga de 1% da precipitação. Desta forma, estima-se que as reservas renováveis dessas regiões totalizem cerca de 21.816 m<sup>3</sup>/s.

As reservas renováveis do país atingem, portanto, 42.289,2 m<sup>3</sup>/s (1.333,6 km<sup>3</sup>/ano), correspondendo a 24% do escoamento dos rios em território nacional e 49% da vazão de estiagem. A disponibilidade hídrica subterrânea total (reserva explorável) corresponde a 20% desse valor, totalizando 8.457,8 m<sup>3</sup>/s.

Em termos de gerenciamento de recursos hídricos, os aquíferos apresentam uma característica singular que é de que a sua extensão não se restringe à uma bacia hidrográfica, como visto na Figura 5.2. A Tabela 5.2 apresenta a distribuição das áreas de recargas dos aquíferos nas 12 regiões hidrográficas do país.

Para exemplificar, consideremos o caso do aquífero Serra Geral, que ocupa uma expressiva área da região hidrográfica do Uruguai (80%) e ocorre ainda nas regiões hidrográficas do Paraguai e Paraná, nas quais ocupa respectivamente, 3,1% e 23,9% das áreas totais. Na Tabela 5.2 são consideradas apenas as áreas de recarga dos aquíferos. As atividades de gerenciamento de recursos hídricos subterrâneos deverão considerar, além das áreas de recarga e as questões de vulnerabilidade e de necessidade de proteção, as porções não aflorantes e confinadas dos aquíferos. Como exemplo, podemos citar o sistema aquífero Guarani que possui uma pequena área de recarga (área aflorante) na região hidrográfica Atlântico Sul (1,5%), mas uma grande porção em que apresenta condições confinadas pelo sistema aquífero Serra Geral (área não aflorante). A sua extensão nessa região hidrográfica, portanto, é ainda maior do que aquela apresentada considerando-se apenas a área de recarga.

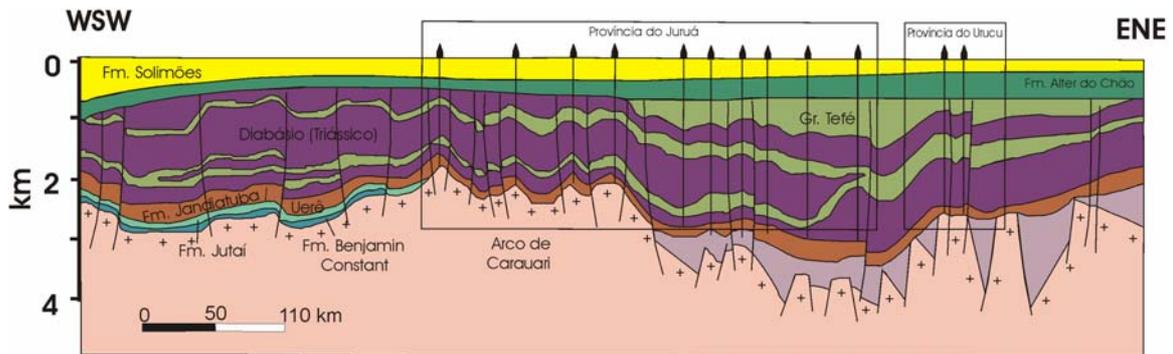
Tabela 5.2 Distribuição das áreas de recargas dos aquíferos nas regiões hidrográficas do país.

<b>Região Hidrográfica</b>	<b>Sistema Aquífero (porcentagem da área de recarga do aquífero em relação à área da região hidrográfica)</b>
Amazônica	Solimões (11,8%) - Alter do Chão (7,5%) - Parecis (2,1%) - Boa Vista (0,4%) - Barreiras (0,3%)
Tocantins/Araguaia	Barreiras (6,4%) - Itapecuru (5,0%) - Poti-Piauí (3,4%) - Bambuí (3,2%) - Alter do Chão (2,6%) - Urucua-Areado (2,3%) - Ponta Grossa (1,2%) - Corda (0,9%) - Furnas (0,9%) - Cabeças (0,6%) - Guarani (0,4%) - Bauru-Caiuá (0,2%) - Motuca (0,1%)
Atlântico Nordeste Ocidental	Itapecuru (58,0%) - Barreiras (8,5%) - Corda (7,4%) - Motuca (1,7%) - Serra Grande (0,1%)
Parnaíba	Poti-Piauí (25,7%) - Cabeças (8,7%) - Serra Grande (8,5%) - Urucua-Areado (2,2%) - Corda (1,9%) - Barreiras (1,8%) - Motuca (1,5%) - Exu (0,2%)
Atlântico Nordeste Oriental	Barreiras (12,5%) - Jandaíra (4,0%) - Açú (1,3%) - Exu (1,0%) - Serra Grande (0,6%) - Missão Velha (0,4%) - Tacaratu (0,3%) - Beberibe (0,1%)
São Francisco	Bambuí (22,4%) - Urucua-Areado (18,2%) - Marizal (0,8%) - Exu (0,5%) - Tacaratu (0,4%) - Inajá (0,1%) - São Sebastião (0,04%)
Atlântico Leste	Barreiras (8,0%) - Marizal (3,6%) - São Sebastião (1,7%) - Bambuí (1,1%)
Atlântico Sudeste	Barreiras (2,6%) - Furnas (0,1%)
Atlântico Sul	Serra Geral (27,0%) - Guarani (1,5%)
Uruguai	Serra Geral (80,0%)
Paraná	Bauru-Caiuá (38,0%) - Serra Geral (23,9%) - Guarani (3,1%) - Bambuí (0,6%) - Furnas (0,5%) - Ponta Grossa (0,2%)
Paraguai	Guarani (8,9%) - Bauru-Caiuá (4,3%) - Furnas (3,2%) - Serra Geral (3,1%) - Ponta Grossa (2,9%) - Parecis (1,8%)

A seguir é apresentada uma descrição de cada um dos principais sistemas aquíferos do país.

### **Sistema aquífero Alter do Chão**

O sistema aquífero Alter do Chão é de idade cretácica (145 Ma.) e ocorre sotoposto aos sedimentos da Formação Solimões (Figura 5.3). Da mesma forma que essa formação, também faz parte da Bacia Sedimentar do Amazonas. É constituído por arenitos e argilitos, com intercalações de termos granulométricos semelhantes, entretanto não consolidados. Em geral, é um aquífero do tipo livre. Aflora na região centro norte do Pará e leste do Amazonas, com grande disposição areal, perfazendo 312.574 km<sup>2</sup>. Tem espessura máxima de 1.250 m. A disponibilidade hídrica (reserva explorável) desse sistema é de 249,5 m<sup>3</sup>/s (ver Tabela 5.1).



Fonte: PETROBRAS.

Figura 5.3 Perfil geológico na Bacia Sedimentar do Amazonas.

Este aquífero participa no abastecimento das cidades de Manaus, Belém, Santarém e a Ilha de Marajó. A cidade de Manaus tem algumas centenas de poços que extraem água do sistema Alter do Chão. Naquela região, o aquífero apresenta uma espessura de 200 m (FGV 1998). Esses poços, ao lado da captação no rio Negro, representam a principal fonte de abastecimento dessa cidade. O uso industrial também é importante na Região Metropolitana de Manaus.

De 145 poços consultados no sistema Alter do Chão, a profundidade média é 133 m, a vazão média dos é de 53,8 m<sup>3</sup>/h, e a capacidade específica média atinge 1,893 m<sup>3</sup>/h/m, portanto, de elevada produtividade. Os parâmetros hidrodinâmicos médios do sistema aquífero são: 7,0.10<sup>-5</sup> m<sup>2</sup>/s de transmissividade, 1,4.10<sup>-5</sup> m/s de condutividade hidráulica e 3,5.10<sup>-2</sup> de coeficiente de armazenamento (condições de aquífero livre) (Costa 1994).

### Sistema aquífero Solimões

O sistema aquífero Solimões é representado pelos sedimentos terciários (65 Ma.) da formação homônima, localizados no topo da seqüência sedimentar da Bacia do Amazonas (ver Figura 5.3), com ampla área de ocorrência. Tem grande expressão areal, com cerca de 457.664 km<sup>2</sup>, aflora em todo o estado do Acre e na parte do oeste do estado do Amazonas. Recobre os sedimentos da Formação Alter do Chão e é constituído por arenitos, conglomerados, siltitos, argilitos,

calcários silteco-argilosos. Clásticos não consolidados com granulometria variando de areia a argila também ocorrem nesse sistema. Sua espessura máxima pode atingir até 2.200 m. Em geral, é explotado como aquífero livre, entretanto também ocorre em condições confinadas, haja vista que tem contribuição pelítica (argilosa) e grande espessura. A estimativa da disponibilidade hídrica (reserva explotável) desse sistema é de 896,3 m<sup>3</sup>/s (ver Tabela 5.1).

Nesse sistema aquífero, a vazão média dos poços é de 27,3 m<sup>3</sup>/h e a capacidade especifica média, é de 3,062 m<sup>3</sup>/h/m (36 poços consultados, com uma profundidade média de 56 m). Tais valores configuram um sistema de elevada produtividade. A utilização desse aquífero é, principalmente, no abastecimento doméstico, sendo fonte importante para a cidade de Rio Branco.

### **Sistema aquífero Boa Vista**

O aquífero Boa Vista é constituído por sedimentos cenozóicos (65 Ma.), representados por arenitos conglomeráticos e arcoseanos. Ocorre na porção nordeste do estado de Roraima, aflorando por cerca de 14.888 km<sup>2</sup>, com espessura máxima, estimada, em 120 m. Sua disponibilidade hídrica (reserva explotável) é de 32,4 m<sup>3</sup>/s (ver Tabela 5.1).

A exploração ocorre como aquífero livre, com poços apresentando vazão média de 32,7 m<sup>3</sup>/h e elevada capacidade especifica média, alcançando 5,737 m<sup>3</sup>/h/m, conforme observado em 9 poços consultados (profundidade média de 36 m). É importante fonte de abastecimento para a cidade de Boa Vista.

### **Sistema aquífero Parecis**

O aquífero Parecis é constituído por arenitos com intercalações de níveis de conglomerado e lentes pelíticas. As rochas possuem idade cretácea (145 Ma.). Esse sistema aflora no oeste de Mato Grosso e na extremidade leste do estado de Rondônia, ocupando cerca de 88.157 km<sup>2</sup> e tem espessura média de 150 m. A reserva explotável estimada para esse sistema é de 464, 8 m<sup>3</sup>/s (ver Tabela 5.1).

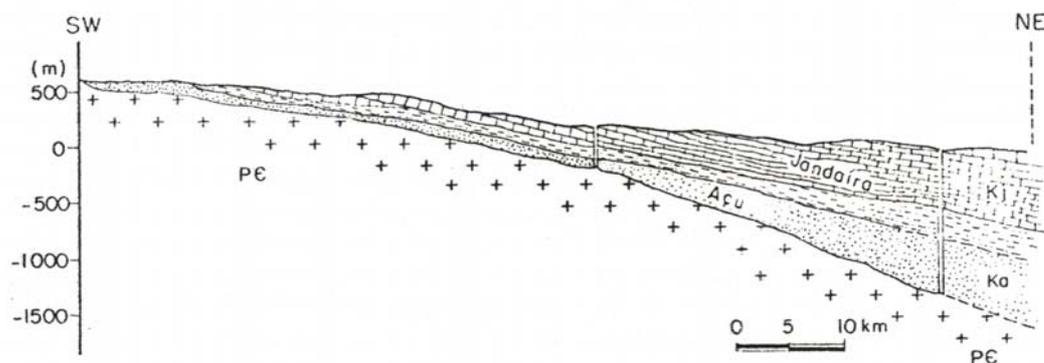
Geralmente é explotado em condições livres, entretanto, pode apresentar condições de semiconfinamento, estabelecido por coberturas lateríticas e/ou argilosas. Apresenta excelente produtividade, com vazão média de 146,9 m<sup>3</sup>/h e capacidade específica média de 8,830 m<sup>3</sup>/h/m (8 poços consultados, com profundidade média de 102 m).

O uso principal das águas desse aquífero é para o abastecimento doméstico, com destaque para a cidade de Vilhena, a qual é inteiramente suprida por esse manancial.

### Sistema aquífero Açu

A Formação Açu, de idade cretácica (145 Ma.), aflora numa faixa que circunda a Bacia Potiguar entre as rochas do embasamento e os sedimentos da Formação Jandaíra (Fonte: Modificado de Rebouças (1988)).

Figura 5.4), ocupando cerca de 3.764 km<sup>2</sup>. Localmente, é recoberta por aluviões dos principais rios perenes da região. Essa formação é subdividida em dois membros. O Membro Superior é constituído de folhelhos, argilitos e siltitos, com intercalações de arenitos finos, e espessura que pode atingir 60 m. O Membro Inferior é constituído por arenitos grosseiros a conglomeráticos, arenitos finos e intercalações de folhelhos e siltitos, e apresenta espessuras superiores a 200 m.



Fonte: Modificado de Rebouças (1988).

Figura 5.4 Perfil geológico da Bacia Potiguar.

No Membro Superior da Formação Açu, estão localizadas as jazidas de petróleo, explotadas na região de Mossoró. Já o Membro Inferior dessa formação constitui o aquífero Açu, de elevado potencial hidrogeológico. Esse aquífero é explotado em condições livre e confinada (PROASNE). O confinamento do sistema aquífero é promovido pelos calcários da Formação Jandaíra.

A disponibilidade hídrica (reserva explotável) estimada é de 2,2 m<sup>3</sup>/s (ver Tabela 5.1). Os poços profundos, em geral, são mais produtivos. A vazão média é 24,9 m<sup>3</sup>/h e a capacidade especifica média é 2,925 m<sup>3</sup>/h/m (16 poços consultados, com profundidade média de 310 m).

Na bacia hidrográfica do rio Ceará Mirim, no Rio Grande do Norte, a transmissividade obtida para o Açu foi de  $6,3 \cdot 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s, a condutividade hidráulica de  $1,26 \cdot 10^{-6}$  m/s e o coeficiente de armazenamento de  $1,4 \cdot 10^{-4}$  (Diniz Filho *et al.* 2000). Os parâmetros hidrodinâmicos médios do sistema aquífero são  $2,3 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s de transmissividade,  $7,5 \cdot 10^{-6}$  m/s de condutividade hidráulica e  $1,0 \cdot 10^{-4}$  de coeficiente de armazenamento (condições de aquífero confinado) (Costa 1994).

Na região do Mossoró (RN), o sistema aquífero é intensamente explotado em projetos de irrigação. De forma geral, os principais usos das suas águas são o abastecimento doméstico, industrial e irrigação.

### **Sistema aquífero Jandaíra**

A Formação Jandaíra caracteriza-se por carbonatos marinhos de idade Cretácea (145 Ma.), com intercalações de argilitos e folhelhos (PROASNE). O aquífero Jandaíra localiza-se na porção superior das seqüências carbonáticas dessa formação. Tais carbonatos, freqüentemente, apresentam indícios de carstificação, de forma que o fluxo no aquífero é influenciado pelas feições de dissolução cársticas associadas à presença de descontinuidades rúpteis (fraturas). O aquífero Jandaíra tem, portanto, natureza cárstico-fraturada e apresenta-se, de modo geral, como uma camada sub-horizontal, com espessuras variando de 50 a 250 metros, comportando-se como aquífero livre. Recobrimo o Jandaíra, ocorrem as rochas da Formação Barreiras (Diniz Filho *et al.* 2000).

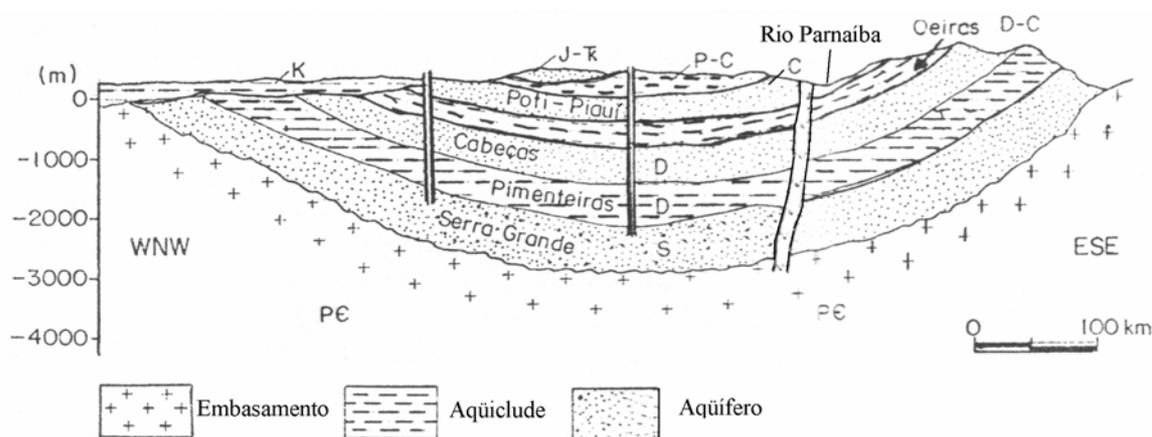
A área de afloramento do Jandaíra compreende cerca de 11.589 km<sup>2</sup>, ocupando partes dos estados do Rio Grande do Norte e Ceará, no contexto da Bacia Potiguar (ver Figura 5.4). O estado do Rio Grande do Norte tem a maior parte das áreas aflorantes. A disponibilidade hídrica (reserva explotável) estimada para esse aquífero é de 6,2 m<sup>3</sup>/s (ver Tabela 5.1), entretanto a demanda potencial é cerca de três vezes maior, como será mostrado no balanço entre disponibilidade e demandas.

Os valores médios de vazão e capacidade específica são, respectivamente, de 6,2 m<sup>3</sup>/h e 4,453 m<sup>3</sup>/h/m (180 poços consultados, com profundidade média de 98 m), indicando que se trata de aquífero de produtividade regular. A natureza cárstica desse aquífero implica em extrema variabilidade espacial na produção do mesmo.

O aquífero Jandaíra é intensamente utilizado para a irrigação na região da chapada do Apodi, na área limítrofe entre os estados do Ceará e Rio Grande do Norte. Existem dados na Secretaria de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte-SERHID/RN sobre a ocorrência de rebaixamentos acentuados nos níveis estático e dinâmico dos poços tubulares que explotam esse aquífero na região de Baraúna (RN), onde ocorre intensa atividade de fruticultura irrigada. Tais rebaixamentos atingiram até 21 metros nos anos de 2001-2002 (SERHID/RN). Uma parcela importante das frutas produzidas nessa região destina-se ao mercado externo, particularmente o melão. Há cerca de 10.000 ha cultivados na região de Baraúna e na divisa dos estados do Ceará e Rio Grande do Norte, sendo que 70% desse total são irrigados exclusivamente com águas do Jandaíra. Destaca-se ainda, que essa área apresenta vigoroso crescimento do agronegócio, particularmente na porção cearense da chapada do Apodi, onde ainda não foram verificados os pronunciados rebaixamentos existentes na região de Baraúna. Com o objetivo de definir um regime de exploração compatível com a recarga anual do sistema na região de Baraúna (RN), foi iniciado o monitoramento sistemático mensal do nível das águas (Castro *et al.* 2004).

## Sistema aquífero Serra Grande

O sistema aquífero Serra Grande representa a porção basal da Bacia Sedimentar do Parnaíba, correspondente aos sedimentos de idade siluriana (440 Ma.) da formação de mesmo nome. É constituído por arenitos finos a grossos, níveis de conglomerados e intercalações de siltitos. Assenta-se diretamente sobre o embasamento cristalino, sendo confinado pelo aquífero Pimenteiras (Figura 5.5) e apresenta espessura média de 500 m (Costa 1994). A porção aflorante do Serra Grande ocorre na região limítrofe entre o estado do Piauí e Ceará, bem como no sul do Piauí, totalizando cerca de 30.450 km<sup>2</sup>. Condições de artesianismo são freqüentes, ao longo da borda oriental da Bacia Sedimentar do Parnaíba, nesse aquífero.



Fonte: Modificado de Rebouças (1998).

Figura 5.5 Perfil geológico na Bacia Sedimentar do Parnaíba.

A disponibilidade hídrica (reserva explotável) estimada para esse sistema é 12,7 m<sup>3</sup>/s, como mostrado anteriormente na Tabela 5.1. A vazão média dos poços desse sistema tem valores, respectivamente, de 6,3 e 13,7 m<sup>3</sup>/h, para as porções livres e confinadas. A capacidade específica média é 0,439 m<sup>3</sup>/h/m, nas áreas livres e, de 2,406 m<sup>3</sup>/h/m, nos locais confinados (Tabela 5.3). Os parâmetros hidrodinâmicos médios do aquífero, no estado do Piauí, são 3,0.10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/s de transmissividade, 1,0.10<sup>-5</sup> m/s de condutividade hidráulica e 4,3.10<sup>-4</sup> de coeficiente de armazenamento (condições confinadas) (Costa 1994).

Tabela 5.3 Produtividade dos poços do sistema aquífero Serra Grande.

Descrição	Tipo	
	Livre	Confinado
Profundidade média (m)	158	172
Vazão média (m <sup>3</sup> /h)	6,3	14,7
Capac. específica. média (m <sup>3</sup> /h/m)	0,439	2,406
Poços consultados	111	111

Os principais usos das águas do Serra Grande compreendem o abastecimento doméstico e a irrigação. No sudeste do Piauí, entre 225 poços considerados, em 70,18% o uso era para abastecimento humano, realizado através de poços públicos, particulares ou explorados por pequenas comunidades, na maioria dos casos, por intermédio de chafarizes. Em segundo lugar, o uso era para irrigação (21,17%) (Andrade Júnior *et al.* 2004).

### Sistema aquífero Cabeças

O sistema aquífero Cabeças é constituído por arenitos, localmente silicificados, depositados no terço inferior da Bacia Sedimentar do Parnaíba, pertencentes à formação homônima, de idade devoniana (420 Ma.). Esse sistema é considerado como o de melhor potencial hidrogeológico nessa bacia. Tem comportamento livre e confinado. O confinamento é dado pela Formação Longa (Ver Figura 5.5) que exhibe espessuras, localmente, de até 200 m.

A área de exposição desse aquífero abrange uma faixa de disposição geral norte-sul, que acompanha, grosseiramente, a conformação dos limites geográficos orientais do estado do Piauí. No estado do Tocantins, ocorre também como uma faixa alongada na direção meridiana, na porção centro-leste do estado. Também adentra, de forma pouco significativa, uma porção no noroeste do estado da Bahia. A área total de afloramento é estimada em 34.318 km<sup>2</sup>. A espessura média é de 300 m (Costa 1994). A disponibilidade hídrica (reserva explotável) estimada desse sistema é de 7,2 m<sup>3</sup>/s (ver Tabela 5.1).

Na região sul do estado do Piauí, no vale do Gurguéia, ocorre artesianismo jorrante, tendo sido perfurados centenas de poços nessa região, em geral desprovidos de projetos construtivos adequados. A exploração de água

subterrânea nessa região iniciou-se com os projetos de irrigação das décadas de 70 e 80. Comumente, tais poços não apresentam equipamentos de controle de vazão, de forma que tem ocorrido contínuo desperdício de água. Há poços captando conjuntamente os sistemas Cabeças e Serra Grande, nessa região que tem vazão jorrante de 1.000 m<sup>3</sup>/h, como é o caso dos poços Violetos, localizado no município de Alvorada do Gurguéia. A Agência Nacional de Águas, em cooperação com o Governo do estado do Piauí, vem desenvolvendo projeto para a instalação de equipamentos de controle de vazão nos poços jorrantes destituídos de dispositivos de fechamento. Os poços Violeto I e II-piezométrico e produtor, foram contemplados em uma primeira fase. Há pelo menos 264 poços jorrantes nessa região, situados numa faixa de 30 Km de cada lado das margens do rio Gurguéia.

Os poços localizados exclusivamente no Sistema Aquífero Cabeças, apresentam vazões médias, na porção livre e confinada, respectivamente, de 12 e 50,2 m<sup>3</sup>/h. A capacidade específica média da porção livre desse sistema é 1,774 m<sup>3</sup>/h/m, enquanto para a porção confinada é de 8,179 m<sup>3</sup>/h/m (Tabela 5.4). Tais valores médios denotam um aquífero de produtividade boa a elevada. Os parâmetros hidrodinâmicos médios do sistema aquífero são 1,3.10<sup>-2</sup> m<sup>2</sup>/s de transmissividade, 5,4.10<sup>-5</sup> m/s de condutividade hidráulica e 3,7.10<sup>-4</sup> de coeficiente de armazenamento (condições confinadas) (Costa 1994). Os principais usos da água desse aquífero são o doméstico e para a irrigação.

Tabela 5.4 Produtividade dos poços do sistema aquífero Cabeças.

Descrição	Tipo	
	Livre	Confinado
Profundidade média (m)	109	284
Vazão média (m <sup>3</sup> /h)	12,0	50,2
Capac. específica média (m <sup>3</sup> /h/m)	1,774	8,179
Poços consultados	87	34

### Sistema aquífero Poti-Piauí

O sistema aquífero Poti-Piauí empresta o nome das formações Poti e Piauí, que pertencem ao Carbonífero (360 Ma.). É constituído por arenitos, siltitos e folhelhos e localmente, calcários, sendo explorado como aquífero livre e

confinado. Aflora em grande parte da porção ocidental do estado do Piauí, alcançando o sul do Pará e o nordeste do Tocantins, perfazendo 117.012 km<sup>2</sup>, sendo um dos sistemas aquíferos de maior abrangência areal na Bacia Sedimentar do Parnaíba. Sua espessura média é de 400 m (Costa 1994). A disponibilidade hídrica (reserva explotável) estimada é de 130,0 m<sup>3</sup>/s (ver Tabela 5.1).

Esse sistema apresenta capacidade específica média entre 1,4 (livre) e 2,57 m<sup>3</sup>/h/m (confinado). As vazões médias nas porções livre e semi-confinada, são respectivamente, de 18 e 40 m<sup>3</sup>/h (Tabela 5.5). Os parâmetros hidrodinâmicos médios do sistema aquífero são 1,7.10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/s de transmissividade, 1,7.10<sup>-5</sup> m/s de condutividade hidráulica e 2,0.10<sup>-3</sup> de coeficiente de armazenamento (condição de aquífero livre) (Costa 1994). O principal uso das águas do sistema aquífero Poti-Piauí é o doméstico.

Tabela 5.5 Produtividade dos poços do sistema aquífero Poti-Piauí.

Descrição	Tipo	
	Livre	Confinado
Profundidade média (m)	140	226
Vazão média (m <sup>3</sup> /h)	18,0	40,0
Capac. específica média (m <sup>3</sup> /h/m)	1,390	2,576
Poços consultados	49	10

### Sistema aquífero Motuca

O sistema aquífero Motuca é constituído por folhelhos e siltitos com intercalações de arenitos, calcários e argilitos, da formação homônima, depositado no final do Permiano (250 Ma.). Em geral é um aquífero de baixa capacidade, sendo explotado em condições livres. Localmente tem suas águas captadas para uso o doméstico. Aflora por cerca de 10.717 km<sup>2</sup> na forma de manchas no leste e sul do estado do Pará. A disponibilidade hídrica (reserva explotável) foi estimada em 3,0 m<sup>3</sup>/s (ver Tabela 5.1).

Os 22 poços consultados (profundidade média de 96 m) desse sistema apresentam capacidade específica média de 2,28 m<sup>3</sup>/h/m e vazão média de 16,3 m<sup>3</sup>/h. Os parâmetros hidrodinâmicos médios para o sistema aquífero Pastos Bons/Motuca são 2,3.10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>/s de transmissividade, 3,6.10<sup>-6</sup> m/s de condutividade

hidráulica e  $2,0 \cdot 10^{-4}$  de coeficiente de armazenamento (condição confinada) (Costa 1994). O uso preponderante da água é para o abastecimento doméstico.

### **Sistema aquífero Corda**

A Formação Corda é formada por arenitos, siltitos e folhelhos do Jurássico (200 Ma.). Os níveis arenosos (psamíticos) dessa unidade correspondem ao aquífero Corda. Esse ocorre em condições livre, semiconfinado e confinado. É aflorante no centro-sul do estado do Maranhão, extremo norte de Tocantins e na porção centro-oeste do Piauí, perfazendo cerca de 35.266 km<sup>2</sup>. Apresenta uma espessura média de 160 m (Costa 1994). Sua disponibilidade hídrica (reserva explotável) estimada é 9,2 m<sup>3</sup>/s (ver Tabela 5.1).

Apresenta capacidades específicas médias, respectivamente, de 1,59 e 1,86 m<sup>3</sup>/h/m, para as porções livres e confinadas. A vazão média dos poços é de 14,5 m<sup>3</sup>/h, conforme mostra a Tabela 5.6. Os parâmetros hidrodinâmicos médios do sistema aquífero são  $8,0 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s de transmissividade,  $2,0 \cdot 10^{-5}$  m/s de condutividade hidráulica e  $4,0 \cdot 10^{-6}$  de coeficiente de armazenamento (condição confinada) (Costa 1994). O principal uso desse manancial é para o abastecimento doméstico.

Tabela 5.6 Produtividade dos poços no aquífero Corda.

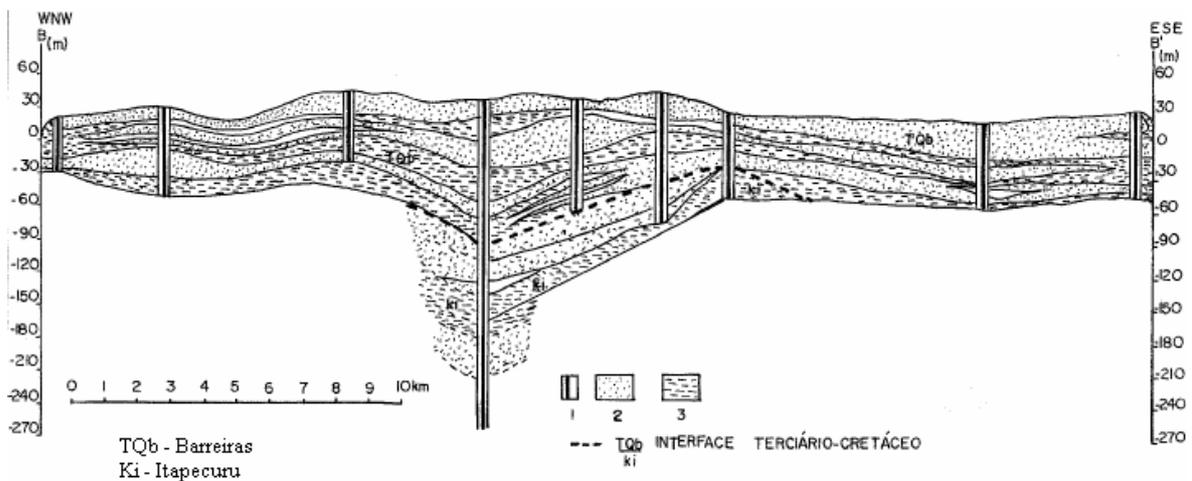
Descrição	Tipo	
	Livre	Confinado
Profundidade média dos poços (m)	97	213
Vazão média (m <sup>3</sup> /h)	14,5	14,8
Capac. específica. média (m <sup>3</sup> /h/m)	1,594	1,867
Poços consultados	35	47

### **Sistema aquífero Itapecuru**

O sistema aquífero Itapecuru é constituído predominantemente por arenitos, siltitos e folhelhos, de idade cretácea, pertencentes à formação homônima, tem grande área de ocorrência superficial, sendo comumente livre e, localmente, semiconfinado. Ocupa a região centro-nordeste do estado do Maranhão e uma

faixa no leste do Pará, aflorando por cerca de 204.979 km<sup>2</sup> nesses estados, portanto, uma expressiva área de recarga. A espessura média do aquífero é de 100 m (Costa 1994). A disponibilidade hídrica (reserva explotável) estimada para esse sistema atinge 214,8 m<sup>3</sup>/s (ver Tabela 5.1).

É utilizado principalmente para a pecuária e abastecimento rural no interior do Estado do Maranhão, e para abastecimento doméstico na cidade de São Luís conjuntamente com o sistema aquífero Barreiras (Figura 5.6).



Fonte: Sousa (2004).

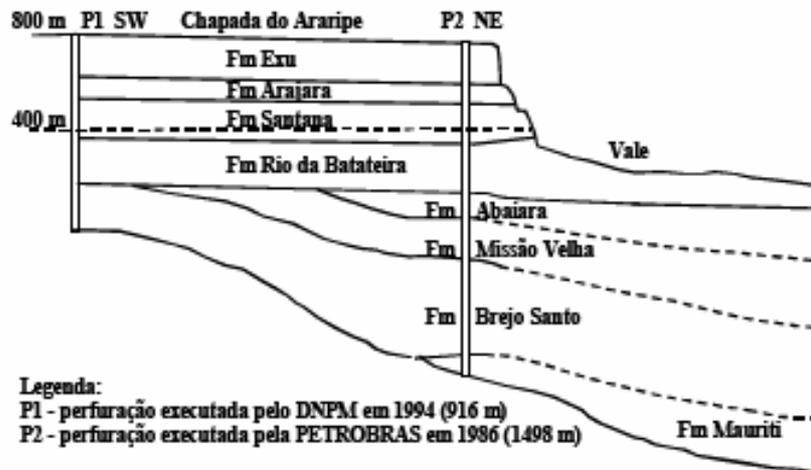
Figura 5.6 Perfil geológico próximo a São Luís-MA.

Os poços apresentam vazão média de 12,3 m<sup>3</sup>/h e capacidade específica, também média, de 1,862 m<sup>3</sup>/h/m (116 poços consultados, com uma profundidade média de 91 m). Os parâmetros hidrodinâmicos médios do sistema aquífero são 2,3.10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>/s de transmissividade, 3,6.10<sup>-6</sup> m/s de condutividade hidráulica e 2,0.10<sup>-3</sup> de coeficiente de armazenamento (condição de aquífero livre) (Costa 1994).

### Sistema aquífero Missão Velha

O sistema aquífero Missão Velha é constituído pelos arenitos e intercalações silticas da formação homônima, de idade jurássica (200 Ma.), sendo recoberto pelos sedimentos da Formação Abaiara, que cria condições de

confinamento na Bacia Sedimentar do Araripe (Figura 5.7). Aflora no extremo sudeste do estado do Piauí, por cerca de 1.324 km<sup>2</sup>. A exploração ocorre geralmente em condições livre, entretanto também há situações de confinamento. As espessuras variam de 70 a 195 m, com média de 130 m (Fracalossi Júnior, 1986), e tem disponibilidade hídrica (reserva explotável) estimada em apenas 0,2 m<sup>3</sup>/s (ver Tabela 5.1).



Fonte: Machado *et al.* (2002).

Figura 5.7 Perfil geológico da Bacia Sedimentar do Araripe.

Na porção livre, a vazão média é de 14,4 m<sup>3</sup>/h e a capacidade específica média de 2,325 m<sup>3</sup>/h/m, constituindo um aquífero de média produtividade (15 poços consultados, com uma profundidade média de 79 m). Os parâmetros hidrodinâmicos médios do sistema aquífero, no estado do Ceará, são:  $3,3 \cdot 10^{-4}$  a  $8,0 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s de transmissividade;  $5,0 \cdot 10^{-5}$  m/s de condutividade hidráulica e  $8,0 \cdot 10^{-2}$  de coeficiente de armazenamento (Costa 1994). Fracalossi Júnior (1986) apresenta resultados similares para parâmetros hidrodinâmicos médios: transmissividade de  $4,93 \cdot 10^{-3}$  m/s<sup>2</sup> e condutividade hidráulica de  $4,99 \cdot 10^{-5}$  m/s<sup>2</sup>.

As cidades de Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha, no Ceará, cearenses utilizam águas do Missão Velha.

## Sistema aquífero Exu

O sistema aquífero Exu é constituído pelos sedimentos cretácicos (145 Ma.) da formação Exu, que representa a porção superior da Bacia Sedimentar do Araripe e ocupa partes dos estados do Ceará, Pernambuco e Piauí. Ele apresenta grande heterogeneidade no seu conteúdo sedimentar. Em sua porção superior é constituída por termos psamíticos, entre eles incluem-se arenitos com granulometria média a conglomerática, com intercalações pelíticas (argilosas). Já na porção inferior, termos mais pelíticos são mais comuns, com intercalações de arenitos (Assine, 1992).

Esse sistema aflora por cerca de 6.397 km<sup>2</sup> e localiza-se no topo da Chapada do Araripe (ver Figura 5.7), que é constituída por um vasto planalto com elevação média de 800 m, e uma planície, o Vale do Cariri, que se estende para leste com desnível médio de 400 m. A chapada é o divisor de água das bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe (CE) ao norte, São Francisco (PE) ao sul e Parnaíba (PI) a oeste (Mendonça *et al.*, 2000). Em geral os níveis d'água nos poços perfurados no topo dela são profundos, da ordem de 150 a 180 m (Costa Filho & Costa, 2000). A espessura da unidade varia de 15 m (extremo leste) a 150 m (extremo oeste) (Mendonça *et al.*, 2000). A disponibilidade hídrica (reserva explotável) estimada para esse sistema é de apenas 0,2 m<sup>3</sup>/s (ver Tabela 5.1).

A porção superior apresenta condições hidrogeológicas mais favoráveis, com maior permeabilidade. O aquífero é predominantemente livre, apresentando vazões médias de 6,0 m<sup>3</sup>/h e capacidade específica média de 7,922 m<sup>3</sup>/h/m (3 poços consultados, com uma profundidade média de 58 m). A condutividade hidráulica é de 3.10<sup>-5</sup> m/s (DNPM 1996 *apud* Machado *et al.*, 2002).

O uso principal do manancial é para o abastecimento doméstico. Várias fontes ocorrem, sobretudo, na região do Cariri no Ceará. Essas fontes são utilizadas no abastecimento público e irrigação de pequenas lavouras. As maiores vazões médias nestas fontes são relacionadas às fraturas ou falhas geológicas na Formação Exu e ao contato geológico entre as formações Exu e Arajara, com valores médios de 62,3 m<sup>3</sup>/h e 36,7 m<sup>3</sup>/h, respectivamente (Fernandes & Loureiro, 2004).

## Sistema aquífero Barreiras

O sistema aquífero Barreiras, de idade terció-quaternária (deposição iniciada há 65 Ma.), tem ampla distribuição na costa brasileira. Regiões de chapadas que adentram o continente, em Minas Gerais, Bahia, por exemplo, também são interpretadas como pertencentes ao Barreiras. Os tabuleiros representam uma morfologia típica dos sedimentos Barreiras, originando relevo aplainado. Ele aflora de forma descontínua ao longo da costa brasileira em uma área de cerca de 176.532 km<sup>2</sup>.

Esse sistema é constituído por sedimentos clásticos finos a conglomeráticos, representados por argilas arenosas, arenitos argilosos, areias conglomeráticas, entre outras. Em geral, mostram grande variabilidade litológica. A espessura desse sistema é muito variada, oscilando de poucos metros a algumas centenas. A espessura média para o Barreiras é de 60 m (Costa, 1994).

Comumente o Barreiras ocorre como aquífero livre. Entretanto, devido à presença de níveis pelíticos (argilosos), localmente, há condições de confinamento. A disponibilidade hídrica (reserva explotável) estimada alcança 217,0 m<sup>3</sup>/s (ver Tabela 5.1).

A variabilidade litológica do sistema aquífero Barreiras ocasiona permeabilidade e transmissividade também variáveis, de forma que a potencialidade desse sistema também é bastante diversificada. A porção livre desse sistema tem poços com vazão média de 23,4 m<sup>3</sup>/h. Já a capacidade específica tem valor médio de 2,158 m<sup>3</sup>/h/m. Na parte confinada, o valor médio para vazão e capacidade específica são, respectivamente, de 103,4 m<sup>3</sup>/h e 4,508 m<sup>3</sup>/h/m, portanto, tem produtividade boa a elevada. Os valores são apresentados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 Produtividade dos poços do sistema aquífero Barreiras.

Descrição	Tipo	
	Livre	Confinado
Profundidade média (m)	77	160
Vazão média (m <sup>3</sup> /h)	23,4	103,4
Capac. específica média (m <sup>3</sup> /h/m)	2,158	4,508
Poços consultados	4	11

O sistema aquífero Barreiras tem grande participação no abastecimento de várias capitais brasileiras, particularmente das capitais litorâneas nordestinas de Belém, São Luís, Fortaleza, Natal e Maceió.

Na Ilha do Maranhão, onde está situada a capital do estado, São Luís, o abastecimento de uma significativa parte da população é realizado pelos sistemas aquíferos Barreiras e Itapecuru. Na Região Metropolitana de Fortaleza estima-se que 40 a 60% da população utilizam água subterrânea como fonte complementar ou principal (Cavalcante, 1998 *apud* Aguiar & Cordeiro, 2002). Os sistemas aquíferos explorados são o Barreiras e o Dunas. Na Região Metropolitana de Natal, o Barreiras em conjunto com o aquífero Dunas, responde por cerca de 65% do abastecimento, sendo captado por poços com cerca de 80 m de profundidade (Melo *et al.*, 1998). Em Maceió, os sistemas Barreiras e Barreiras/Marituba respondem por 81% do abastecimento de água da população através de mais de 400 poços profundos (Nobre & Nobre, 2000). O sistema Barreiras também é explorado na regiões norte e sul de Recife (ver Figura 5.8), sendo os principais usos o abastecimento humano, industrial e hospitalar.

O Barreiras é também explorado nos estados do Espírito Santo e Rio de Janeiro. Furos de sondagem realizados na costa do estado do Espírito Santo pela Petrobrás constataram espessuras de 80 m, com aumento gradual em direção à plataforma continental, chegando a alcançar 150 m (Mourão *et al.*, 2002). Na região do estado do Rio de Janeiro, o Barreiras atinge uma espessura máxima de 200 m e atende a municípios situados na região litorânea, como Campos e São João da Barra.

Na região de Maceió, os parâmetros hidrodinâmicos de dois poços no aquífero Barreiras são:  $1,610 \cdot 10^{-4}$  e  $1,355 \cdot 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s de transmissividade e condutividade hidráulica de  $8,050 \cdot 10^{-6}$  e  $2,558 \cdot 10^{-4}$  m/s de condutividade hidráulica (Cavalcante 1982). Na bacia hidrográfica do rio Ceará Mirim, no Rio Grande do Norte, o Barreiras apresenta transmissividade de  $2,42 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s,  $1,1 \cdot 10^{-4}$  m/s de condutividade hidráulica e coeficiente de armazenamento de 0,1 (aquífero sob condição livre) (Diniz Filho *et al.* 2000). Na Região Metropolitana de Fortaleza, o sistema aquífero Barreiras apresenta condutividade hidráulica média de  $1,89 \cdot 10^{-5}$  m/s e transmissividade média de  $5,2 \cdot 10^{-4}$  (COGERH 1993 *apud* Silva *et al.* 2002). Na Região Metropolitana de Recife, a transmissividade média é de

$3,96 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  e a condutividade hidráulica média de  $5,40 \cdot 10^{-5}$  (Monteiro *et al.* 2002).

### **Sistema aquífero Beberibe**

O sistema aquífero Beberibe, de idade cretácica (145 Ma.), apresenta uma seqüência de arenitos de granulação variada, tendo, na base, clastos de natureza silicosa que gradam, progressivamente, para sedimentos calcíferos, no topo. Na porção intermediária desse aquífero ocorre uma camada pelítica, com espessura de cerca de 10 m (CPRH). Na planície do Recife, o aquífero Beberibe possui uma espessura média de 100 m, aumentando no sentido de oeste para leste em direção ao oceano atlântico, atingindo uma espessura de 200 m na zona costeira (Costa *et al.*, 1998). A sua área aflorante localiza-se nos estados de Pernambuco e Paraíba, na forma de duas manchas alongadas de direção norte-sul, ocupando uma área de cerca de 318 km<sup>2</sup>. A disponibilidade hídrica (reserva explotável) estimada para esse aquífero é de 0,4 m<sup>3</sup>/s (ver Tabela 5.1).

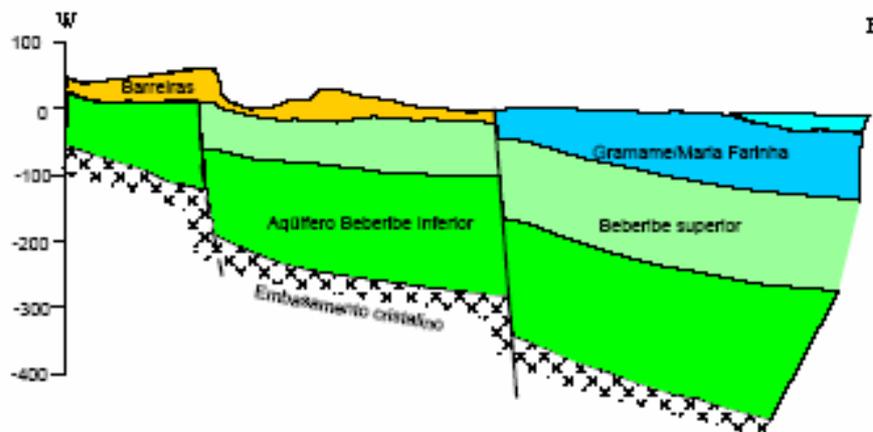
Em períodos normais, antes da seca de 1998-1999, o manancial subterrâneo participava com cerca de 20% da oferta de água para a cidade de Recife. Em 2000, a sua participação chegou a 60%, que corresponde a um total estimado de 4.000 poços, a maior parte deles particulares (Costa, 2000b). O aquífero Beberibe é a principal fonte de água subterrânea usada na capital pernambucana (Figura 5.8). O crescimento desordenado do número de poços tem provocado significativos rebaixamentos do nível de água e problemas de salinização das suas águas. Foi observado em um poço, um rebaixamento de 10 m em um período de 3 anos (Cabral *et al.*, 2002).

A fim de melhorar o gerenciamento da água subterrânea em Recife, foi instalada uma rede de monitoramento telemétrico dos aquíferos para medição dos níveis de água e da condutividade elétrica (Costa & Costa Filho, 2004).

Além do uso doméstico, na capital pernambucana, também é utilizado para suprir a indústria e em atividades recreativas.

A porção livre do aquífero Beberibe apresenta poços com vazão média de 34,1 m<sup>3</sup>/h e capacidade específica média de 1,293 m<sup>3</sup>/h/m. Por outro lado, nas áreas confinadas os valores médios de vazão e capacidade específica são,

respectivamente, de 77,7 m<sup>3</sup>/h e 3,752 m<sup>3</sup>/h/m, conforme apresentado na Tabela 5.8. Por esses dados o aquífero mostra boa produtividade. Os parâmetros hidrodinâmicos médios do sistema aquífero são 1,7.10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/s de transmissividade, 3,8.10<sup>-5</sup> m/s de condutividade hidráulica e 2,2.10<sup>-4</sup> de coeficiente de armazenamento (condições de aquífero confinado) (Costa 1994). Santos *et al.* (2000) obtiveram valores similares, com 2,5.10<sup>-5</sup> m/s de condutividade hidráulica e 3,7.10<sup>-4</sup> de coeficiente de armazenamento (condições de aquífero confinado).



Fonte: Adaptado de Oliveira (2003) por Manoel Filho (2004).

Figura 5.8 Perfil geológico na zona norte de Recife-PE.

Em caráter preliminar, foram instalados 4 poços para exploração do sistema aquífero Beberibe no Rio Grande do Norte. O Beberibe foi captado em poços profundos que atravessaram o sistema Barreiras/Dunas, que já é intensamente explorado na Região Metropolitana de Natal. As restrições impostas à outorga para instalação de poços no sistema aquífero Barreiras/Dunas pela Secretaria de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte motivaram a instalação de poços que exploravam o aquífero mais profundo (Costa, 2000a).

Tabela 5.8 Produtividade dos poços do aquífero Beberibe.

Descrição	Tipo	
	Livre	Confinado
Profundidade média (m)	182	246
Vazão média (m <sup>3</sup> /h)	34,1	77,7
Capac. específica média (m <sup>3</sup> /h/m)	1,293	3,752
Poços consultados	4	21

## **Sistema aquífero Tacaratu**

A Formação Tacaratu, de idade siluro-devoniana (445 Ma. a 415 Ma.), representa a porção basal do Grupo Jatobá. Ele ocorre na Bacia Sedimentar do Tucano-Jatobá. Os clásticos grosseiros dessa formação, principalmente arenitos grossos a finos, com intercalações de conglomerados e folhelhos, constituem o aquífero Tacaratu. Os afloramentos desse aquífero estão localizados na porção central do estado de Pernambuco e sudeste do Estado do Ceará, totalizando cerca de 3.890 km<sup>2</sup>. A espessura média desse aquífero é de cerca de 200 m (Costa, 1994). A disponibilidade hídrica (reserva explotável) desse sistema é estimada em 2,9 m<sup>3</sup>/s (ver Tabela 5.1).

Quando sobreposto pelo aquífero Inajá, este aquífero apresenta condições de confinamento. Nas áreas livres tem vazão média de 5,6 m<sup>3</sup>/h e capacidade específica média de 0,860 m<sup>3</sup>/h/m, como foi observado em 27 poços consultados (profundidade média de 102 m). Os principais usos para as águas do aquífero Tacaratu são o abastecimento doméstico e a irrigação.

## **Sistema aquífero Inajá**

Os sedimentos clásticos da Formação Inajá, de idade devoniana (420 Ma.), recobrem a Formação Tacaratu, na Bacia Sedimentar do Jatobá. Os arenitos fluviais finos a grossos, caulínicos, com intercalações de pelitos da Formação Inajá constituem o aquífero homônimo que aflora em uma pequena área, na porção centro sul do estado de Pernambuco, perfazendo cerca de 956 km<sup>2</sup>. A disponibilidade hídrica (reserva explotável) estimada é de 0,3 m<sup>3</sup>/s (ver Tabela 5.1).

O aquífero Inajá é poroso, variando de condição livre a confinada, e tem espessura média de 300 m (Costa, 1994). Nas porções livres, a vazão média é de 3,5 m<sup>3</sup>/h e a capacidade específica média alcança 0,474 m<sup>3</sup>/h/m, enquanto nos setores confinados, a produtividade melhora, atingindo valores médios para vazão e capacidade específica, respectivamente, de 20,1 m<sup>3</sup>/h e 1,587 m<sup>3</sup>/h/m, como mostrado na Tabela 5.9. Os parâmetros hidrodinâmicos médios do sistema aquífero Inajá/Tacaratu são:  $4,0 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s de transmissividade,  $6,0 \cdot 10^{-6}$  m/s de



O aquífero apresenta elevada produtividade, tanto nas áreas livres como naquelas confinadas. A vazão média nas primeiras é de 23,7 m<sup>3</sup>/h e a capacidade específica média de 2,881 m<sup>3</sup>/h/m. Já onde é explotado em condições confinadas, os valores médios são de 40,4 m<sup>3</sup>/h e 2,367 m<sup>3</sup>/h/m, conforme é mostrado na Tabela 5.10. São comuns, nas porções confinadas, as condições de artesianismo jorrante (Cunha *et al.*, 1986).

Os parâmetros hidrodinâmicos médios do sistema aquífero são:  $3,5 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s de transmissividade,  $1,2 \cdot 10^{-5}$  m/s de condutividade hidráulica e  $2,0 \cdot 10^{-4}$  de coeficiente de armazenamento (condições de aquífero confinado) (Costa 1994).

Tabela 5.10 Produtividade dos poços do sistema aquífero São Sebastião.

Descrição	Tipo	
	Livre	Confinado
Profundidade média (m)	127	170
Vazão média (m <sup>3</sup> /h)	23,7	40,4
Capac. específica. média (m <sup>3</sup> /h/m)	2,881	2,367
Poços consultados	59	109

A cidade de Salvador tem parcela importante de seu abastecimento dependente do aquífero São Sebastião, bem como a cidade de Camaçari, onde também o manancial apresenta uso industrial.

### Sistema aquífero Marizal

O sistema aquífero Marizal, de idade cretácica, ocorre nas bacias Tucano e Recôncavo. É constituído por arenitos grosseiros, níveis sílticos, além de conglomerados em sua porção basal, e é, portanto, de natureza porosa. Estas bacias sedimentares foram submetidas a importantes ciclos deformacionais, especialmente os de natureza rúptil, foi gerada nelas uma porosidade secundária associada ao fraturamento. Recobre boa parte da Bacia Sedimentar do Tucano. Aflora por cerca de 18.797 km<sup>2</sup>, ocupando uma faixa alongada na direção norte-sul, no leste do estado da Bahia, recobrindo a Formação São Sebastião. A disponibilidade hídrica (reserva explotável) estimada para esse aquífero é de 7,2 m<sup>3</sup>/s (ver Tabela 5.1).

A espessura média do sistema aquífero Marizal é de 200 m (Costa, 1994), ocorrendo em condições livre e confinada. Na primeira situação a vazão média é de 21,3 m<sup>3</sup>/h e a capacidade específica média é 2,127 m<sup>3</sup>/h/m. Nas porções confinadas os valores médios de vazão e capacidade específica são, respectivamente, de 15,1 m<sup>3</sup>/h e 2,004 m<sup>3</sup>/h/m (Tabela 5.11). Esses valores denotam boa produtividade do sistema.

Tabela 5.11 Produtividade dos poços do sistema aquífero Marizal.

Descrição	Tipo	
	Livre	Confinado
Profundidade média (m)	129	141
Vazão média (m <sup>3</sup> /h)	21,3	15,1
Capac. específica. média (m <sup>3</sup> /h/m)	2,127	2,004
Poços consultados	43	42

### Sistema aquífero Bambuí

O sistema aquífero Bambuí compreende os metassedimentos, em sua maioria, de natureza carbonática, dos grupos Bambuí e Una, além dos carbonatos da Formação Caatinga. Os primeiros são de idade neoproterozóica (850 a 650 Ma.), enquanto a Formação Caatinga compreende materiais quaternários (1,75 Ma.), produtos da alteração de carbonatos do Grupo Bambuí.

Esse sistema aquífero possui uma área de afloramento de 181.868 km<sup>2</sup>, que corresponde à porção centro norte do estado de Minas Gerais, região centro-oeste da Bahia, além dos extremos sudeste de Tocantins e noroeste de Goiás. Possui disponibilidade hídrica (reserva explotável) estimada em 40,3 m<sup>3</sup>/s (ver Tabela 5.1). Os poços apresentam vazão média de 11 m<sup>3</sup>/h e capacidade específica média de 4,811 m<sup>3</sup>/h/m, segundo 159 poços consultados (profundidade média de 86 m).

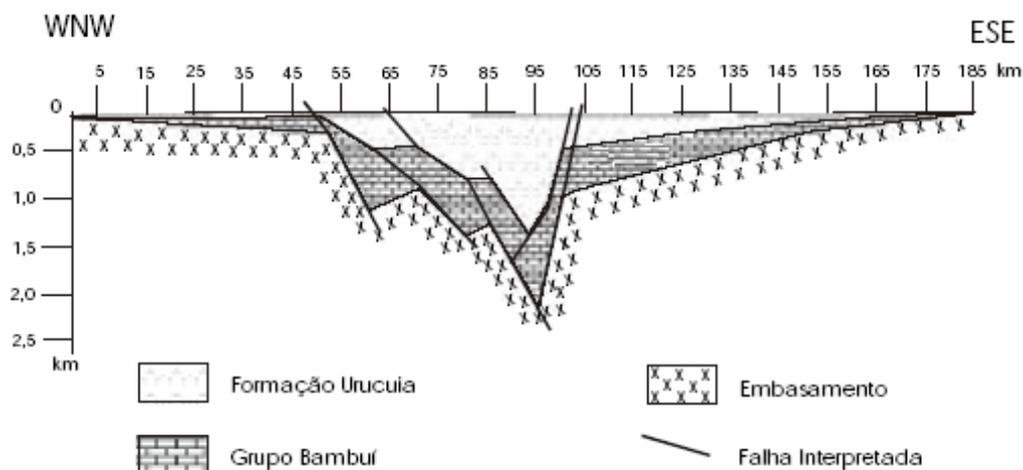
O sistema aquífero Bambuí já é intensamente explotado em várias regiões da bacia hidrográfica do São Francisco, com destaque para a bacia do Verde Grande, afluente da margem direita do São Francisco, uma região de conflito de usos, e o Platô de Irecê, na Bahia. As duas representam áreas de intensa explotação da água subterrânea, principalmente para irrigação. Como exemplo, no ano de 1996, no Estado de Minas Gerais, 74% das outorgas concedidas foram para

captações subterrâneas sendo que, aproximadamente, 85% dessas tinham por finalidade o uso para irrigação na bacia do rio Verde Grande (Ramos & Martins, 2000).

Cabe destacar que por sua natureza cárstica e fraturada, o Bambuí é extremamente heterogêneo em termos de disponibilidade hídrica e produtividade de poços. De forma geral, as áreas de maior produtividade dos poços correspondem às áreas cársticas, em que predominam rochas calcárias. Uma significativa parte do Bambuí apresenta comportamento de aquífero tipicamente fraturado, especialmente aquelas que compreendem as formações Jequitaí e Serra da Saudade (Grupo Bambuí) e Formação Bebedouro (Grupo Una).

### Sistema aquífero Urucuia-Areado

O sistema aquífero Urucuia-Areado engloba os sedimentos cretácicos (145 Ma.) das formações Urucuia e Areado, que recobrem, na sua maior parte, as rochas do Grupo Bambuí (Figura 5.). A unidade é formada por arenitos muito finos a médios com intercalações de conglomerados, folhelhos e siltitos. O aquífero é do tipo livre. A espessura média do Urucuia é de 400 m, enquanto que a do Areado é de 200 m (Costa, 1994). A espessura do Urucuia pode atingir valores superiores a 1.500 m (Bomfim & Gomes, 2004).



Fonte: Adaptado de Bomfim & Gomes (2004).

Figura 5.10 Perfil gravimétrico interpretado, a sul da cidade de Barreiras-BA.

No Oeste da Bahia, predominam as rochas do Urucuia em espessura e extensão, enquanto que no oeste mineiro, prevalecem as do Areado. Além dos estados de Bahia e Minas Gerais, também aflora em Goiás, Piauí e Maranhão, totalizando cerca de 144.086 km<sup>2</sup> em áreas de exposição. A disponibilidade hídrica (reserva explotável) estimada desse sistema alcança 236,4 m<sup>3</sup>/s (ver Tabela 5.1). Em termos globais, a disponibilidade hídrica do sistema aquífero é elevada.

A vazão média dos poços é de 10,4 m<sup>3</sup>/h e a capacidade específica média de 0,972 m<sup>3</sup>/h/m, de acordo com 28 poços consultados (profundidade média de 89 m). Os parâmetros hidrodinâmicos médios do sistema aquífero são: 10<sup>-4</sup> a 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s de transmissividade, 10<sup>-5</sup> a 10<sup>-7</sup> m/s de condutividade hidráulica e 1. 10<sup>-3</sup> a 5.10<sup>-3</sup> de coeficiente de armazenamento (condição de aquífero livre) e 1. 10<sup>-4</sup> (condição de aquífero confinado) (Costa 1994).

Especialmente na região baiana, o sistema aquífero Urucuia-Areado tem sido amplamente utilizado na irrigação. Ele apresenta ainda grande importância na manutenção do escoamento de base de rios da margem esquerda do São Francisco como o Carinhanha, Corrente e Grande.

### **Sistema aquífero Furnas**

A Formação Furnas, de idade devoniana (420 Ma.), é considerada como unidade basal da Bacia Sedimentar do Paraná, assentando-se no embasamento cristalino. É constituída por arenitos, predominantemente de granulação grossa, pobremente classificada e com matriz caulínica.

O aquífero Furnas é de natureza porosa, variando de livre a confinado, a depender da ocorrência de estratos sobrepostos. Entretanto, em que pese a sua natureza porosa primitiva, muito comumente encontra-se bastante consolidado (Rosa Filho *et al.*, 1998), de forma a reduzir a sua disponibilidade hídrica, em geral melhorada pela presença de estruturas rúpteis, secundárias. Tem área de recarga estimada em 24.894 km<sup>2</sup>, distribuída nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Paraná e São Paulo, com espessura média de 200 m. A sua disponibilidade hídrica (reserva explotável) é estimada em 28,6 m<sup>3</sup>/s (ver Tabela 5.1). Os usos são, principalmente, doméstico e industrial.

Na Tabela 5.12 são apresentados os dados dos poços analisados nesse aquífero. Sob condições livres, a vazão média dos poços é de 17,4 m<sup>3</sup>/h e a capacidade específica média de 1,556 m<sup>3</sup>/h/m. Na porção confinada, a produtividade dos poços é similar à porção livre, com capacidade específica média de 1,510 m<sup>3</sup>/h/m.

Tabela 5.12 Produtividade dos poços do sistema aquífero Furnas.

Descrição	Tipo	
	Livre	Confinado
Profundidade média (m)	124	195
Vazão média (m <sup>3</sup> /h)	17,4	46,4
Capac. específica. média (m <sup>3</sup> /h/m)	1,556	1,510
Poços consultados	21	6

### Sistema aquífero Ponta Grossa

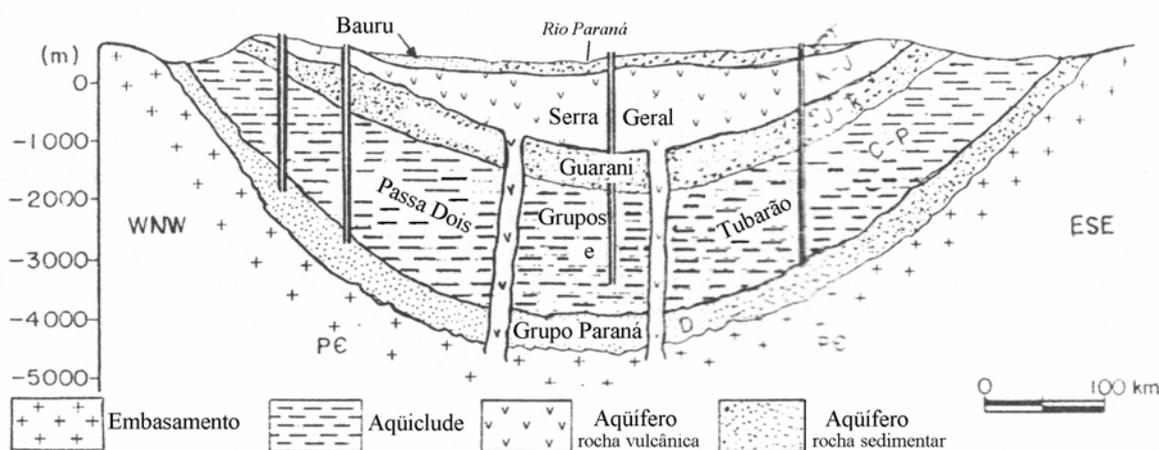
A Formação Ponta Grossa, de idade devoniana (420 Ma.), consiste, na base de folhelhos e siltitos, e em direção ao topo há intercalações de arenitos finos a muito finos. Por sua constituição, essa formação representa um aquífero de baixa potencialidade, reduzida às camadas arenosas. Ele assenta-se sobre a Formação Furnas, em toda a bacia do Paraná. As áreas de afloramento estão nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e Paraná, perfazendo cerca de 24.807 km<sup>2</sup>. É explotado em condições livres, apresentando espessura média de 300 m. A disponibilidade hídrica (reserva explotável) estimada é de 29,1 m<sup>3</sup>/s (ver Tabela 5.1).

As águas desse aquífero são utilizadas, principalmente, para o uso doméstico, com poços que apresentam vazão média de 5,8 m<sup>3</sup>/h. A capacidade específica média é de 0,369 m<sup>3</sup>/h/m (9 poços consultados, com a profundidade média de 150 m).

## Sistema aquífero Guarani

A área de abrangência das rochas que constituem o aquífero foi habitada pela “Nação Guarani” na época do descobrimento. O termo “Sistema Aquífero Guarani-SAG”, homenageia a memória dessa “Nação”, unificando a terminologia das rochas do Triássico (formações Pirambóia e Rosário do Sul, no Brasil, e Buena Vista, no Uruguai) e do Jurássico (Formações Botucatu, no Brasil, Misiones, no Paraguai, e Tacuarembó, no Uruguai e na Argentina), sob o ponto de vista hidrogeológico (Anton 1994 *apud* GEF/BM/OEA 2001).

O SAG compreende um pacote de rochas arenosas que ocorrem sotopostos às rochas basálticas da Formação Serra Geral (Figura 5.11). Tem espessura variando entre 200 e 800 m, com valor médio de 250 m.



Fonte: Modificado de Rebouças (1988).

Figura 5.11 Perfil geológico da Bacia Sedimentar do Paraná. Os sistemas aquíferos Furnas e Ponta Grossa pertencem ao Grupo Paraná.

Distribui-se numa área de aproximadamente 1.195.000 km<sup>2</sup>, no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai. Cerca de 71% (840.000 km<sup>2</sup>) dessa área está no Brasil (Tabela 5.13). Cerca de 90% do SAG é confinado. No território nacional, esse sistema ocorre no subsolo de oito estados e em quatro regiões hidrográficas: Paraguai, Tocantins, Paraná e Atlântico Sul.

As primeiras estimativas para as reservas do SAG em território brasileiro foram realizadas por Rebouças (1976). As reservas permanentes foram

estimadas em 48.021 km<sup>3</sup>, enquanto a reguladora foi de 160 km<sup>3</sup> e esta foi subdivida em infiltração direta e indireta. A primeira considerou a recarga como 15% da precipitação média anual de 1.500 mm, distribuída sobre uma área de 87.000 km<sup>2</sup>. Já a infiltração indireta foi estimada considerando a condutividade hidráulica em 5.10<sup>-8</sup> m/s, diferença de potencial hidráulico médio de 100 m e espessura média da camada infiltrante com 400 m. Já a reserva permanente, foi calculada para uma área total de 800.000 km<sup>2</sup> e espessura média de 300 m e coeficiente de armazenamento de 20%.

Tabela 5.13 Distribuição da área do sistema aquífero Guarani, por estado.

<b>Estado</b>	<b>Área total (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área recarga (km<sup>2</sup>)</b>
Goiás	55.000	9.057
Mato Grosso	26.400	7.218
Mato Grosso do Sul	213.200	25.324
Minas Gerais	52.300	409
Paraná	131.300	4.358
Rio Grande do Sul	157.600	21.469
Santa Catarina	49.200	3.660
São Paulo	155.800	18.441
<b>TOTAL</b>	<b>840.800</b>	<b>89.936</b>

Fonte: Chang (2001).

No estudo de Rocha (1997) é apresentada uma avaliação para toda a área do SAG, incluindo Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai. Os parâmetros utilizados foram espessura média de 250 m; porosidade efetiva de 15% e coeficiente de armazenamento de 10<sup>-4</sup>. Foi considerado o índice de 25% para a disponibilidade hídrica (reserva explotável), tabulado a partir das reservas reguladoras.

Chang (2001) estima a reserva proveniente da recarga direta nas áreas de afloramento do SAG. Foi considerado como valor médio da recarga em relação à precipitação de 4%, área aflorante de 89.936 km<sup>2</sup> e pluviometria média entre 1.300 mm e 1.500 mm. Na Tabela 5.14 são apresentados os valores calculados pelos três trabalhos mencionados.

Tabela 5.14 Síntese das avaliações de reservas para o sistema aquífero Guarani.

<b>Reservas</b>	<b>Fonte</b>		
	<b>Rebouças (1976)</b>	<b>Rocha (1997)</b>	<b>Chang (2001)</b>
Ativa (Infiltração direta)	22 km <sup>3</sup> /ano	160 km <sup>3</sup> /ano	5,2 km <sup>3</sup> /ano
Ativa (Infiltração indireta)	138 km <sup>3</sup> /ano		
Permanente	48.021 km <sup>3</sup>	37.000 km <sup>3</sup>	
Explotável		40 km <sup>3</sup> /ano	

No presente trabalho, para a estimativa da reserva renovável, foi considerada a relação escoamento básico/precipitação em 19%, precipitação média anual de 1.487 mm e área de recarga de 89.936 km<sup>2</sup>. Dessa forma, as reservas reguladoras, totalizam 25,4 km<sup>3</sup>/ano (805,7 m<sup>3</sup>/s). Por outro lado, as reservas exploráveis foram calculadas considerando como 20% do valor estimado para as reguladoras, correspondendo, portanto, a 5,1 km<sup>3</sup>/ano (161,1 m<sup>3</sup>/s), conforme a Tabela 5.1. É importante salientar que os valores estimados para as reservas reguladoras se atêm, principalmente à recarga direta, não considerando, em função do caráter generalista e da escala de baixa resolução utilizada no mapa base (1:2.500.000), cálculos totais da recarga indireta. Somente uma parcela desta está mensurada no fluxo de base.

Chang (2001) menciona o cadastro de 930 poços no SAG, realizado com vistas a uma estimativa preliminar do uso atual do aquífero. Observa-se uma distribuição desigual dos poços, sendo que o estado de São Paulo tem 508 (54,6%), enquanto o estado de Goiás apresentou apenas dois poços. Em termos volumétricos, São Paulo extrai quase 2/3 da produção atual. O consumo atual estimado é de cerca de 0,5 km<sup>3</sup>/ano.

O número de poços cadastrados no SAG, em trabalhos anteriores difere significativamente daquele apresentado por Chang (2001). Somente para o Estado de São Paulo foram mencionados cerca de 2.500 poços situados em área de afloramento ou na borda da porção confinada do SAG (FGV, 1998). Também é citada a existência de mais 300 poços localizados em áreas de maior confinamento. No presente trabalho, para efeitos de geração de valores médios de profundidade, vazão e capacidade específica, foram utilizados os dados consolidados de 156 poços do SAG, cujos valores estão registrados na Tabela 5.15. As propriedades hidrodinâmicas do SAG são muito variáveis regionalmente. Na porção livre, o coeficiente de armazenamento fica entre 10<sup>-3</sup> e 10<sup>-1</sup>, enquanto que nas porções confinadas, ele varia de 10<sup>-6</sup> a 10<sup>-4</sup>. A transmissividade, nas áreas confinadas, vai de 10<sup>-4</sup> e 10<sup>-2</sup> m<sup>2</sup>/s.

Apesar do consumo atual, em nível regional, situar-se abaixo da recarga anual, vários municípios já apresentam sinais de superexploração, notadamente Ribeirão Preto e Bauru. O primeiro tem cerca de 500.000 habitantes abastecidos inteiramente com água subterrânea, tendo como principal origem o SAG. Há vários relatos de rebaixamento excessivo do nível de água nos poços nessa

cidade, entretanto ainda não se dispõe de estudos conclusivos a respeito da origem do rebaixamento. Pode ser somente uma consequência da sobreposição de cones de rebaixamento de poços locados próximos ou então um evento de maior alcance.

Tabela 5.15 Produtividade dos poços do sistema aquífero Guarani.

Descrição	Tipo	
	Livre	Confinado
Profundidade média (m)	111	263
Vazão média (m <sup>3</sup> /h)	13,8	54,2
Capac. específica média (m <sup>3</sup> /h/m)	1,019	2,525
Poços consultados	87	69

### Sistema aquífero Serra Geral

O sistema aquífero Serra Geral, corresponde à formação homônima, de idade jurássica (200 Ma.) e é constituído pelas rochas que compõem uma seqüência de derrames de lavas basálticas e ácidas, com intercalações de lentes e camadas arenosas. Ele ocorre recobrando as formações paleozóicas da Bacia do Paraná e a Formação Botucatu, em toda a região central dessa Bacia (ver Figura 5.11). Em direção ao centro da bacia, aumenta de espessura, alcançando 2.000 m. O derrame basáltico é resultante do intenso magmatismo fraturado, iniciado quando ainda perduravam as condições desérticas da sedimentação da Formação Botucatu. Forma aquíferos fraturados que em sua grande maioria, têm condição livre.

As áreas mais produtivas do sistema Serra Geral estão condicionadas a fraturamentos e zonas vesiculares resultantes do resfriamento dos derrames basálticos. A deformação rúptil afetou posteriormente essas estruturas primárias, gerando fraturas que ampliaram as possibilidades de armazenamento e circulação de água.

O sistema Serra Geral tem área de recarga de cerca de 411.855 km<sup>2</sup> e espessura média de 150 m. A sua disponibilidade hídrica (reserva explotável) é estimada em 7.463 m<sup>3</sup>/s (ver Tabela 5.1). O principal uso da água desse sistema é para abastecimento doméstico. A Companhia de Saneamento do estado do Paraná (SANEPAR), tinha 414 poços em 2001 (Mendes *et al*, 2002) extraíndo

água desse sistema para abastecimento municipal. Naquele ano a companhia extraiu 50,5 milhões de m<sup>3</sup>, equivalente a 52% do total da água subterrânea explotada pela empresa. No oeste catarinense, entre 1.302 poços tubulares cadastrados, em 83,72% o uso era para abastecimento humano, seguido dos usos industrial (8,52%), animal (4,76%), lazer (2,76%) e agrícola (0,24%) (Caye *et al.*, 2002). Importantes sedes municipais da região como Chapecó, Concórdia e São Miguel d' Oeste possuem uma grande concentração de poços, principalmente em edifícios residenciais. Na área urbana de Chapecó, onde se estima que existam mais de 300 poços, verificam-se vários casos de interferências entre poços, causando rebaixamento dos níveis do aquífero e diminuição nas vazões destes (Freitas *et al.*, 2002).

Os poços explotados têm profundidades médias de 123 m, a vazão média é de 22,8 m<sup>3</sup>/h e capacidade específica média é 3,34 m<sup>3</sup>/h/m, como mostra 127 poços consultados (profundidade média de 123 m).

### **Sistema aquífero Bauru-Caiuá**

O sistema aquífero Bauru-Caiuá é poroso e livre a semi-confinado, possui uma área aflorante de 353.420 km<sup>2</sup> e espessura média de 200 m. Ele tem maior exposição areal na região hidrográfica do Paraná, sobreposto às intrusivas do sistema aquífero Serra Geral (ver Figura 5.11) e ocupa grande parte do oeste do estado de São Paulo.

O sistema aquífero é constituído por arenitos finos a médios, com intercalações de argilitos e siltitos de origem predominantemente fluvial das diversas formações componentes do Grupo Bauru e do Grupo Caiuá. A sua potencialidade hidrogeológica está relacionada à variação da composição litológica que distinguem as unidades geológicas, associadas ao controle topográfico e estrutural do substrato basáltico (Formação Serra Geral).

Seus usos predominantes são para abastecimento doméstico e industrial. Em algumas regiões o aquífero é intensamente explotado. Na cidade de São José do Rio Preto, em que 70% da população eram abastecidas por água subterrânea, entre a década de 70 e 90 foi observado rebaixamento do nível de água do sistema aquífero Bauru-Caiuá de 10 m (Oliveira & Wendland, 2004). No estado do

Paraná, a SANEPAR operava 121 poços para abastecimento público (Mendes *et al.*, 2002).

A disponibilidade hídrica (reserva explotável) nesse sistema aquífero é estimada em 587,9 m<sup>3</sup>/s (ver Tabela 5.1). A profundidade média dos poços nesse sistema é de 140 m, os quais apresentam vazão média de 18,7 m<sup>3</sup>/h e capacidade específica média de 0,919 m<sup>3</sup>/h/m (119 poços consultados). Para o Bauru, os parâmetros hidrodinâmicos médios do aquífero são: condutividade hidráulica de 10<sup>-6</sup> a 10<sup>-5</sup> m/s e, os coeficientes de armazenamento variam de 5.10<sup>-2</sup> a 15.10<sup>-2</sup>, em condições de aquífero livre, e é de 10<sup>-3</sup>, sob condições confinadas (Rebouças 1980).

O Bauru-Caiuá, em geral, comporta-se como um sistema aquífero livre e possui grande área de afloramento, condições que facilitam a sua exploração e que lhe confere uma maior vulnerabilidade à contaminação por atividades poluidoras, especialmente aquelas decorrentes do desenvolvimento agrícola e industrial.

## 6. Demandas de recursos hídricos

A vazão de retirada para usos consuntivos no país, no ano de referência de 2000, é de 1.592 m<sup>3</sup>/s. Cerca de 53% deste total (841 m<sup>3</sup>/s) são efetivamente consumidos e 751 m<sup>3</sup>/s retornam à bacia. As vazões de retirada, retorno e consumo estão distribuídas nas 12 regiões hidrográficas, como mostra a Tabela 6.1.

A região hidrográfica do Paraná é responsável por 30% das retiradas no país, sendo quase duas vezes maior que a segunda colocada que é a região Atlântico Sul (15%), seguida das regiões hidrográficas Atlântico Nordeste Oriental e Atlântico Sudeste, São Francisco e Uruguai. As menores retiradas estão nas bacias do Atlântico Nordeste Ocidental, Parnaíba, Paraguai, Amazônica e Araguaia/Tocantins. As regiões Paraná, Atlântico Sul, Uruguai, São Francisco e Atlântico Nordeste Oriental são as que apresentam os maiores consumos.

Tabela 6.1 Vazões de retirada, consumo e retorno e percentuais.

Região hidrográfica	Retirada		Consumo		Retorno
	m <sup>3</sup> /s	% do total	m <sup>3</sup> /s	% do total	m <sup>3</sup> /s
Amazônica	47	3	27	3	20
Tocantins/Araguaia	55	3	33	4	22
Atlântico Nordeste Ocidental	15	1	6	1	9
Parnaíba	19	1	11	1	8
Atlântico Nordeste Oriental	170	11	100	12	70
São Francisco	166	10	105	13	61
Atlântico Leste	68	4	33	4	35
Atlântico Sudeste	168	11	61	7	107
Atlântico Sul	240	15	155	18	85
Uruguai	146	9	109	13	37
Paraná	479	30	189	23	290
Paraguai	19	1	12	1	7
<b>Brasil</b>	<b>1.592</b>	<b>100</b>	<b>841</b>	<b>100</b>	<b>751</b>

As informações da tabela acima também podem ser visualizadas na Figura 6.1 que mostra as vazões de retirada, consumo e retorno em cada uma das doze regiões hidrográficas.

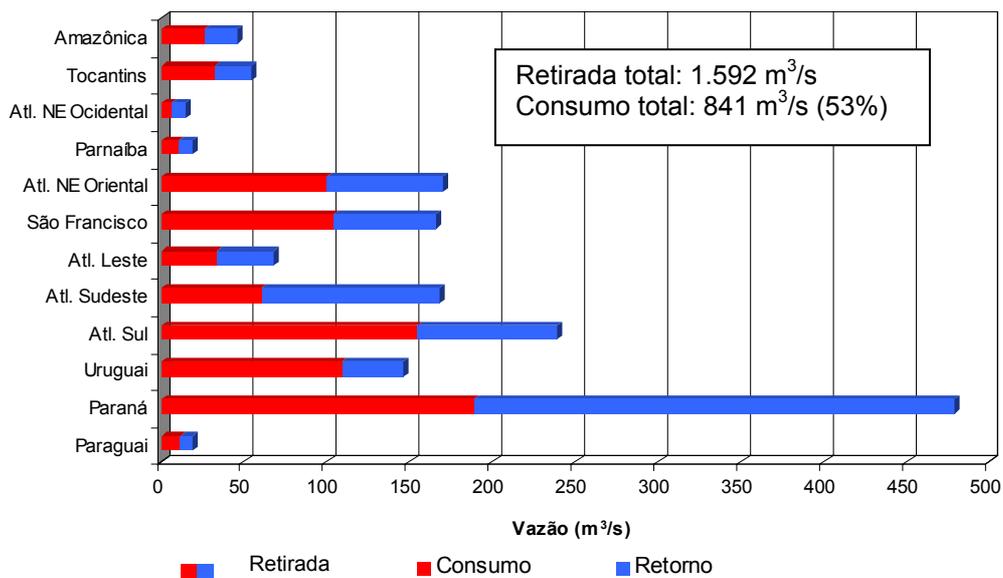


Figura 6.1 Vazões de retirada, consumo e retorno nas regiões hidrográficas.

A Figura 6.2 apresenta o perfil de retirada de água das regiões hidrográficas. Vale destacar que a irrigação é atividade responsável pelas maiores vazões de retirada, com exceção das regiões hidrográficas Amazônica, Atlântico Nordeste Ocidental, Atlântico Leste, Atlântico Sudeste e Paraná, em que predomina o uso urbano, e Paraguai, o uso animal.

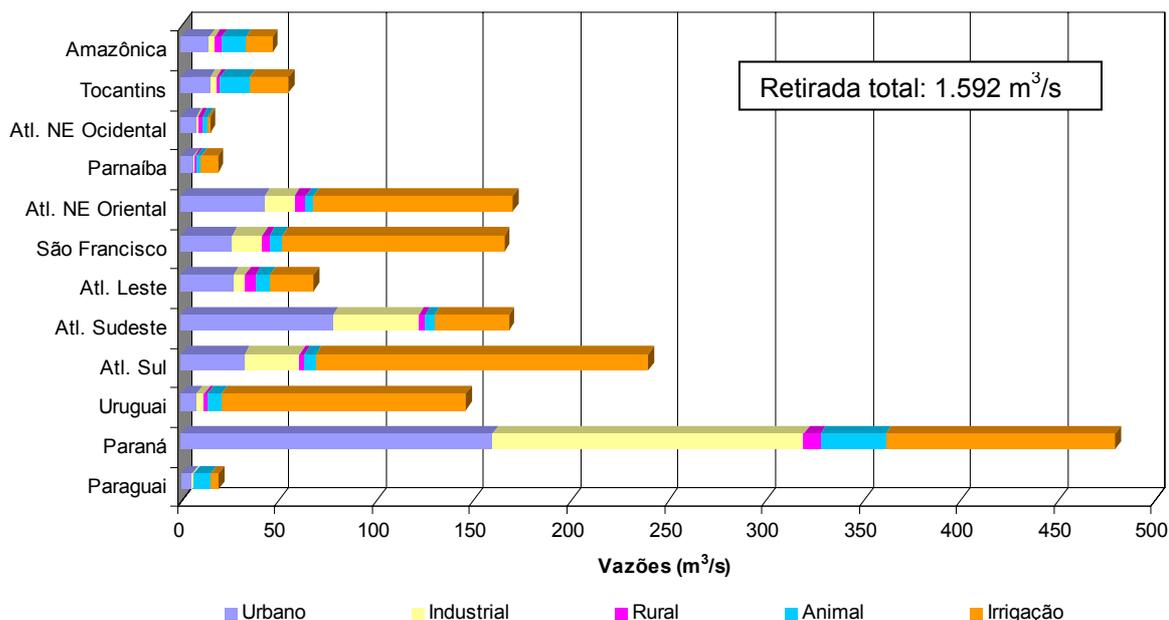


Figura 6.2 Vazões de retirada para os diferentes usos nas regiões hidrográficas.

Quando consideram-se as vazões de consumo, observa-se também o amplo predomínio da irrigação em relação às outras demandas, como mostra a Figura 6.3. As exceções são as regiões hidrográficas do Atlântico Nordeste Ocidental e Paraguai, em que predomina o consumo animal.

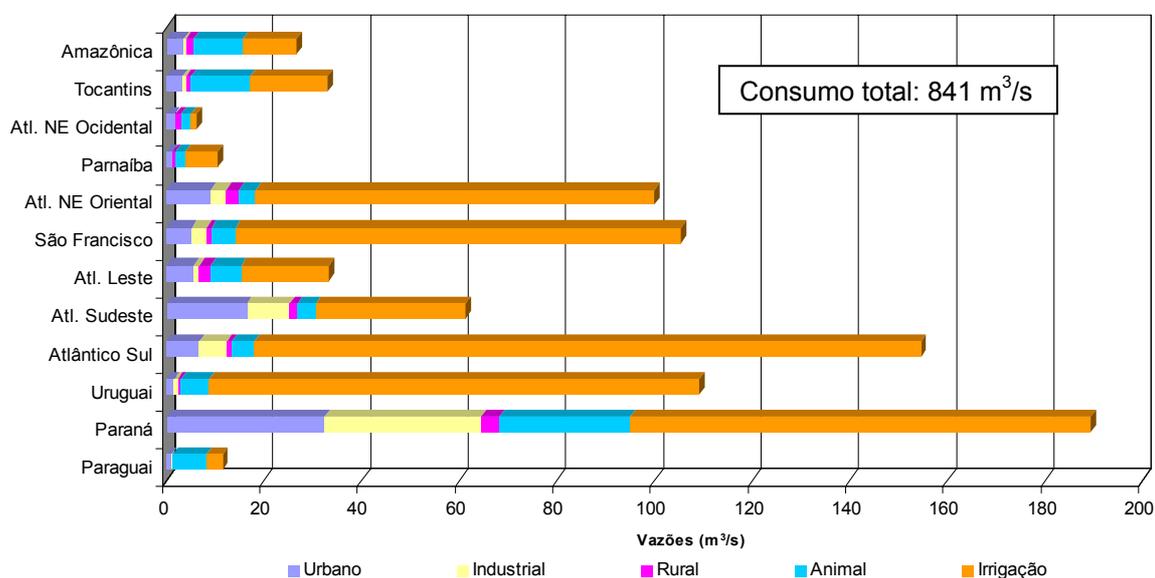


Figura 6.3 Vazões de consumo para os diferentes usos nas regiões hidrográficas.

Na verdade, cerca de 46% das vazões de retirada no país são destinadas à irrigação, como mostra a Figura 6.4. Vinte e seis por cento são destinados para abastecimento urbano, 18% para indústria, 7% para animal e apenas 3% para abastecimento rural.

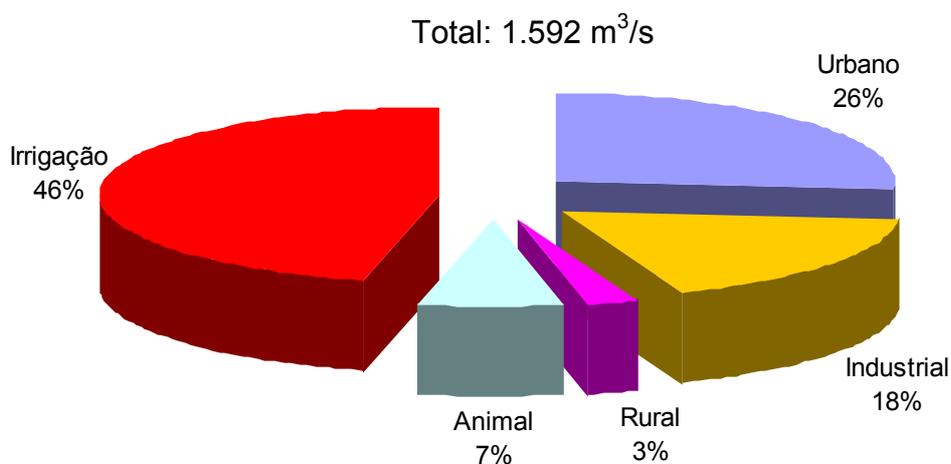


Figura 6.4 Vazões de retirada para os diferentes usos no país.

Em relação às vazões efetivamente consumidas, 69% são destinadas à irrigação, como mostra Figura 6.5. O abastecimento urbano representa 11%, o abastecimento animal 11%, o industrial 7% e o abastecimento rural 2%.

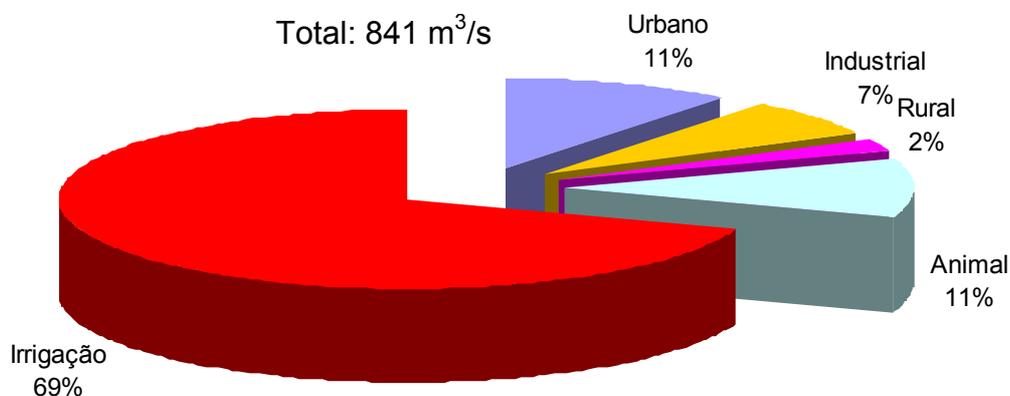


Figura 6.5 Vazões de consumo para os diferentes usos no país.

De acordo com o Censo Agropecuário do IBGE, em 1996, a área irrigada no país era de pouco mais de 3,1 milhões de hectares, menos de 6% da área plantada que é de 55 milhões de hectares. Em 2000, baseado em projeções do ONS (2003), a área irrigada no país era em torno de 3,7 milhões de hectares. A Tabela 6.2 mostra a área irrigada em 1996 e 2000, em cada uma das doze regiões hidrográficas do país.

Tabela 6.2 Área irrigada e vazões de retirada e consumo para irrigação.

Região hidrográfica	Área irrigada 1996 (ha)	Área irrigada 2000 (ha)
Amazônica	70.746	91.970
Tocantins/Araguaia	108.060	133.995
Atlântico Nordeste Ocidental	6.737	9.028
Parnaíba	30.881	41.380
Atlântico Nordeste Oriental	409.233	442.994
São Francisco	342.711	370.985
Atlântico Leste	111.635	123.915
Atlântico Sudeste	244.153	295.425
Atlântico Sul	614.011	681.552
Uruguai	435.543	566.205
Paraná	722.639	874.393
Paraguai	25.418	31.519
<b>Brasil</b>	<b>3.121.767</b>	<b>3.663.361</b>

As retiradas para irrigação no país totalizam 717,1 m<sup>3</sup>/s, sendo consumidos 589,5 m<sup>3</sup>/s, como mostra a Tabela 6.3. As maiores retiradas para irrigação são observadas nas regiões Atlântico Sul, Uruguai, Paraná, São Francisco e Atlântico Nordeste Oriental. A Figura 6.6 mostra as áreas com mais expressivos usos de água para irrigação.

Tabela 6.3 Vazões de retirada e consumo para irrigação.

Região hidrográfica	Vazão de retirada		Vazão consumida (m <sup>3</sup> /s)
	(m <sup>3</sup> /s)	(L/s/ha)	
Amazônica	13,8	0,150	11,1
Tocantins/Araguaia	19,6	0,146	15,7
Atlântico Nordeste Ocidental	1,8	0,199	1,4
Parnaíba	8,9	0,215	7,1
Atlântico Nordeste Oriental	100,6	0,227	80,5
São Francisco	114,0	0,307	91,0
Atlântico Leste	22,10	0,178	17,7
Atlântico Sudeste	39,4	0,133	31,5
Atlântico Sul	168,2	0,247	134,5
Uruguai	128,0	0,226	102,4
Paraná	116,6	0,133	93,2
Paraguai	4,2	0,133	3,4
<b>Brasil</b>	<b>717,1</b>	<b>0,201</b>	<b>589,5</b>

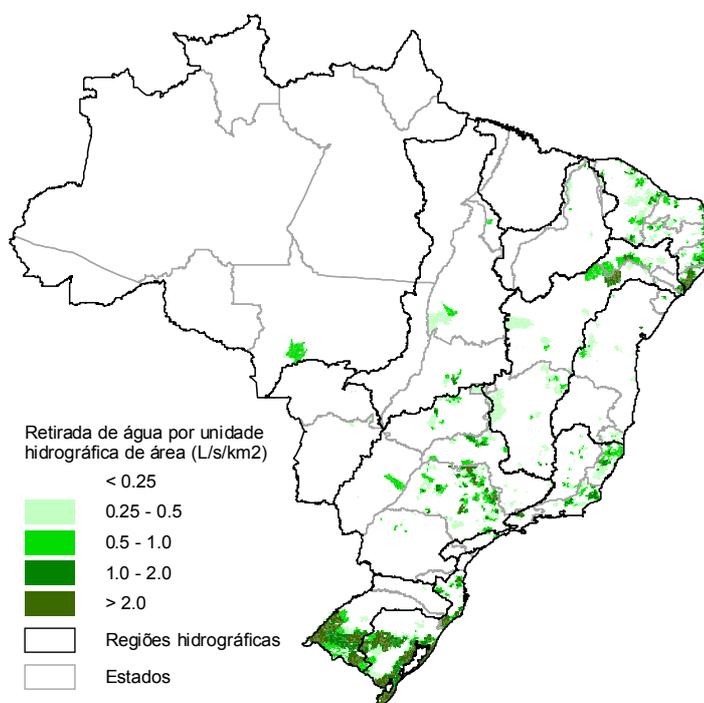


Figura 6.6 Retirada de água para irrigação por unidade de área.

## 7. OUTORGAS DE DIREITO DE USOS DOS RECURSOS HÍDRICOS

A outorga do direito de uso dos recursos hídricos é o instrumento pelo qual o poder público atribui ao interessado, público ou privado, o direito de usar privativamente o recurso hídrico. Constitui um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos previstos na Lei nº 9433/97 e tem como objetivo assegurar o controle qualitativo e quantitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água.

Nesta seção, foram consideradas as informações disponíveis das outorgas dos estados e da União, incluindo o direito de uso dos mananciais superficiais e subterrâneos. Não foram incluídas 23.425 outorgas referentes aos usos não-consuntivos, tais como, barramento, aproveitamento hidrelétrico e lançamento de efluentes. Os dados apresentados destinam-se a dar uma visão geral sobre o assunto, ressaltando-se que as informações utilizadas carecem de uma análise de consistência mais aprofundada.

Existem hoje 70.660 outorgas de direito de usos dos recursos hídricos em águas de domínio dos estados e da União, relativas a usos consuntivos, totalizando 2.044 m<sup>3</sup>/s. Deste total, 1.955 m<sup>3</sup>/s são correspondentes a 50.112 outorgas de águas superficiais, e 89 m<sup>3</sup>/s correspondem a 20.548 outorgas de águas subterrâneas. Existem 1.512 outorgas em rios de domínio da União, com uma vazão total outorgada de 629 m<sup>3</sup>/s, e 69.148 outorgas em rios de domínio dos estados e águas subterrâneas, totalizando 1.415 m<sup>3</sup>/s (Tabela 7.1).

Tabela 7.1 Outorgas para captação no país.

Descrição	Águas		Dominialidade		Total
	Superficiais	Subterrâneas	União	Estados	
Número de outorgas	50.112	20.548	1.512	69.148	70.660
Vazão outorgada (m <sup>3</sup> /s)	1.955	89	629	1.415	2.044

Na visão estadual, observa-se que a emissão de outorga varia grandemente em cada unidade da federação. O Estado que mais tem outorgas emitidas é São Paulo (52,9% do nº de outorgas e 24,2% da vazão outorgada) seguido de Minas Gerais, Bahia e Ceará, conforme mostram as Figuras 7.1 e 7.2. Os Estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Espírito Santo, Amazonas,

Santa Catarina, Piauí e Alagoas possuem pouca outorga emitida e as que existem são devidas, principalmente, à União.

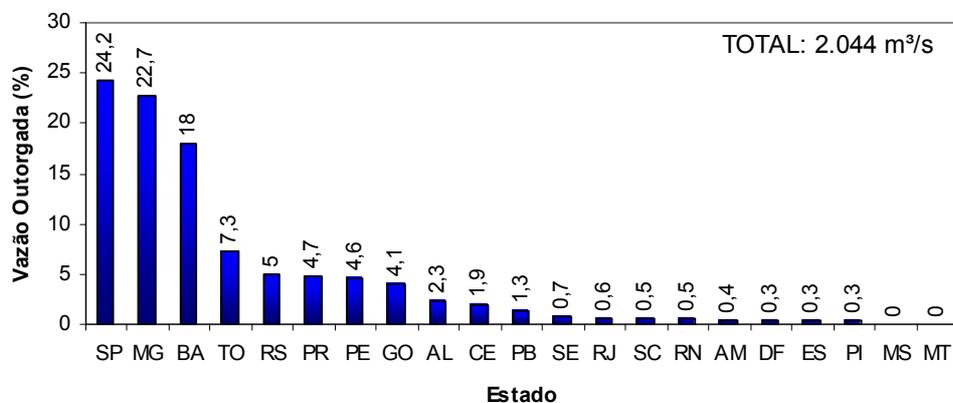


Figura 7.1 Número de outorgas para captação emitidas nos estados.

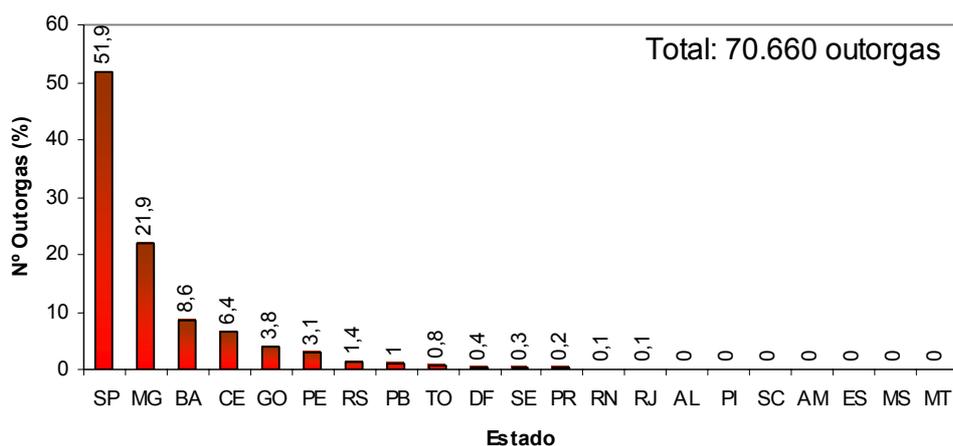


Figura 7.2 Vazões outorgadas para captação emitidas nos estados.

Um panorama geral das vazões disponíveis comparadas com as vazões de retirada e outorgadas no País é apresentado na Figura 7.3. Observa-se na média que a vazão de retirada e a vazão outorgada representam uma fração pequena da disponibilidade hídrica, aproximadamente 1,7% e 2,2%, respectivamente. Por outro lado, a vazão outorgada média é cerca de 30% maior que a vazão de retirada. Esta situação é esperada porque a outorga representa uma autorização de uso potencial e não de uso efetivamente realizado.

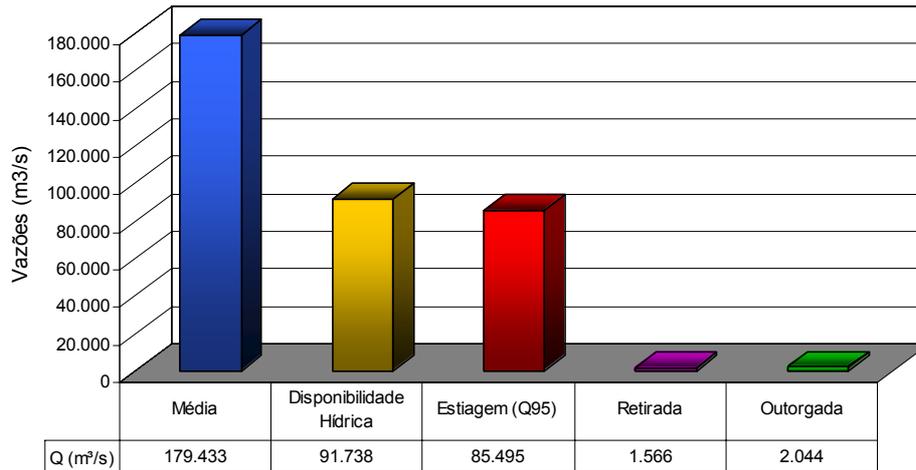


Figura 7.3 Vazões disponíveis, de retirada e outorgadas no país.

A desagregação das vazões outorgadas por uso consuntivo é mostrada na Figura 7.4. Em termos percentuais, as vazões outorgadas para irrigação (41%) e para consumo industrial (16%) apresentam muita semelhança com a vazão de retirada, ou seja, irrigação igual a 45% e industrial 18%. Nos outros tipos de uso, como por exemplo, abastecimento humano e dessedentação animal, verificam-se uma diferença maior. Estas últimas atividades às vezes se enquadram como consumo insignificante não precisando de outorga.

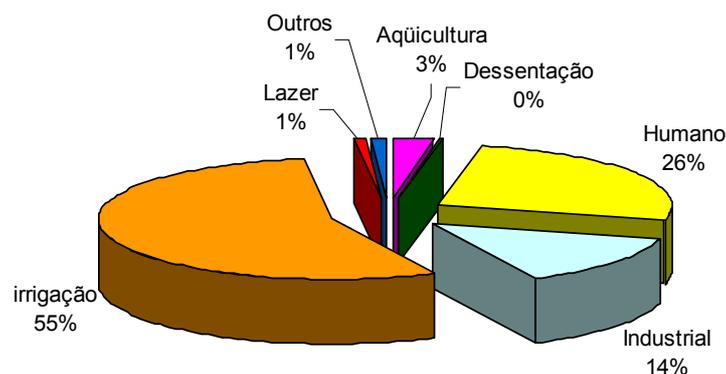


Figura 7.4 Vazões outorgadas por uso consuntivo, em percentual.

Por região hidrográfica, situação ilustrada na Figura 7.5, verifica-se que a região do Paraná (37% da vazão outorgada total), do São Francisco (32% da vazão outorgada total), do Atlântico Nordeste Oriental (6% da vazão outorgada total), a do Atlântico Sudeste (6% da vazão outorgada total) e do Atlântico Leste

(6% da vazão outorgada total) possuem os maiores valores de vazões outorgadas. As regiões hidrográficas Amazônica, do Atlântico Nordeste Oriental, do Parnaíba e Paraguai possuem número inexpressivo de outorgas.

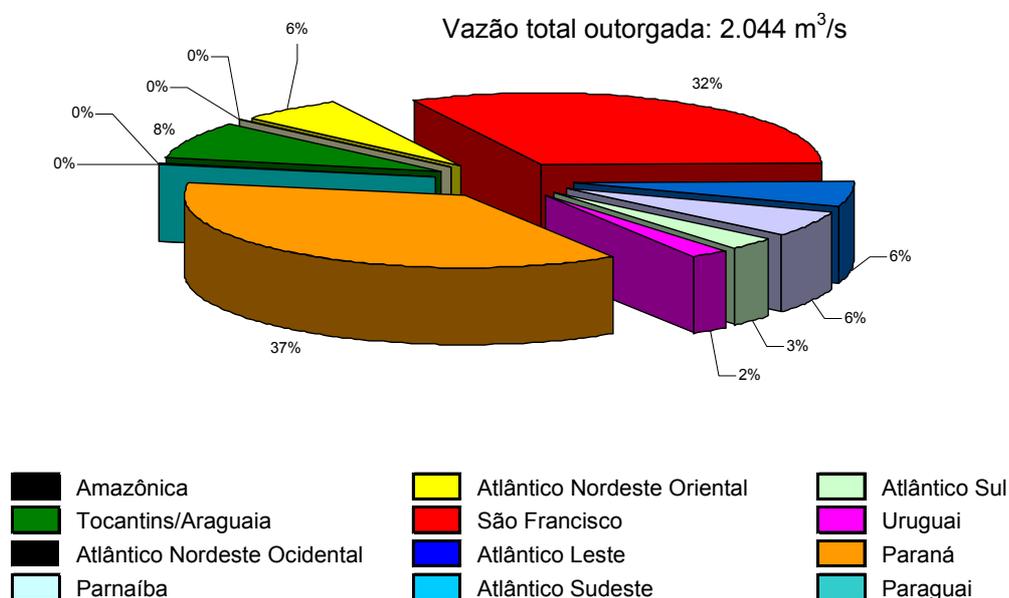


Figura 7.5 Vazão outorgada por região hidrográfica.

A relação entre a vazão de retirada e a vazão outorgada permite uma avaliação da quantidade de água assegurada aos usuários em relação à água disponível. Considerando que a vazão outorgada corresponde a um uso potencial, para cálculo desta relação adotou-se um fator redutor aplicado à vazão outorgada, o qual foi estabelecido em função do tipo de uso consuntivo. Tal procedimento visou aproximar à vazão com autorização que é efetivamente utilizada.

Na Figura 7.6 é mostrada a relação entre a vazão outorgada (reduzida) e a vazão de retirada, ordenadas em ordem decrescente. Observa-se que a região do rio São Francisco é aquela que concedeu mais outorga relativamente à demanda, seguidas das regiões do Tocantins/Araguaia, do Atlântico Leste e do Paraná. Por outro lado, as regiões hidrográficas do Uruguaí, do Atlântico Sul, do Parnaíba, Amazônica, do Paraguai e do Atlântico Ocidental tem grande parte da água utilizada sem a emissão de outorgas.

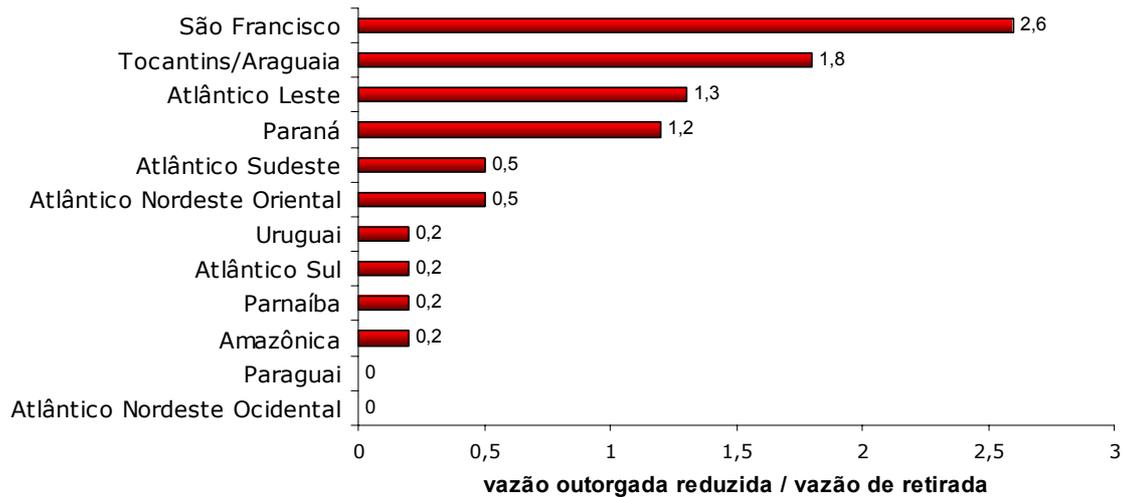


Figura 7.6 Relação entre a vazão outorgada (reduzida) e a vazão de retirada nas regiões hidrográficas.

A relação na região hidrográfica do rio São Francisco tem valor igual a 2,6. Tal situação pode indicar um excesso no valor total das vazões já outorgadas. Situação semelhante é encontrada na região hidrográfica do Tocantins/Araguaia. Nas regiões hidrográficas do Uruguai, do Parnaíba, do Atlântico Sul, Amazônica, do Paraguai e do Atlântico Nordeste Oriental a relação entre a vazão outorgada (reduzida) e a vazão de retirada é baixa podendo indicar a necessidade de haver maior controle sobre a água em utilização. Nas demais regiões (do Atlântico Leste, do Paraná, do Atlântico Sudeste e do Atlântico Nordeste Oriental) a relação varia entre 0,5 e 1,3.

## 8. Balanço entre disponibilidade e demanda

### 8.1. Águas superficiais

Apesar de não expressar a real disponibilidade de água da bacia, o quociente entre a vazão média anual e a população residente é freqüentemente utilizado pelas Nações Unidas como indicador de disponibilidade hídrica por habitante em grandes regiões. Neste sentido, o Brasil é considerado rico, com uma disponibilidade de 33 mil m<sup>3</sup>/hab/ano distribuída nas doze regiões hidrográficas, como mostra a Tabela 8.1.

Tabela 8.1 Vazão média por habitante no país.

Região hidrográfica	População (10 <sup>6</sup> hab)	Vazão média	
		(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /hab/ano)
Amazônica	8	131.947	533.096
Tocantins/Araguaia	7	13.624	59.858
Atlântico Nordeste Ocidental	5	2.683	15.958
Parnaíba	4	763	6.456
Atlântico Nordeste Oriental	21	779	1.145
São Francisco	13	2.850	7.025
Atlântico Leste	14	1.492	3.362
Atlântico Sudeste	25	3.179	3.972
Atlântico Sul	12	4.174	11.316
Uruguai	4	4.121	33.893
Paraná	55	11.453	6.607
Paraguai	2	2.368	39.559
<b>Brasil</b>	<b>170</b>	<b>179.433</b>	<b>33.376</b>

A Figura 8.1 mostra a vazão média por habitante nas doze regiões hidrográficas. No país, há uma grande variabilidade espacial da vazão média por habitante e a baixa disponibilidade de água para atender os diferentes usos está associada à conjugação de densidade populacional elevada com ocorrência de vazões específicas de média a baixa.

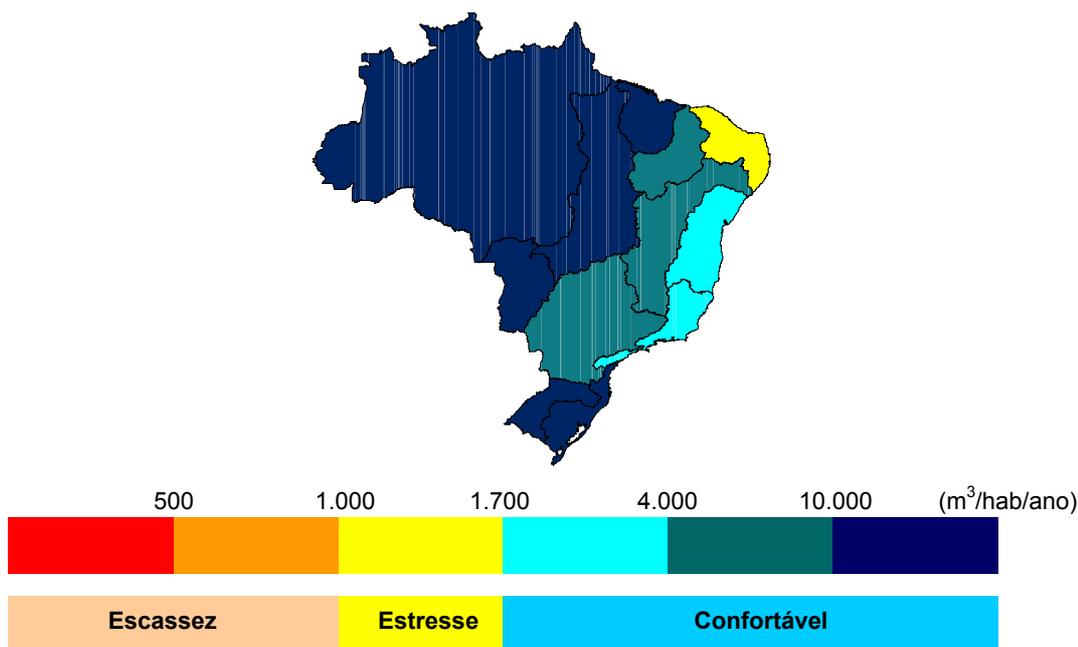


Figura 8.1 Vazão média anual por habitante.

Em termos de relação entre a vazão média e a população, a situação mais crítica é a observada na região hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental, com média inferior a 1.200 m<sup>3</sup>/hab.ano, sendo que em algumas unidades hidrográficas dessa região são registrados valores menores que 500 m<sup>3</sup>/hab.ano. Destacam-se ainda, na condição de regiões com pouca disponibilidade relativa, algumas bacias da região Atlântico Leste, do Parnaíba e do São Francisco. Nessas regiões há, normalmente, uma associação de baixa pluviosidade e elevada evapotranspiração. A irregularidade das chuvas é observada não só ao longo do ano como também pela ocorrência de eventos críticos de precipitações. É na porção semi-árida dessas regiões que o fenômeno da seca tem repercussões mais graves e a água passa a ser fator de sobrevivência para as populações locais.

Nesse quadro de baixa disponibilidade, com menos de 500 m<sup>3</sup>/hab/ano, vale destacar as bacias dos rios Trairi e Pirangi, Paraíba, Capibaribe, Gramame e Goiana na região Atlântico Nordeste Oriental; os rios Paramirim, Santo Onofre e Carnaíba de Dentro, Verde, Jacaré, do Pontal e Curaçá na região do São Francisco; e os rios Vaza-Barris, Sergipe, Japarutuba, Piauí e Real na região Atlântico Leste.

Para ilustrar a questão da disponibilidade hídrica, a Figura 8.2 mostra o perfil longitudinal na bacia do rio Verde Grande, no São Francisco. São apresentadas a vazão média, a disponibilidade hídrica (neste caso, a vazão com permanência de 95%) e a vazão média de retirada para os usos consuntivos em função da distância à nascente. Percebe-se que existe um cenário crítico, em termos de relação entre demanda e disponibilidade hídrica, em que a vazão de retirada para os usos consuntivos ao longo do rio é sempre superior à disponibilidade hídrica.

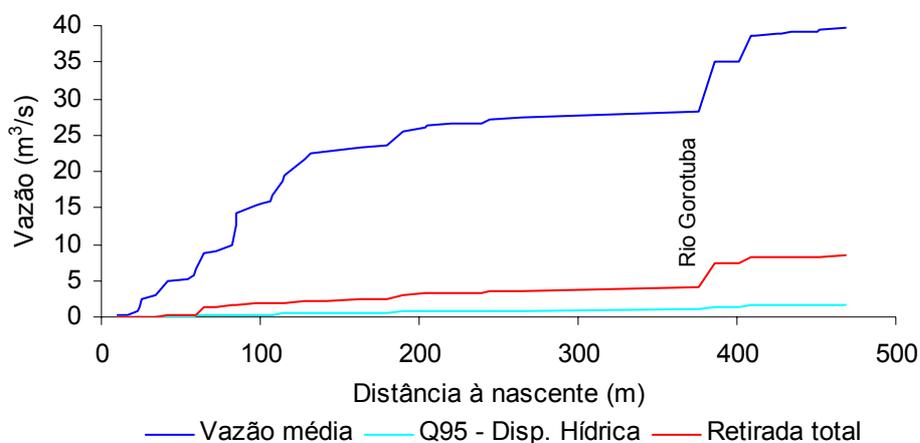


Figura 8.2 Disponibilidade e demanda de recursos hídricos, ao longo do rio Verde Grande.

Nessas regiões onde a disponibilidade hídrica é limitada, a existência dos açudes para o armazenamento de água e regularização das vazões dos rios intermitentes é fundamental e estratégica para o abastecimento humano, dessedentação de animais, irrigação e demais usos. O perfil longitudinal do rio Jaguaribe, na região Atlântico Nordeste Oriental, mostra claramente que a demanda de recursos hídricos é várias vezes maior que a vazão de estiagem ( $Q_{95}$ ). Com a regularização de vazões promovida pelos açudes, a disponibilidade hídrica consegue atender as demandas.

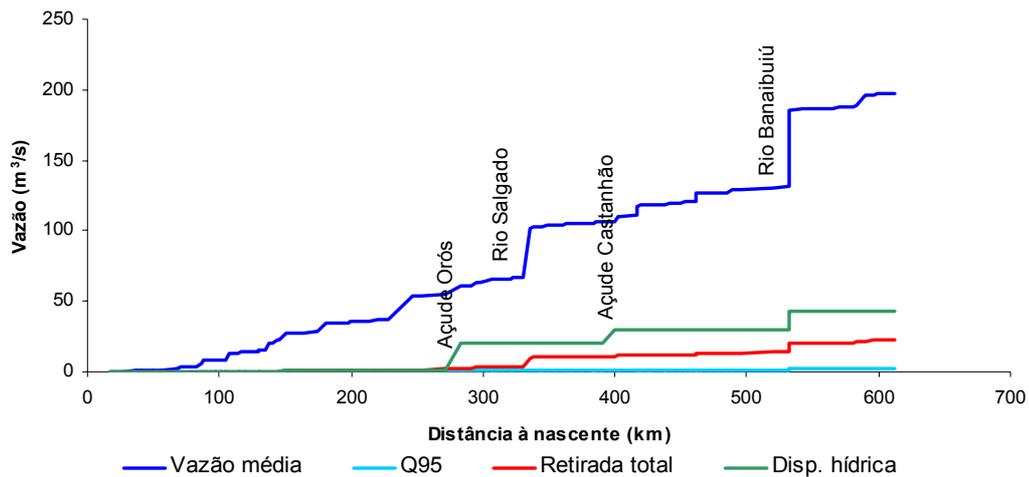


Figura 8.3 Disponibilidade e demanda de recursos hídricos, ao longo do rio Jaguaribe.

Um quadro de baixa disponibilidade, associado a uma concentração populacional elevada, é observado no rio Tietê e nos rios que deságuam na região da Baía de Guanabara, chegando a atingir valores menores que 500 m<sup>3</sup>/hab.ano, que como mostrado na Figura 8.1 representa uma situação de escassez hídrica. A Figura 8.4 mostra o perfil longitudinal do rio Tietê com a vazão média, a vazão com permanência de 95%, a disponibilidade hídrica (regularizada mais incremental de Q<sub>95</sub>) e a retirada total. Percebe-se que as retiradas superam a disponibilidade hídrica, particularmente no Alto Tietê onde está localizada a Região Metropolitana de São Paulo, obrigando a busca de fontes externas, que, nesse caso, provém principalmente da bacia do rio Piracicaba.

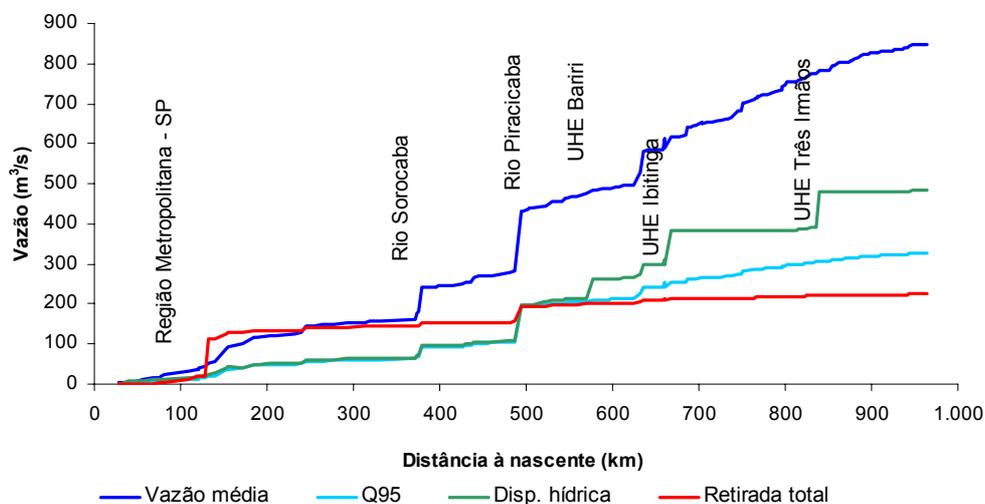


Figura 8.4 Disponibilidade e demanda de recursos hídricos, ao longo do rio Tietê.

Nas regiões de baixa vazão específica natural, mas de ocupação rarefeita, como é o caso da área de planície da região hidrográfica do Paraguai (Pantanal Mato-grossense), são poucos os registros de conflito pelo uso da água. No caso específico dessa região, dada a característica de baixa declividade, a reduzida disponibilidade natural é compensada pela presença de água nos cursos d'água e lagos, originária da drenagem das cabeceiras úmidas dos rios do Pantanal. A diversidade de paisagens e a riqueza da fauna e da flora regionais caracterizam-na como uma região de elevado interesse ecológico para o País.

Contrastando com esses valores, observam-se, no Norte do Brasil, os maiores valores de vazão média por habitante do país, resultantes da associação entre alta vazão específica e baixa densidade populacional. Destacam-se, neste contexto, os valores observados nas regiões hidrográficas Amazônica, com 533 mil m<sup>3</sup>/hab.ano, e do Tocantins/Araguaia, com cerca de 60 mil m<sup>3</sup>/hab.ano. A Figura 8.5 mostra o perfil longitudinal do rio Tocantins. Nestas regiões são limitados os conflitos pelo uso da água, havendo, porém, em alguns casos, problemas de poluição localizados, próximos aos centros urbanos.

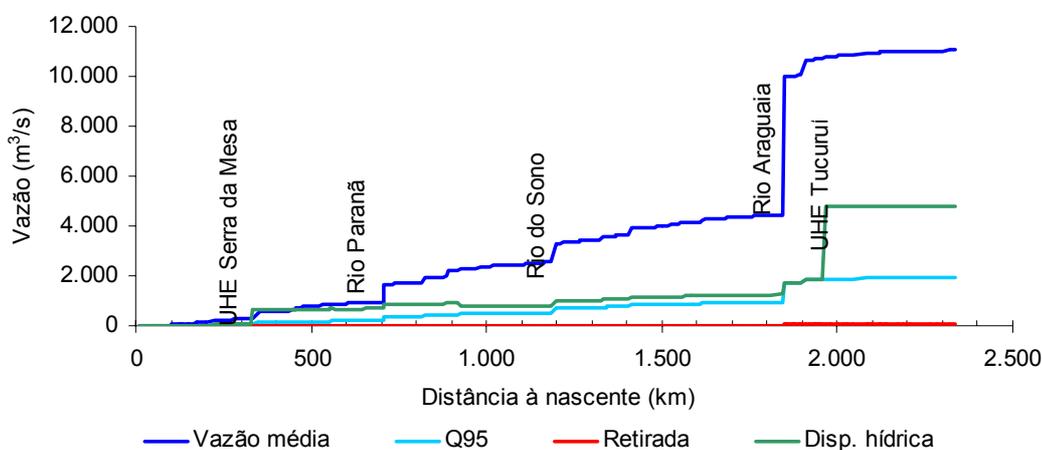


Figura 8.5 Disponibilidade e demanda de recursos hídricos, ao longo do rio Tocantins.

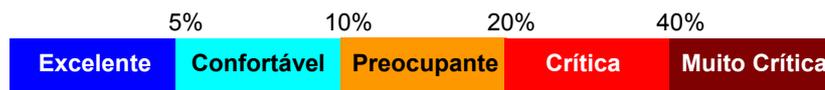
Observam-se ainda regiões no país em que, a despeito da elevada disponibilidade natural de água, a intensa e desordenada ocupação do território tem gerado conflitos pelo uso da água, em face, principalmente, de questões associadas à qualidade requerida para determinados usos. É o caso das regiões

hidrográficas do Paraná e Uruguai, dos altos cursos dos rios Tocantins e São Francisco, além de boa parte das regiões hidrográficas Atlântico Sudeste e Sul, onde os conflitos pelo uso da água envolvem, essencialmente, problemas de poluição ou de consumo excessivo de água para irrigação.

A Figura 8.6 mostra a relação entre a demanda e a disponibilidade hídrica ao longo dos principais cursos d'água do país. As figuras 8.7 a 8.18 mostram, em mais detalhes, a relação entre demanda e disponibilidade hídrica nos principais cursos d'água das doze regiões hidrográficas.



Relação entre demanda e disponibilidade\*.



\* A disponibilidade é a vazão regularizada pelo sistema de reservatórios a montante, com 100% de garantia, somada à vazão com permanência de 95%, no trecho não regularizado. Em rios sem regularização, a disponibilidade é a vazão com permanência de 95%.

Figura 8.6 Relação entre demanda e disponibilidade hídrica nos principais cursos d'água.

A relação entre as demandas e a disponibilidade de recursos hídricos aponta a situação atual da utilização dos recursos hídricos no país. Em relação a este indicador, a Figura 8.7 mostra que a situação é confortável na região hidrográfica Amazônica. Na Tocantins/Araguaia (Figura 8.8), a situação também é confortável, excetuando algumas regiões de cabeceiras e nos rios Jaburu e Formoso onde as atividades de irrigação se intensificaram nos últimos anos. Na região Atlântico Nordeste Oriental, o rio Mearim encontra-se em situação crítica. O rio Parnaíba consegue atender com tranqüilidades as demandas da bacia, excetuando alguns afluentes indicados na Figura 8.10.

A Figura 8.11 mostra que a região Atlântico Nordeste Oriental é a mais crítica. Quase todas as sub-bacias desta região apresentam uma relação entre demanda e disponibilidade acima de 40%. A região hidrográfica do São Francisco também tem diversas sub-bacias em situação pelo menos preocupante: as sub-bacias dos rios das Velhas e Paraopeba, alguns afluentes do Paracatu (rios Preto, São Pedro e ribeirão Entre-ribeiros, o Alto rio Grande, a maioria dos rios localizados na região semi-árida da bacia (Figura 8.12). Algumas bacias do Atlântico Leste também apresentam dificuldades no atendimento às demandas: entre outros, Vaza-Barris, Itapicuru e Paraguaçu (Figura 8.13).

Adicionalmente, apresentam um quadro pelo menos preocupante, as bacias próximas aos centros urbanos, como aquelas na Figura 8.14 da região Atlântico Sudeste (por exemplo, rios Paraíba do Sul, Pomba, Muriaé, Guandu e rios que desembocam na Baía de Guanabara), Atlântico Sul (Figura 8.15 - Guaíba, Jacuí e Camaquã, entre outros) e do Paraná (- rios São Bartolomeu, Meia Ponte, alguns afluentes do rio Grande – rios Sapucaí, Turvo, Pardo e Mogi-Guaçu Piracicaba e Tietê, por exemplo), como mostra a Figura 8.16.

Por fim, algumas bacias localizadas na região do Uruguai (Figura 8.17) encontram-se em uma situação que exige intenso gerenciamento e intervenções devido principalmente a conflitos de usos com a irrigação (rios Icamaguã, Ibicuí, Santa Maria e Quaraí, entre outros). A Figura 8.18 mostra uma situação confortável na região hidrográfica do Paraguai.

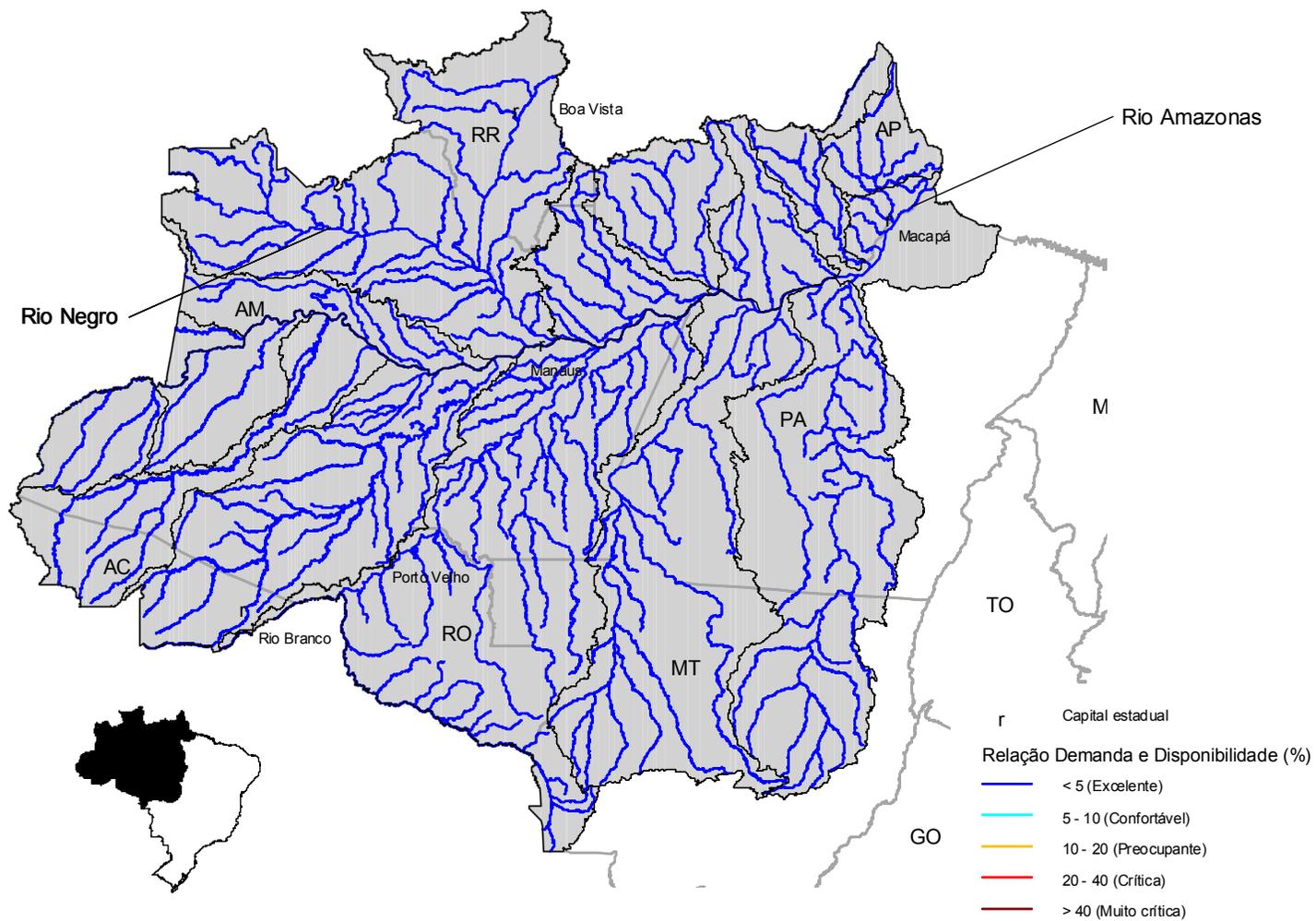


Figura 8.7 Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Amazônica.

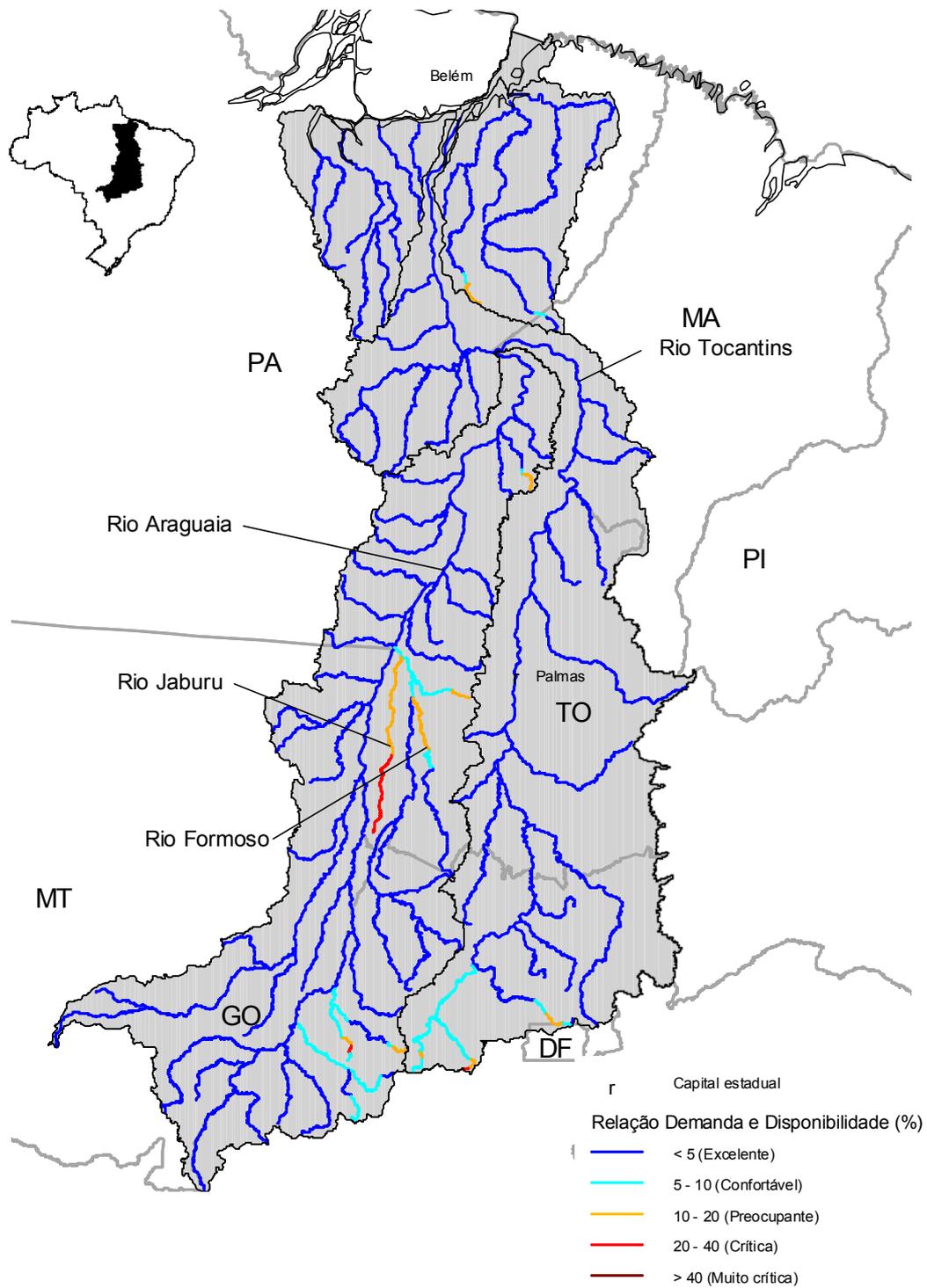


Figura 8.8 Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Tocantins/Araguaia.

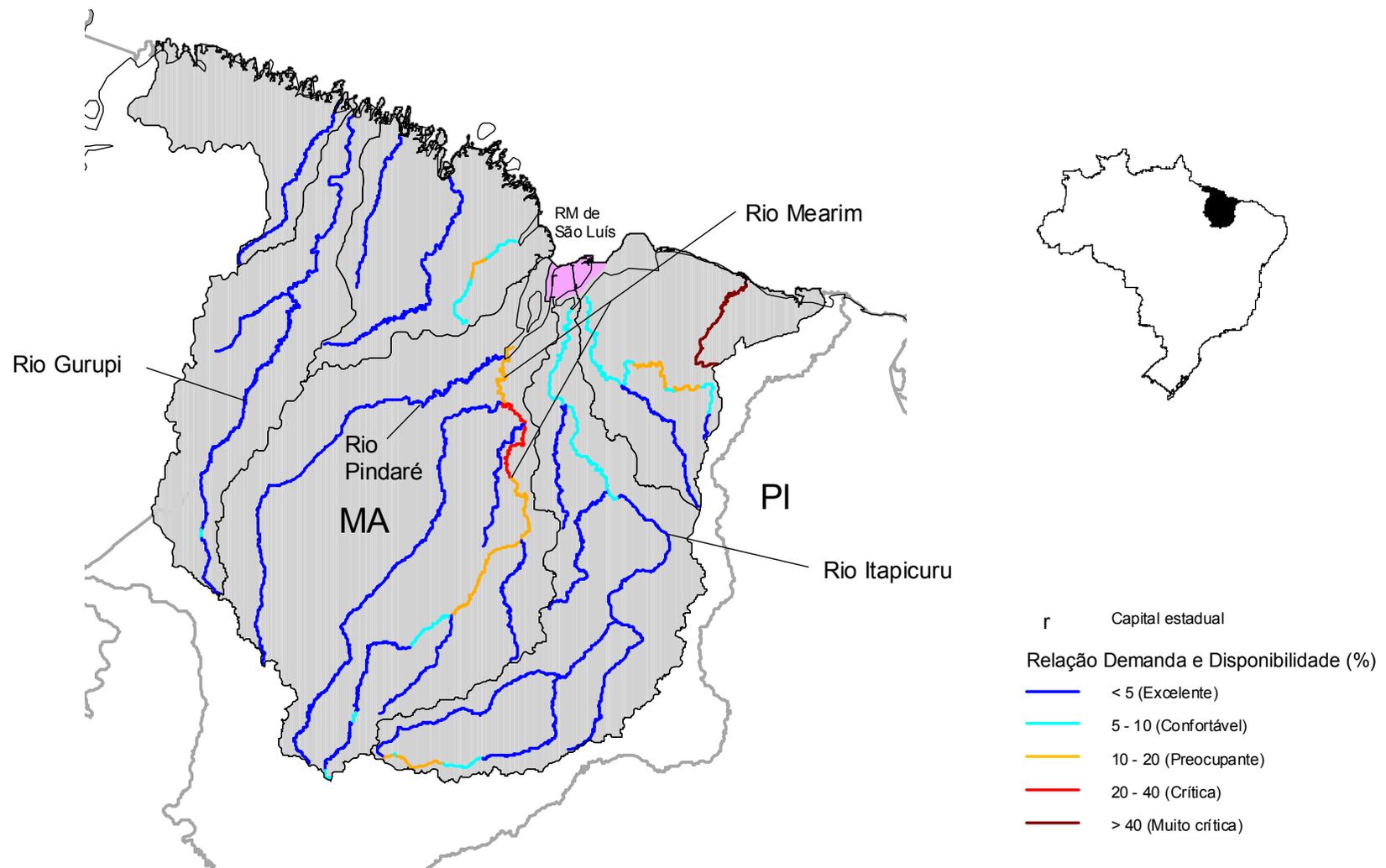


Figura 8.9 Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental.

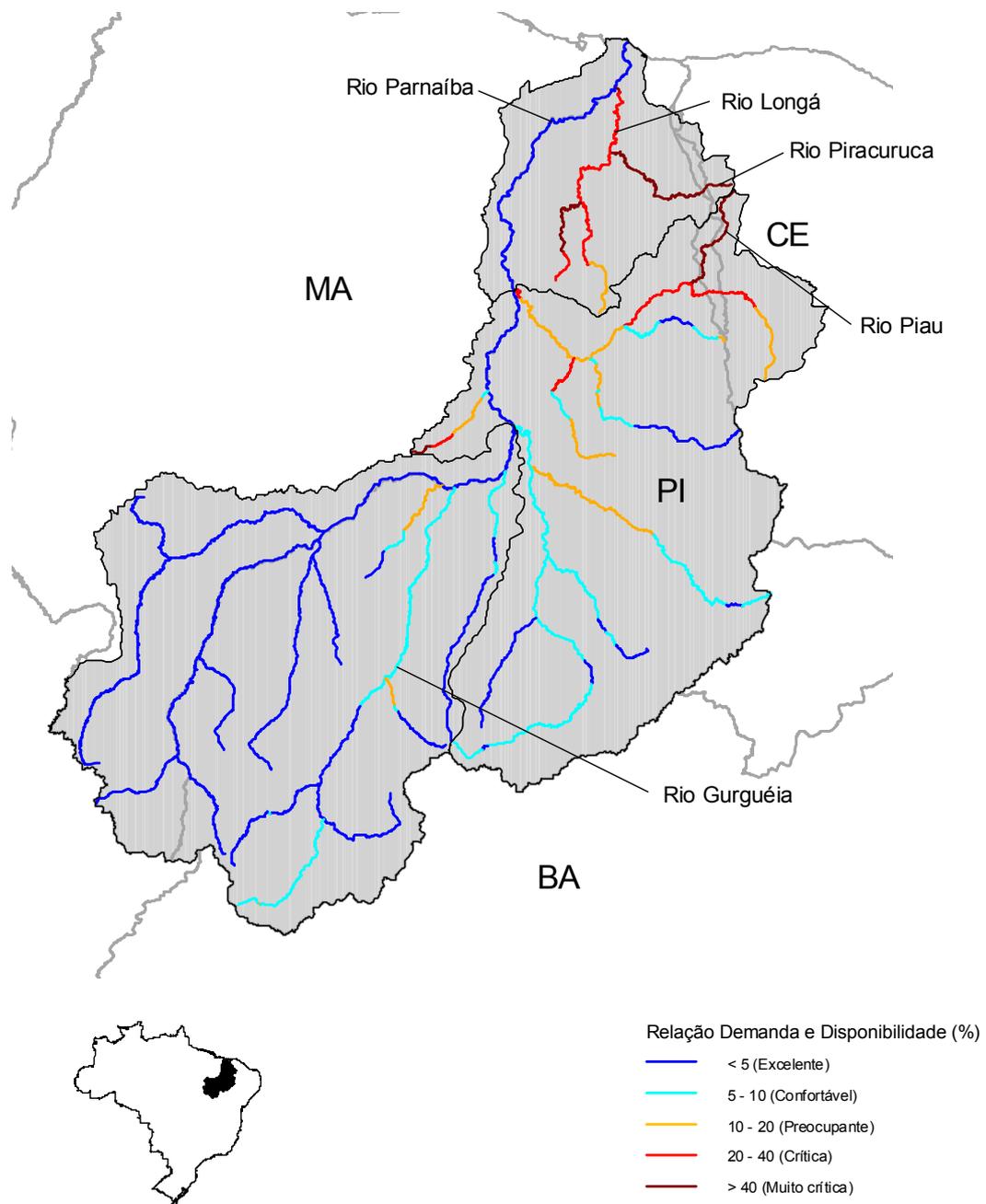


Figura 8.10 Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Parnaíba.

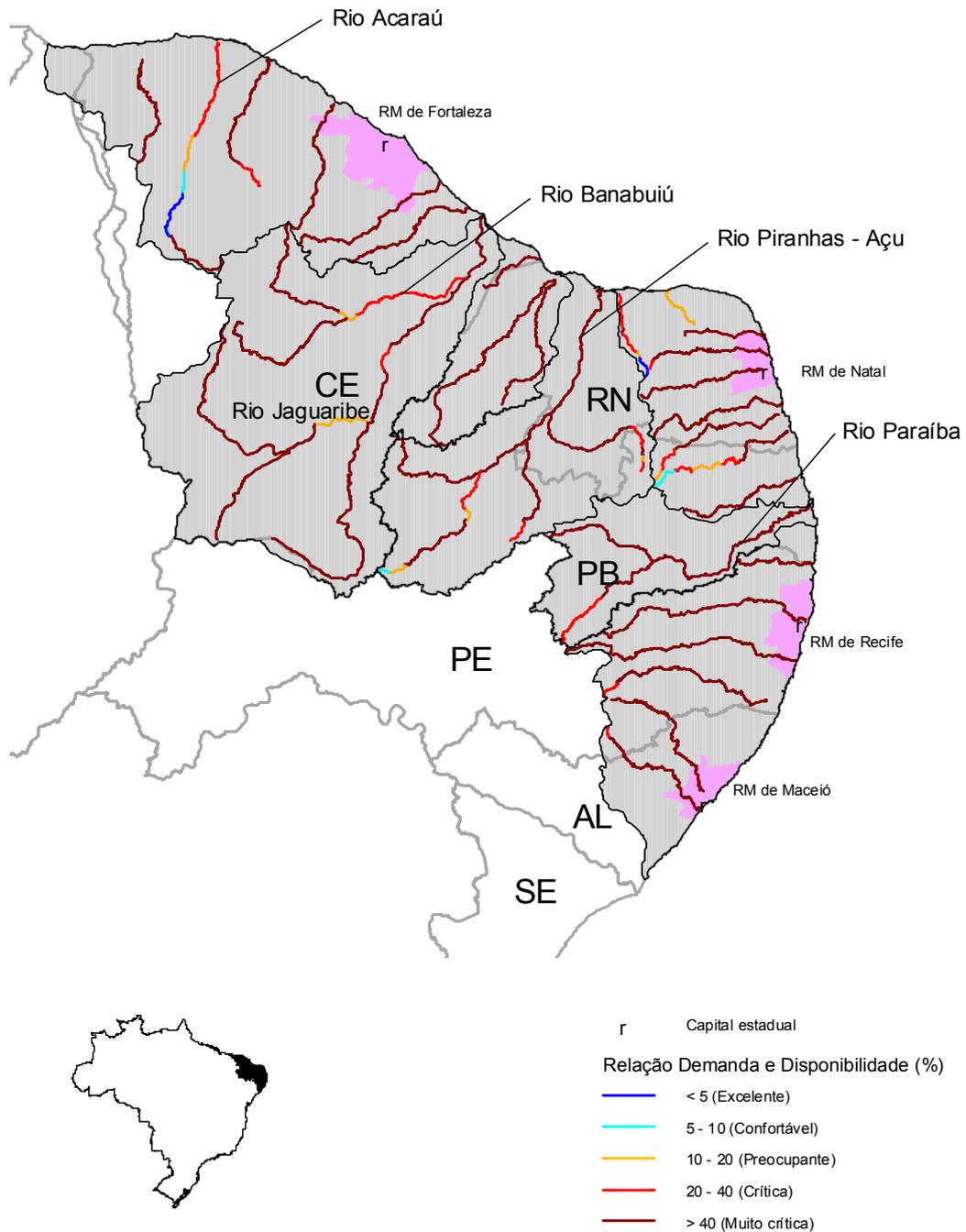


Figura 8.11 Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental.

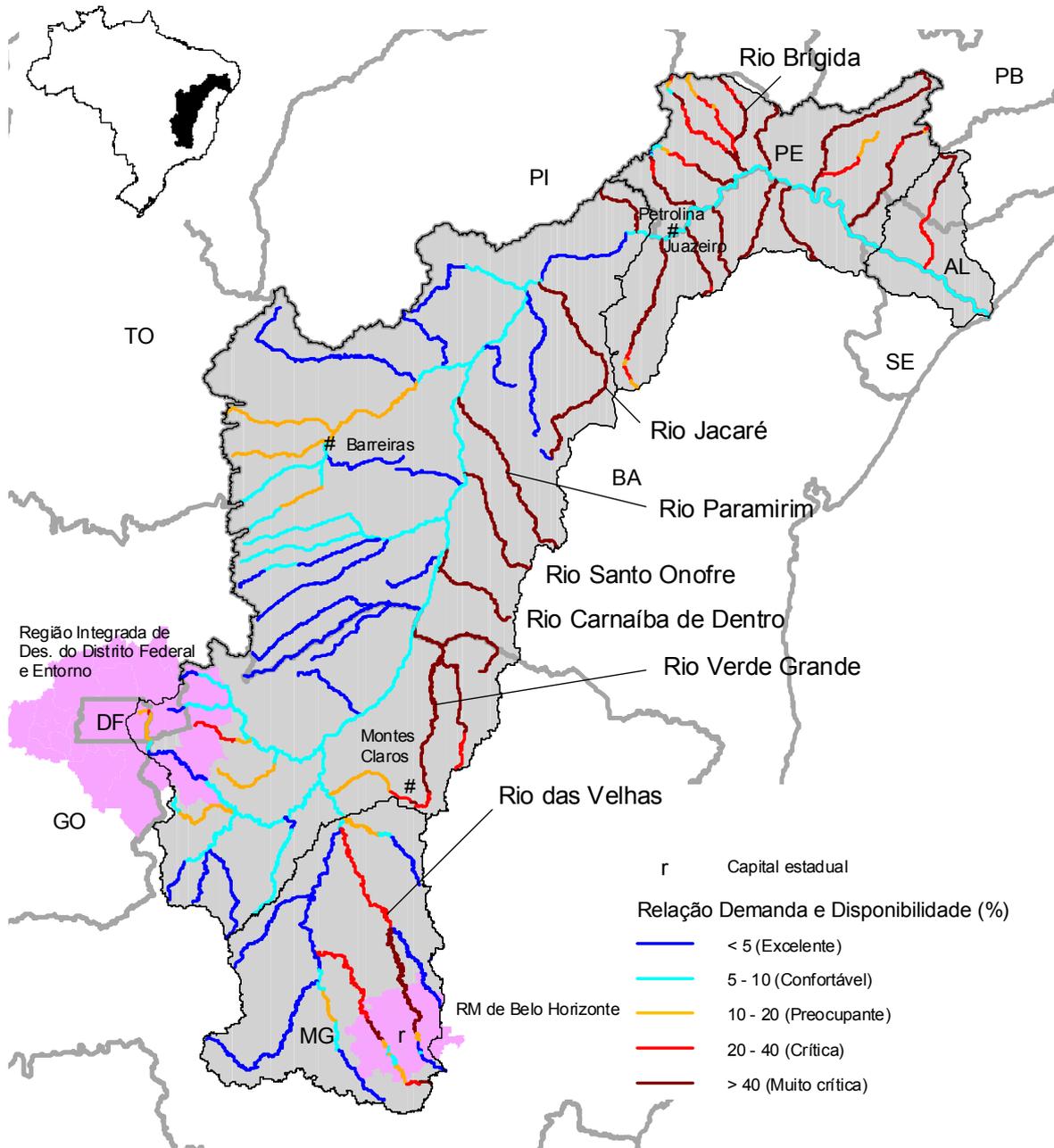


Figura 8.12 Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica São Francisco.

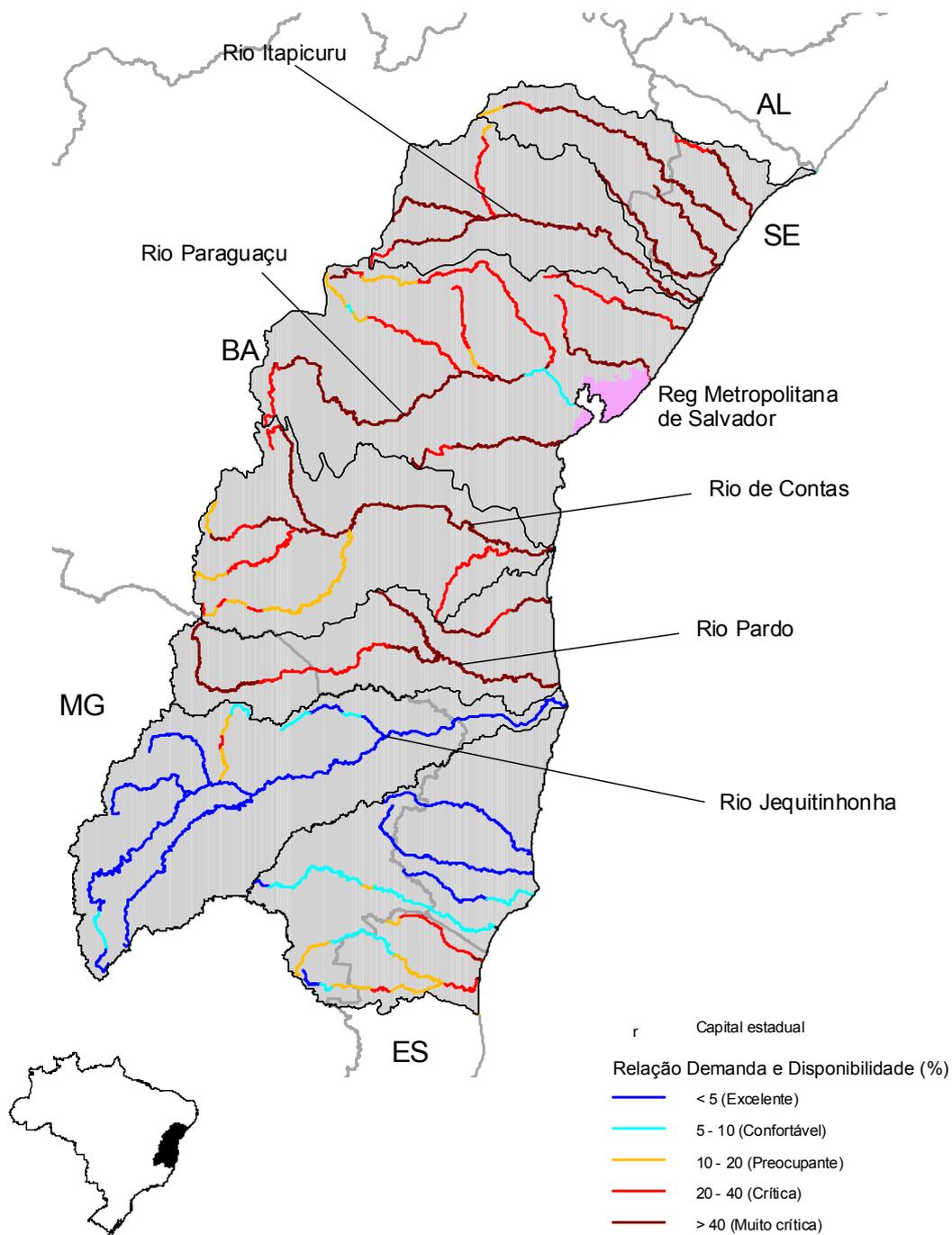


Figura 8.13 Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Atlântico Leste.

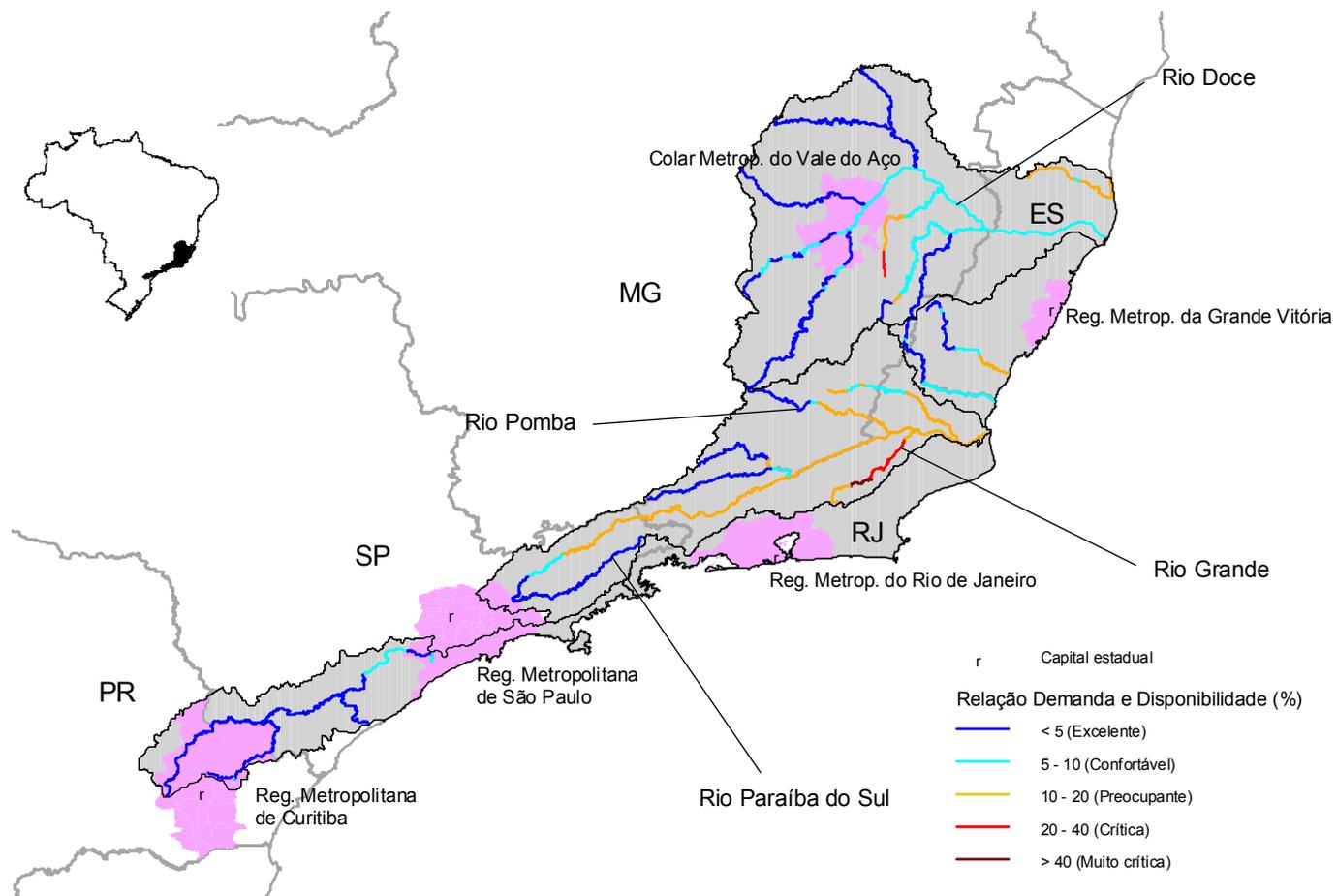


Figura 8.14 Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Atlântico Sudeste.

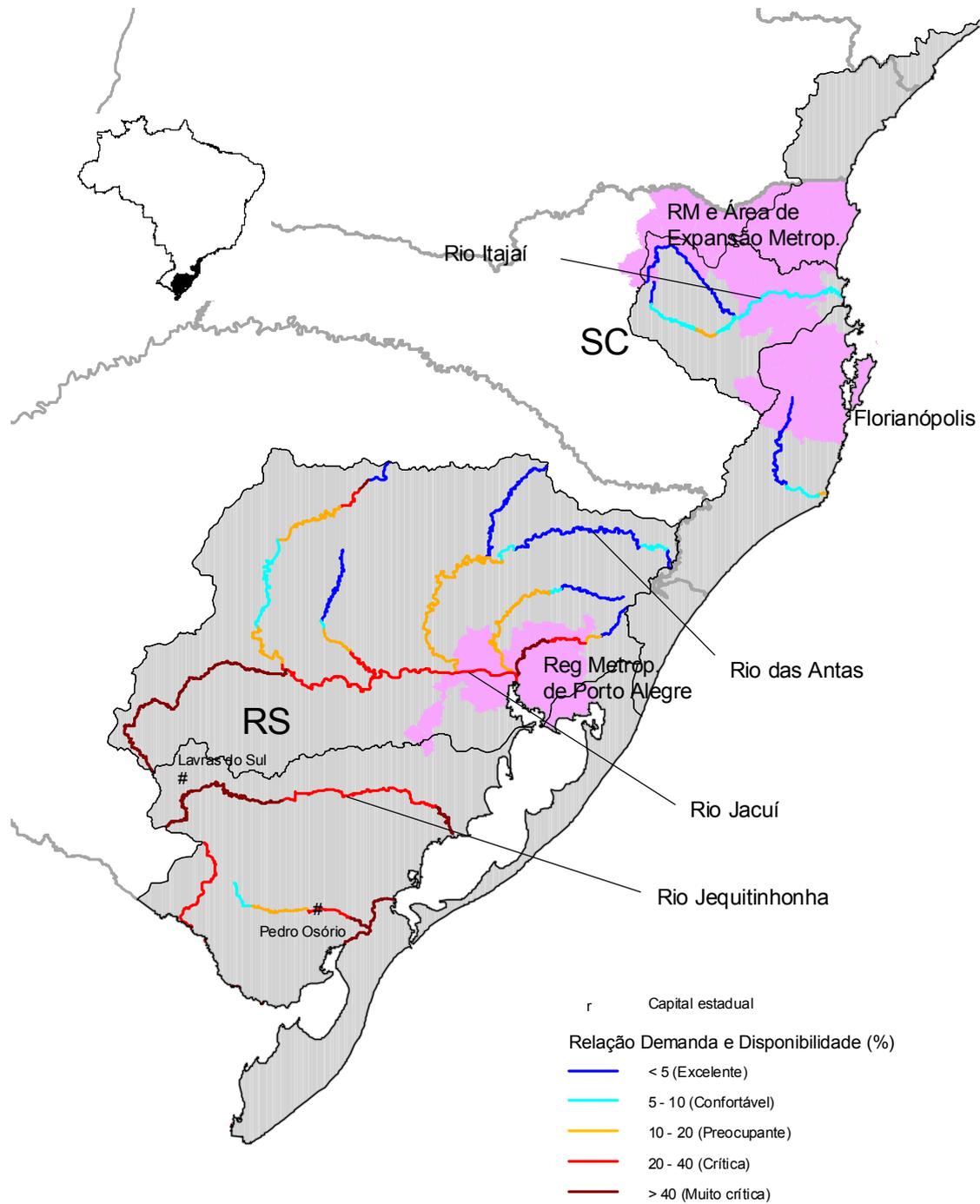


Figura 8.15 Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Atlântico Sul.

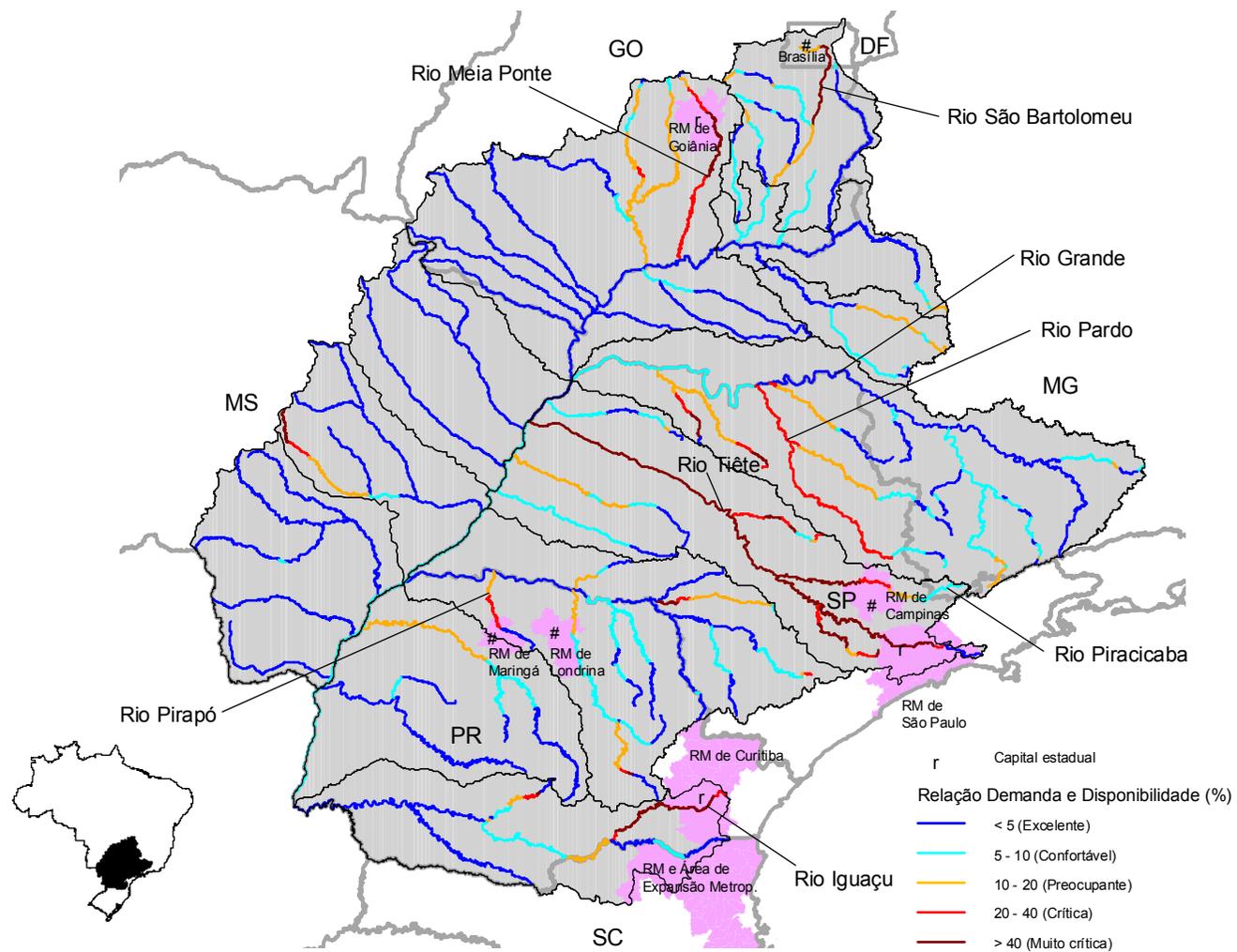


Figura 8.16 Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Paraná.

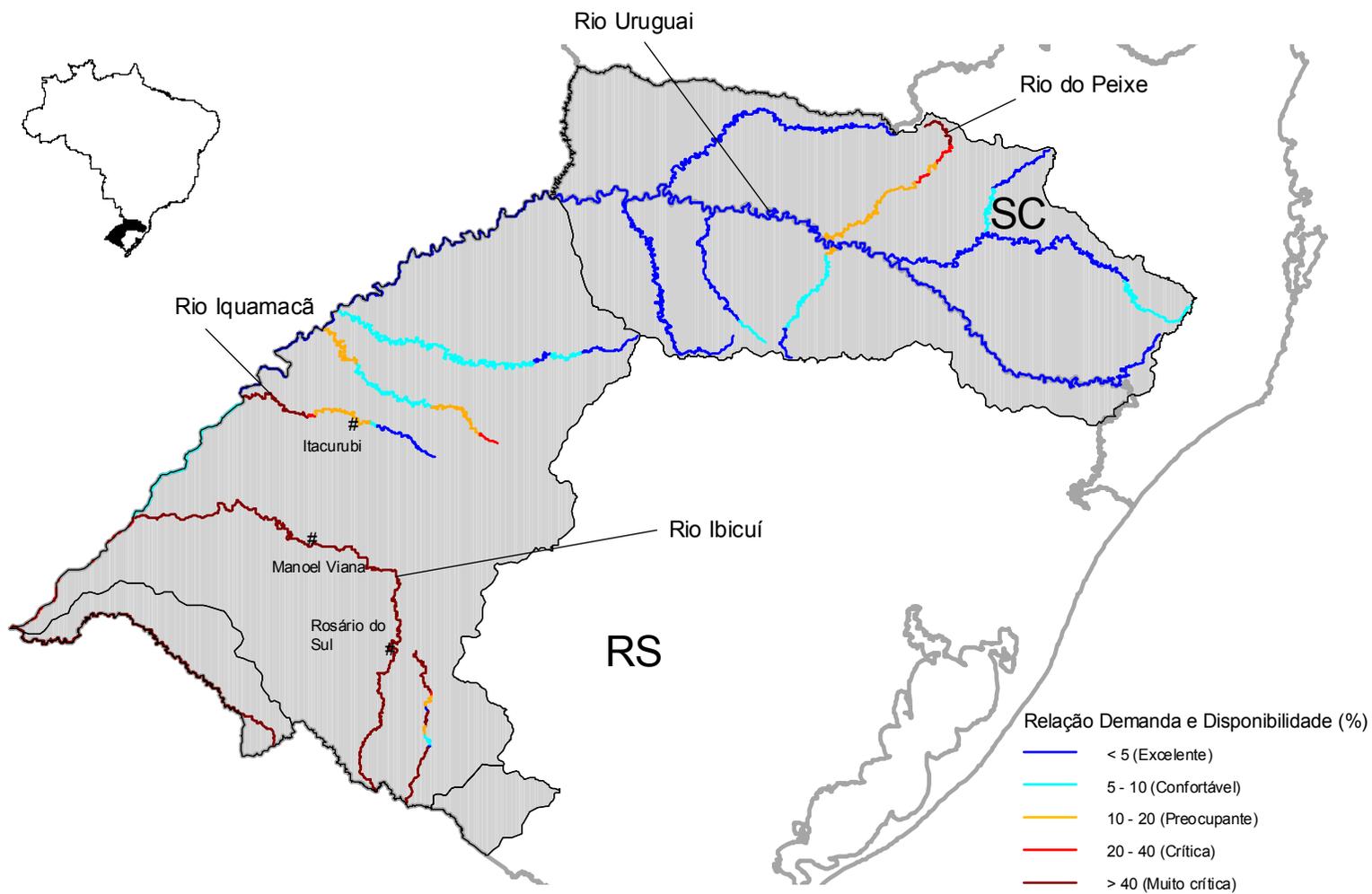


Figura 8.17 Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Uruguai.

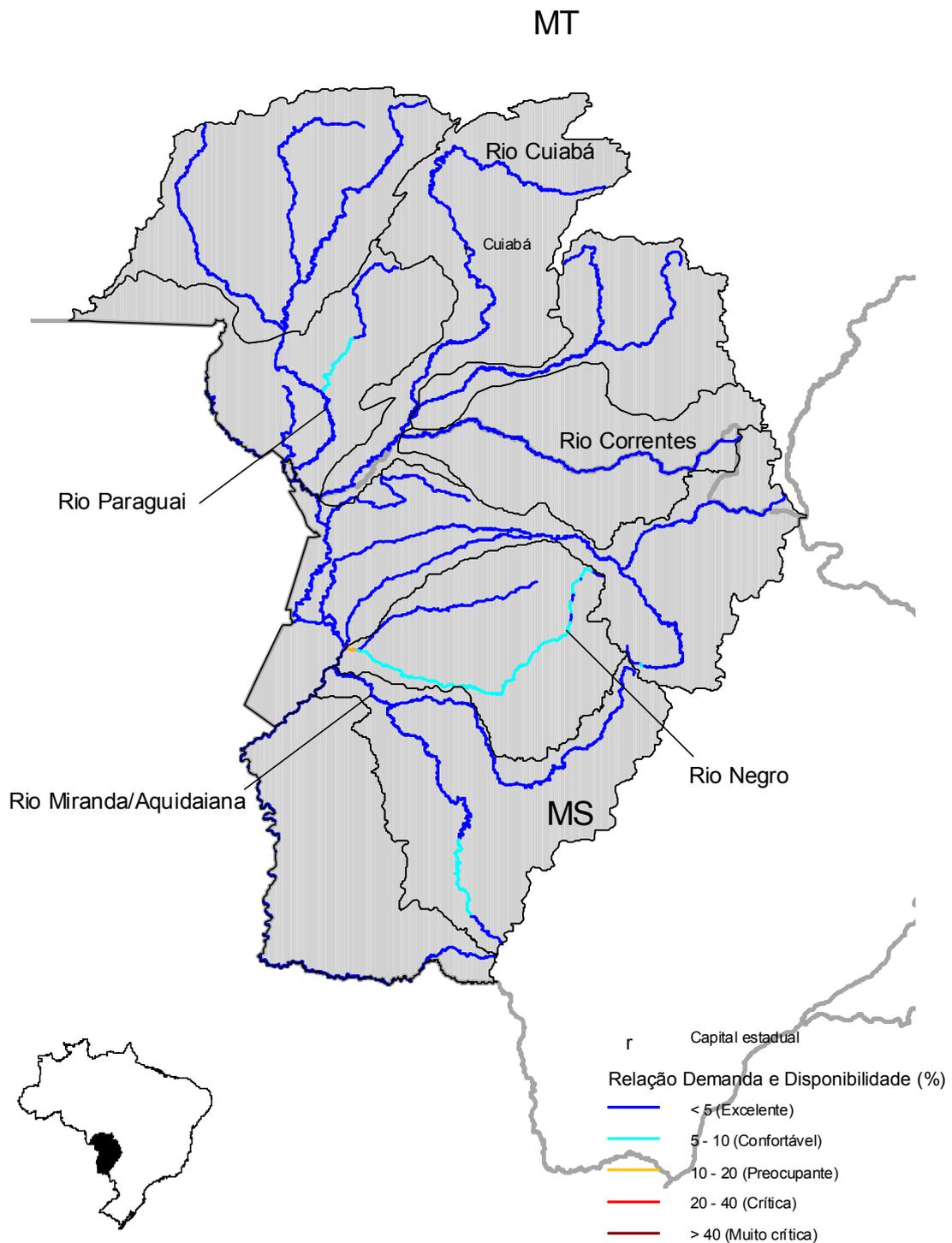


Figura 8.18 Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Paraguai.

Baseada nas figuras acima, a Tabela 8.2 resume as principais bacias onde a relação entre a demanda e a disponibilidade hídrica (a disponibilidade é a vazão regularizada pelo sistema de reservatórios a montante, com 100% de garantia, somada à vazão com permanência de 95%, no trecho não regularizado; em rios sem regularização, a disponibilidade é a vazão com permanência de 95%) é pelo menos preocupante (> 10%).

Tabela 8.2 Principais rios com trechos onde a relação entre demanda e disponibilidade é, pelo menos, preocupante (>10%).

<b>Região hidrográfica</b>	<b>Principais bacias</b>	<b>Classificação*</b>
Amazônica	-----	
Tocantins/ Araguaia	Cabeceiras dos rios: - Ribeirão da Água Limpa, próximo ao município de Jussara-GO; - Rio Vermelho, próximo ao município de Góis-GO; - Rio Padre Sousa, próximo ao município de Pirenópolis-GO.	Preocupante
	- Rio Jaburu, entre Formoso do Araguaia e Pium-TO; - Rio Formoso, próximo ao município de Lagoa da Confusão-TO.	Preocupante
Atlântico Nordeste Ocidental	- Rio Mearim, desde o município de Barra da Corda-MA; - Rio Preto, entre os municípios de Mata Roma e São Benedito do Rio Preto-MA.	Preocupante
Parnaíba	- Rios Itaim e Canindé, entre os municípios de Picos-PI e Francisco Ayres-PI; - Rio Poti e afluentes;	Preocupante
	- Rio Longá, PI.	Crítica
Atlântico Nordeste Oriental	- Rio Acaraú, CE.	Crítica
	- Rios Aracatiaçu e Curu, CE; - Bacias da região Metropolitana de Fortaleza-CE - Rio Jaguaribe e afluentes, CE - Rios Apodi, Mossoró e afluentes, RN - Rio Piranhas-Açu e afluentes, RN e PB;	Muito crítica
	- Rios da faixa litorânea norte do RN (Cabuji e outros)	Crítica
	- Rios Boqueirão, Maxaranguape, Punaú, RN; - Rios Ceará-Mirim e Potengi, RN; - Rios Trairi e Pirangi, RN e PB; - Rios Jacu, Curimataú, Mamanguape, RN e PB; - Rio Paraíba; PB - Rios Gramame, Goiana, PB e PE; - Rio Capibaribe, PE - Rios Una, Ipojuca Sirinhaém, PE - Rio Mundaú, AL.	Muito crítica
São Francisco	- Rio Pará, entre os municípios de Pompéu e Pitangui-MG;	Preocupante
	- Rio Paraopeba, MG; - Rio das Velhas, MG.	Crítica

<b>Região hidrográfica</b>	<b>Principais bacias</b>	<b>Classificação*</b>
	Afluentes do rio Paracatu: - Rio Preto, DF, GO e MG; - Rio São Pedro e Ribeirão Entre-ribeiros, MG.	Preocupante
	Afluentes do rio Urucuia: - Rio São Miguel, MG; - Ribeirão da Conceição, MG.	Preocupante
	- Rios Verde Grande e Gorotuba, MG e BA; - Rio das Rãs e rio Santo Onofre, BA; - Rios Paramirim e Carnaíba de Dentro, BA.	Muito crítica
	- Alto Rio Grande até confluência com o rio Preto, BA	Preocupante
	- Rios da margem esquerda de Sobradinho, BA; - Rios Jacaré, Salitre, Curaçá, Macururé, BA; - Rios Pontal, Garças, Brígida, Terra Nova, PE; - Rios Pajeú, Moxotó, Curitiba, PE	Muito crítica
	- Rio Ipanema, AL e PE	Crítica
Atlântico Leste	- Rios Sergipe, Vaza-Barris, Jacaré, Real, BA - Rios Itapicuru, Inhambupe, Pojuca, Paraguaçu, BA; - Rios Jequiriçá, Rio de Contas, Pardo, BA e MG	Muito crítica
	- Rios Itaúnas e São Mateus, MG e ES.	Crítica
Atlântico Sudeste	- Rio Barra Seca; - Rio Itapemirim, entre Cachoeiro de Itapemirim-ES e a foz. - Rios Paraíba do Sul, Pomba e Muriaé, SP, MG e RJ.	Preocupante
	- Rio Grande (afluente do Paraíba do Sul)	Crítica
	- Rio Guandu, RJ; - Rios da Baía de Guanabara, RJ.	Muito crítica
Atlântico Sul	- Rio Itajaí-Açu entre os municípios de Rio do Oeste e Rio do Sul, SC; - Rio Hipólito, em Laguna-SC;	Preocupante
	Rios Guaíba e Jacuí, RS Rio Camaquã, RS Rio Piratini, RS	Crítica
	Afluentes do rio Guaíba: - Rios Pardo, Taquari, Caí, RS.	Preocupante
	Afluentes do rio Guaíba: - Rios Vacacaí e Rio dos Sinos	Muito crítica
Uruguai	- Rio do Peixe, RS - Rio Piratini, RS	Preocupante
	- Rio Icamaquã, RS - Rio Ibicuí, RS - Rio Santa Maria, RS - Rio Quaraí, RS	Muito crítica
	- Rio Uruguai, entre os municípios de Uruguaiana e Barra do Quaraí-RS	Crítica
Paraná	- Rio São Bartolomeu, DF e GO	Muito crítica
	- Rio Corumbá, GO	Preocupante
	- Rio Meia Ponte, GO	Crítica
	- Rio Turvo e rio dos Bois, GO	Preocupante
	Afluentes do rio Grande: - Rios Sapucaí, Turvo, SP - Rio Pardo (afluente do rio Mogi-Guaçu), SP	Preocupante
	Afluentes do rio Grande: - Rio Moji-Guaçu, SP	Crítica

<b>Região hidrográfica</b>	<b>Principais bacias</b>	<b>Classificação*</b>
	- Rios Tietê e Piracicaba, SP e MG	<b>Muito crítica</b>
	- Rio Iguapeí ou Feio, SP - Rio Anhanduí, entre os municípios de Campo Grande e Nova Andradina-MS - Rio Pardo (afluente do rio Paranapanema), SP - Rio Ivaí, PR	<b>Preocupante</b>
	- Rio Iguaçu, entre Curitiba e União da Vitória	<b>Muito crítica</b>
	- Rio Jordão, próximo ao município de Guarapuava-PR	<b>Preocupante</b>
Paraguai	-----	

\* Preocupante - Relação entre demanda e disponibilidade 10 a 20%. Crítica - Relação entre demanda e disponibilidade 20 a 40%. Muito crítica - Relação entre demanda e disponibilidade > 40%.

## 8.2. Águas subterrâneas

As informações disponíveis nos censos do IBGE não permitem identificar, entre as demandas, quais são atendidas por água subterrânea e por água superficial. Por isso, a análise da relação demanda e disponibilidade hídrica subterrânea foi feita utilizando o conceito de vazão de retirada potencial, que corresponde ao volume de água retirado pelos municípios situados sobre a área de recarga dos aquíferos. Esse indicador permite uma avaliação geral das condições de exploração dos aquíferos, mostrando aqueles que possuem o potencial de abastecimento de toda as demandas de água locais.

Em relação a essa análise, cabe destacar dois pontos. Inicialmente, os aquíferos não são homogêneos e as condições de recarga e escoamento variam fortemente dependendo das condições geológicas, climáticas e geomorfológicas. Por isso, mesmo que a análise regional de um aquífero indique que a vazão de retirada potencial é muito inferior à reserva explotável, não se pode garantir que localmente o aquífero seja capaz de suprir toda a demanda. Para que esse tipo de avaliação seja mais precisa, ela deve ser feita considerando as condições locais. Entretanto, esse tipo de análise foge ao escopo deste estudo. Por outro lado, valores de reserva explotável muito inferiores às de vazões de retirada potencial, também não indicam necessariamente superexploração, já que normalmente ocorre a captação de águas superficiais mesmo em municípios que usam muito o recurso hídrico subterrâneo. Além disso, os aquíferos possuem mecanismos de recarga indireta, que não são função apenas da sua área de recarga e podem incluir a drenança através de camadas confinantes, contribuição de rios, lagos, entre outros.

Outro aspecto essencial a considerar é que a relação vazão de retirada potencial e disponibilidade hídrica subterrânea foi analisada para as áreas de recargas dos aquíferos, já que potencialmente, um aquífero será mais facilmente explotado, sob o ponto de vista técnico de custos na perfuração de poços, nestas regiões. Entretanto, em alguns aquíferos, como o Beberibe, Guarani e Serra Grande, uma expressiva parte da exploração ocorre sob condições confinadas, em que, portanto, o aquífero já não aparece na superfície.

Os resultados do balanço entre vazão de retirada (demanda) e disponibilidade hídrica são apresentados na Tabela 8.3. De forma geral, é

possível observar que a maioria dos sistemas aquíferos potencialmente poderia atender às demandas de água dos municípios.

Tabela 8.3 Disponibilidade hídrica e demanda potencial de água nos principais sistemas aquíferos do país.

Sistema Aquífero	Vazão de Retirada Potencial (m <sup>3</sup> /s) <sup>1</sup>	Reserva Explotável (m <sup>3</sup> /s) <sup>2</sup>	Vazão de Retirada Potencial/Reserva Explotável (%)
Solimões	3,3	896,3	0,4
Alter do Chão	15,5	249,5	6
Boa Vista	1,9	32,4	6
Parecis	13,2	464,8	3
Jandaíra	11,2	6,1	185
Açu	9,8	2,1	476
Itapecuru	17,9	214,8	8
Corda	7,4	9,2	81
Motuca	3,6	3,0	119
Poti-Piauí	13,5	130,0	10
Cabeças	5,7	7,2	79
Serra Grande	7,3	12,7	58
Barreiras	147,2	217,0	68
Beberibe	9,4	0,4	2.255
Marizal	7,1	7,2	99
São Sebastião	1,6	8,2	19
Inajá	2,0	0,3	643
Tacaratu	8,7	2,9	300
Exu	3,7	0,6	583
Missão Velha	4,5	0,2	2.380
Urucuia-Areado	26,7	236,4	11
Bambuí	81,4	40,3	202
Bauru-Caiuá	123,7	587,9	21
Serra Geral	298,8	746,3	40
Guarani	91,8	161,1	57
Ponta Grossa	15,1	29,1	52
Furnas	17,2	28,6	60
<b>TOTAL</b>	<b>949,2</b>	<b>4.094,6</b>	<b>23</b>

<sup>1</sup>: Consumo total de água dos municípios situados sobre a área de recarga do sistema aquífero. <sup>2</sup>: 20% das reservas renováveis.

Existem aquíferos regionais, como é o caso do Alter do Chão e Solimões, localizados na Bacia Sedimentar do Amazonas, Itapecuru e Poti-Piauí, situados na Bacia Sedimentar do Parnaíba, Serra Geral e Bauru-Caiuá, na Bacia Sedimentar do Paraná, em que a demanda potencial representa uma parte muito pequena das grandes reservas exploráveis. Entre os aquíferos de grande extensão regional, apenas o Bambuí, por sua natureza heterogênea, fraturada e cárstica, não poderia potencialmente atender a toda a demanda (vazão de retirada).

Em alguns casos, aquíferos com pequenas áreas de recarga, portanto, com baixas reservas exploráveis, como os sistemas aquíferos Beberibe, Inajá, Exu e Missão Velha, não poderiam atender toda a demanda de água dos municípios situados sobre as suas áreas de recarga. O aquífero Beberibe é um caso bem conhecido, em que a maior parte da sua exploração ocorre quando ele não aflora na superfície e está sob condições confinadas na região metropolitana do Recife. Nos últimos anos, devido à grande exploração, já são conhecidos problemas de cunha salina do mar e de queda do nível de água. Os sistemas aquíferos Jandaíra e Açú, pertencentes à Bacia Sedimentar Potiguar, também apresentam uma vazão de retirada potencial superior à reserva explorável. No caso do Jandaíra já são conhecidos os problemas de rebaixamento acentuado do nível de água, devido ao grande uso da água principalmente para irrigação.

## 9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No país, a precipitação média anual é de 1.797 mm. As maiores precipitações anuais são observadas nas regiões Amazônica (2.239 mm), Tocantins/Araguaia (1.837 mm), Atlântico Nordeste Ocidental (1.790 mm) e Uruguai (1.785 mm); enquanto os menores valores ocorrem nas regiões hidrográficas do São Francisco (1.037 mm), Atlântico Leste (1.058 mm), Parnaíba (1.117 mm) e Atlântico Nordeste Oriental (1.218 mm).

Devido às dimensões continentais do país, as chuvas e conseqüentemente o escoamento superficial são irregularmente distribuídos ao longo das regiões hidrográficas. As chuvas são abundantes e regulares na região hidrográfica Amazônica, concentrando-se nos meses de novembro a maio. Na foz do rio Amazonas, as maiores vazões ocorrem entre os meses de maio a julho, e as menores, nos meses de outubro e novembro. Já no Nordeste do país, as chuvas são de menor intensidade e concentradas entre os meses de março a julho. Na foz do rio São Francisco, por exemplo, as maiores vazões são observadas entre os meses de janeiro a março, e as menores, entre os meses de setembro e outubro.

O inverno seco atinge principalmente a região Centro-Oeste, em um período que se estende aproximadamente de junho a agosto. No Sudeste do país, ocorre uma diminuição das chuvas durante o inverno, principalmente no período de julho a agosto, e o aumento das chuvas durante o verão, entre os meses de dezembro a fevereiro, fazendo com que as maiores vazões do rio Paraná, em Itaipu, aconteçam entre os meses de janeiro a março, e as menores, entre os meses de agosto e setembro. Na região Sul, as chuvas são mais bem distribuídas durante o ano.

**A vazão média anual dos rios em território brasileiro é de 179 mil m<sup>3</sup>/s, valor que corresponde a aproximadamente 12% da disponibilidade mundial de água doce.** A região hidrográfica Amazônica detém 73,6% dos recursos hídricos superficiais. Ou seja, a vazão média desta região é quase três vezes maior que a soma das vazões das demais regiões hidrográficas. **Considerando a contribuição de vazões em território estrangeiro, a vazão média anual total atinge valor da ordem de 267 mil m<sup>3</sup>/s, que corresponde a 18% da disponibilidade mundial.** A segunda maior região, em termos de disponibilidade

hídrica, é a do Tocantins/Araguaia, com 13.624 m<sup>3</sup>/s (7,6%), seguida da região do Paraná, com 11.453 m<sup>3</sup>/s (6,4%). As bacias com menor vazão são, respectivamente: Parnaíba, com 763 m<sup>3</sup>/s (0,4%); Atlântico Nordeste Oriental, com 779 m<sup>3</sup>/s (0,4%) e Atlântico Leste, com 1.492 m<sup>3</sup>/s (0,8%).

As vazões específicas médias variam de menos de 2 L/s.km<sup>2</sup>, nas bacias da região semi-árida, até mais de 40 L/s.km<sup>2</sup>, no noroeste da região Amazônica, sendo a média nacional igual a 21 L/s.km<sup>2</sup>.

**Considerando as séries temporais de vazões existentes no Brasil, o período considerado crítico, ou seja, aquele correspondente às menores vazões observadas estende-se de 1949 a 1956. Com exceção da região hidrográfica do São Francisco, que teve o seu período crítico entre 1999 a 2001, quando ocorreu racionamento de energia elétrica em todo o país. As maiores vazões de estiagem (vazão com permanência de 95%) estão nas regiões Amazônica, Paraná e na Tocantins/Araguaia, enquanto as menores estão nas bacias do Atlântico Nordeste Oriental, Parnaíba e Atlântico Leste. As bacias localizadas em terrenos cristalinos, com regime de chuva irregular possuem vazões de estiagem muito baixas, em geral, inferiores a 10% da vazão média.**

**Quanto à evapotranspiração real quantificada em relação à precipitação média, as regiões Parnaíba (94% da precipitação), Atlântico Nordeste Oriental (93%), Atlântico Leste (89%), São Francisco (86%), Paraguai (85%) e Atlântico Nordeste Ocidental (83%) apresentam os maiores valores, atingindo mais de 80% da precipitação média e levando, conseqüentemente, aos menores percentuais de escoamento superficial efetivo.**

**Em relação às águas subterrâneas, as reservas renováveis no país atingem cerca de 42 mil m<sup>3</sup>/s, ou 24% do escoamento médio dos rios em território nacional e 49% da vazão de estiagem. Considerando as reservas explotáveis como iguais a 20% das renováveis, tem-se cerca de 8.400 m<sup>3</sup>/s como disponibilidade hídrica (reserva explotável) no país.**

**O país possui importantes sistemas aquíferos com boa distribuição nas regiões hidrográficas e com bom potencial hídrico. A maior parte destes aquíferos é do tipo poroso e localiza-se nas bacias sedimentares, que ocupam aproximadamente 48% do território nacional. Os principais sistemas aquíferos do país totalizam uma reserva renovável de 20 mil m<sup>3</sup>/s, com cerca de 4.100 m<sup>3</sup>/s como valor de disponibilidade hídrica subterrânea (reserva explotável).**

Os sistemas aquíferos porosos que apresentam os maiores valores de reservas renováveis são, em ordem decrescente de valor: Solimões, Serra Geral, Bauru-Caiuá, Parecis, Alter do Chão, Urucuia-Areado e Barreiras. Cada um desses sistemas tem reserva renovável acima de 1.000 m<sup>3</sup>/s e totalizam cerca de 86% das reservas renováveis.

Os terrenos fraturados e cárstico-fraturados, genericamente designados de terrenos cristalinos, ocupam 52% do país. Em função da sua natureza heterogênea, eles normalmente apresentam potencial hídrico baixo. Localmente podem constituir bons aquíferos. Nas regiões de clima tropical, a associação com um espesso manto de intemperismo favorece a produtividade dos aquíferos. Nas regiões de clima semi-árido, como no sertão nordestino, em que predominam delgados mantos de intemperismo, as vazões dos poços são baixas.

Em várias regiões, a água subterrânea representa o principal manancial hídrico, sendo utilizado para diversos fins como o abastecimento humano, irrigação, indústria e lazer. Apesar da sua importância crescente, ainda existe no país uma grande carência de estudos hidrogeológicos. Aqueles existentes, elaborados em escala regional são, em geral, antigos e estão defasados. O adequado gerenciamento do recurso hídrico só poderá ocorrer quando for baseado no conhecimento do potencial hídrico dos aquíferos.

**A demanda de água (vazão de retirada) no país é de 1.592 m<sup>3</sup>/s, sendo que cerca de 53% deste total (841 m<sup>3</sup>/s) são consumidos**, não retornando às bacias hidrográficas. Cerca de 40% da vazão de retirada no país são destinadas à irrigação, 27% são destinados para abastecimento urbano, 17% para indústria, 13% para animal e apenas 3% para abastecimento rural. A irrigação é responsável por quase 70% da água consumida no país.

A região hidrográfica do Paraná concentra as maiores vazões de retirada (30%) e consumo (23%) de água no país. Destacam-se ainda pelas retiradas as regiões hidrográficas do Atlântico Sul (15%), Atlântico Sudeste (11%), Atlântico Nordeste Oriental (11%), São Francisco (10%) e Uruguai (9%). Entre os maiores consumos estão ainda as regiões hidrográficas do Atlântico Sul (18%), São Francisco (13%), Uruguai (13%), Atlântico Nordeste Oriental (12%) e Atlântico Sudeste (7%).

**Existem hoje 70.660 outorgas de direito de usos dos recursos hídricos em águas de domínio dos estados e da União, relativas a usos consuntivos, totalizando 2.044 m<sup>3</sup>/s.**

**O Brasil é considerado rico em termos de vazão média por habitante, com cerca de 33 mil m<sup>3</sup>/hab/ano, mas apresenta uma grande variação espacial e temporal das vazões. A menor vazão média por habitante é observada na região hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental, com média inferior a 1.200 m<sup>3</sup>/hab.ano.** Em algumas bacias dessa região, são registrados valores menores que 500 m<sup>3</sup>/hab.ano. Destacam-se ainda, na condição de regiões com pouca disponibilidade relativa, algumas bacias das regiões hidrográficas Atlântico Leste, Paraíba e São Francisco. Na porção semi-árida dessas regiões, onde o fenômeno da seca tem repercussões mais graves, a água é um fator crítico para as populações locais. A presença dos açudes para o armazenamento de água e regularização das vazões dos rios intermitentes é fundamental e estratégica para o abastecimento humano, dessedentação de animais, irrigação e demais usos.

**Um cenário crítico também é observado nas regiões em que existe uma associação entre elevada densidade populacional e baixa disponibilidade hídrica. É o caso da bacia do Alto Tietê e dos rios que deságuam na região da Baía de Guanabara, atingindo valores menores que 500 m<sup>3</sup>/hab.ano.** Nestas bacias, as retiradas superam a disponibilidade hídrica, obrigando a busca de fontes externas. Neste contexto, em função da proximidade com grandes centros urbanos, são ainda exemplos, as bacias do Paraíba do Sul (região hidrográfica do Atlântico Sudeste), São Bartolomeu e Piracicaba (região hidrográfica do Paraná).

Um fator agravante nessas bacias, localizadas próximas aos centros urbanos, diz respeito ao comprometimento da qualidade das águas, que ocasiona o aumento nos custos de tratamento e restringe os usos da água.

A relação entre as demandas e a disponibilidade de recursos hídricos aponta a situação atual da utilização dos recursos hídricos no país. Em relação a este indicador, **a região Atlântico Nordeste Oriental é a mais crítica, onde quase todas as sub-bacias apresentam uma relação entre demanda e disponibilidade de mais de 40%.** A região hidrográfica do São Francisco também tem diversas sub-bacias em situação muito crítica, como a maioria dos rios localizados na região semi-árida da bacia. Algumas bacias do Atlântico Leste

também apresentam dificuldades no atendimento às demandas, como as dos rios Vaza-Barris, Itapicuru e Paraguaçu. Adicionalmente, apresentam um quadro pelo menos preocupante, as bacias próximas aos centros urbanos nas regiões Atlântico Sudeste, Atlântico Sul e Paraná. Por fim, algumas bacias localizadas na região do Uruguai encontram-se em uma situação que exige intenso gerenciamento e intervenções, devido, principalmente, a conflitos de usos com a irrigação (rios Icamaguã, Ibicuí, Santa Maria e Quaraí, entre outros).

Em relação às águas subterrâneas, a avaliação das relações entre demanda e disponibilidade hídrica subterrânea revela que 18 dos 27 sistemas principais sistemas aquíferos do país poderiam potencialmente suprir as demandas hídricas dos municípios situados nas suas áreas de recarga. No caso dos sistemas aquíferos Jandaíra e Beberibe, dados de literatura já indicam que medidas de gerenciamento do recurso hídrico são necessárias.

### **Recomendações**

- As bacias localizadas em áreas que apresentam uma combinação de baixa disponibilidade (por exemplo, semi-árido) e grande utilização dos recursos hídricos (próximas aos grandes centros urbanos) passam por situações de escassez e estresse hídrico. Estas bacias precisam de intensas atividades de planejamento e gestão de seus recursos hídricos. Principalmente nestas bacias, faz-se necessária a consolidação do sistema de gerenciamento de recursos hídricos, com o funcionamento efetivo dos órgãos gestores e com a implantação dos instrumentos técnicos, econômicos, estratégicos e institucionais da Política e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
- As informações hidrológicas são estratégicas para o planejamento e gestão dos recursos hídricos e para o desenvolvimento de projetos em vários segmentos da economia, como agricultura, transporte, energia e meio ambiente. Neste sentido, é fundamental que o Sistema de Informações Hidrológicas seja fortalecido com a ampliação da rede de monitoramento, principalmente em locais em que há maiores dificuldades de acesso, limitações de informações e carências de estações, como as regiões hidrográficas Amazônica e do Paraguai.
- O Brasil precisa, em cooperação com os países fronteiriços, melhorar as informações sobre as reservas hídricas compartilhadas nas regiões hidrográficas

Amazônica, Paraná, Paraguai e Uruguai, entre os países da Argentina, Uruguai, Paraguai, Bolívia, Peru, Colômbia, Venezuela, Guiana, Suriname e Guiana Francesa.

- Importantes sistemas aquíferos no país são atualmente explorados sem qualquer controle sobre a proliferação indiscriminada de poços, que são muitas vezes mal construídos e não seguem normas técnicas. Localmente já existem indícios de superexploração em alguns aquíferos. Estudos que definam as reservas exploráveis e a implementação da outorga são fundamentais para o gerenciamento do recurso hídrico subterrâneo.
- A inserção efetiva da gestão integrada dos recursos hídricos na bacia hidrográfica deve contemplar as águas superficiais e subterrâneas como indissociáveis.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) 2003a. **Nota técnica** 007/2003/SPR-Memorial descritivo da estimativa de demanda de irrigação contida no documento “Plano Nacional de Recursos Hídricos – Documento Base de Referência, Minuta”. 40p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) 2003b. **Nota técnica** 010/2003/SPR-Memorial descritivo do cálculo da demanda humana de água contidas no documento “Plano Nacional de Recursos Hídricos – Documento Base de Referência, Minuta”. 30p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) 2003c. **Nota técnica** 013/2003/SPR-Memorial descritivo do cálculo da demanda industrial de água contidas no documento “Plano Nacional de Recursos Hídricos – Documento Base de Referência, Minuta”. 4p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Resolução no. 209, de 22/04/2004.** Aprova as séries de vazões de usos consuntivos referentes a aproveitamentos hidrelétricos localizados na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Resolução no. 210, de 22/04/2004.** Aprova as séries de vazões de usos consuntivos referentes a aproveitamentos hidrelétricos localizados na Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Resolução no. 211, de 22/04/2004.** Aprova as séries de vazões de usos consuntivos referentes a aproveitamentos hidrelétricos localizados na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Resolução no. 212, de 22/04/2004.** Aprova as séries de vazões de usos consuntivos referentes a aproveitamentos hidrelétricos localizados na Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Resolução no. 213, de 22/04/2004.** Aprova as séries de vazões de usos consuntivos referentes a aproveitamentos hidrelétricos localizados na Bacia Hidrográfica do Rio Paranapanema.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Resolução no. 214, de 22/04/2004.** Aprova as séries de vazões de usos consuntivos referentes a aproveitamentos hidrelétricos localizados na Bacia Hidrográfica do Rio Tietê.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Resolução no. 215, de 22/04/2004.** Aprova as séries de vazões de usos consuntivos referentes a aproveitamentos hidrelétricos localizados na Bacia Hidrográfica do Rio Grande.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Resolução no. 216, de 22/04/2004.** Aprova as séries de vazões de usos consuntivos referentes a aproveitamentos hidrelétricos localizados na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba.

AGUIAR, R. B. & CORDEIRO, W. **Monitoramento/gestão de água subterrânea em microáreas estratégicas da Região Metropolitana de Fortaleza – RMF**. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Florianópolis - SC, 2002. CD-rom.

ALCAMO, J.; HENRICH, T.; RÖSCH, T. **World Water in 2025 – Global modeling and scenario analysis for the World Commission on Water for the 21<sup>st</sup> Century**. Report A0002. Center for the Environmental Systems Research. University of Kassel. Germany.

ANDRADE JÚNIOR, A.S.; SILVA, E.F.; BASTOS, E.A.; LEAL, C.M.; FOLEGATTI, M.V. 2004. **Uso da água subterrânea para irrigação no sudeste piauiense e o risco de salinização e sodificação do solo**. VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, São Luís – MA, 2004. CD-rom.

ALVARENGA, C.J.S. 1978. **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.

ASSINE, M.L. 1992. Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 22, n. 3, p. 289-300.

BOMFIM, L.F.C. & GOMES, R.A.D. 2004. **Aqüífero Urucuia – Geometria e espessura: idéias para discussão**. XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Cuiabá – MT, 2004. CD-rom.

CABRAL, J.J.S.P.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; DEMÉTRIO, J.G.A.; MANOEL FILHO, J.; FARIAS, V.; FRAGOSO JÚNIOR, L.A.V.; PAIVA, A.L.R. 2002. **Avaliação preliminar dos níveis potenciométricos de poços na Planície de Recife. 2002**. VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Maceió – AL, 2002. CD-rom.

CAETANO, L.C. & PEREIRA, S.Y. 2000. **Água subterrânea no município de Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil**. I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas e XI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Fortaleza – CE, 2000. CD-rom.

CASTRO, V.L.L.; OLIVEIRA, W.D.; LIZÁRRAGA, G.; CARLOS, M.F.; DINIZ FILHO, J.B.; MELO, J.G. 2004. **Ações e procedimentos de gestão adotados no aquífero Jandaíra – região de Baraúna/RN**. XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Cuiabá – MT, 2004. CD-rom.

CAVALCANTE, A.T. 1982. **Potencialidade das águas subterrâneas na área da Maceió - Alagoas**. II Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Salvador - BA, 1982. p. 43-52.

CAYE, B.R.; FREITAS, M.A.; MACHADO, J.L.F. 2002. **Contribuição ao gerenciamento das águas subterrâneas do Oeste de Santa Catarina**. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Florianópolis - SC, 2002. CD-rom.

CHANG, H.K. 2001. Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani. GEF/Banco Mundial/OEA. **Componente 3b: uso atual e potencial do aquífero Guarani-Brasil**.

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS (CPRM) 2001. **Mapa geológico do Brasil**. (Escala: 1:2.500.000). cd-rom.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DE RECURSOS HIDRICOS (CPRH). [www.cprh.pe.gov.br](http://www.cprh.pe.gov.br)

COSTA, W.D. 1994. Água subterrânea e o desenvolvimento sustentável do semi-árido nordestino. In: **Projeto ÁRIDAS**. Brasília, Secretaria de Planejamento, Orçamento e Coordenação da Presidência da República. 53 p. (GT II – Recursos Hídricos, Versão Preliminar).

COSTA, W.D. 2000a. **O aquífero infra-Barreiras na região costeira do Rio Grande do Norte**. I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas e XI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Fortaleza – CE, 2000. CD-rom.

COSTA, W.D. 2000b. **Riscos potenciais e reais decorrentes da super-exploração das águas subterrâneas no Recife – PE**. I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas e XI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Fortaleza – CE, 2000. CD-rom.

COSTA, W.D. & COSTA FILHO, W.D. 2004. **A gestão dos aquíferos costeiros de Pernambuco**. XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Cuiabá – MT, 2004. CD-rom.

COSTA, W.D.; MANOEL FILHO, J.; SANTOS, A.C.; COSTA FILHO, W.D.; MONTEIRO, A.B.; SOUZA, F.J.A. 1998. **Zoneamento de exploração das águas subterrâneas na cidade do Recife – PE**. X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, São Paulo – SP, 1998. CD-rom.

CUNHA, J.E.M.; NEGRÃO, F.I.; SANTOS, P.R.P. 1986. **Panorama atual das águas subterrâneas no Estado da Bahia**. IV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Brasília – DF, 1986. p. 80-95.

COSTA FILHO, W.D. & COSTA, W.D. 2000. **Caracterização hidrogeológica do Estado de Pernambuco**. I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas e XI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Fortaleza – CE, 2000. CD-rom.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE) 1974. **Estudo de águas subterrâneas. Região administrativa 6: Ribeirão Preto**. São Paulo. Volume 2-texto.

DINIZ FILHO, J.B.; MELO, J.G.; BARROSO, T.T.; DUARTE, U. 2000. **Potencialidades e consumo de águas subterrâneas no médio e baixo curso da bacia hidrográfica do rio Ceará-Mirim/RN**. I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas e XI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Fortaleza – CE, 2000. CD-rom.

FERNANDES, R.A. & LOUREIRO, C.O. 2004. **Cadastro e caracterização dos exutórios de água subterrânea na área do gráben Crato-Juazeiro, região do Cariri – Ceará**. XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Cuiabá – MT, 2004. CD-rom.

FRACALOSSO JÚNIOR, M. 1986. **Aspectos hidrogeológicos da Bacia do Araripe. Aquíferos Missão Velha e Mauriti.** IV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Brasília – DF, 1986. p. 159-170.

FREITAS, M.A.; CAYE, B.R.; MACHADO, J.L.F.; ANTUNES, R.B.MIRANDA JUNIOR, G.X. 2002. **Água subterrânea: um recurso vital para o Oeste Catarinense.** XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Florianópolis – SC, 2002. CD-rom.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV) 1998. **Plano Nacional de Recursos Hídricos.**

GABAGLIA, G.P.R & MILANI, E.J (Coordenadores) 1990. **Origem e Evolução de Bacias Sedimentares.** Rio de Janeiro. Petrobrás. 415 p.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE. 2003. **Cadastramento de poços e diagnóstico preliminar das causas que afetam o rebaixamento do nível potenciométrico do aquífero Jandaíra, região de Baraúna-RN.** 17 p. Inédito.

MACHADO, C.J.F.; SANTIAGO, M.M.F.; MENDONÇA, L.A.R.; MENDES FILHO, J. 2002. **Evolução da salinidade das águas subterrâneas no aquífero Mauriti – Bacia Sedimentar do Araripe.** XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Florianópolis-SC, 2002. Cd-rom.

MANOEL FILHO, J. 2004. **Exploração de água subterrânea em zona urbana: Caso da Grande Recife – PE.** XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Cuiabá – MT, 2004. CD-rom.

MELO, J.G.; QUEIROZ, J.A.; HUNZIKER, J. 1998. **Mecanismos e fontes de contaminação das águas subterrâneas de Natal/RN por nitrato.** X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, São Paulo – SP, 1998. CD-rom.

MENDES, E. A.A.; NAKANDAKARE, K.C.; SOUZA, M.A.; FERNANDES, A.M.P; SILVEIRA, E.L.; FELTRIN, J. ;GUARDA, M.J. 2002. **Mananciais Subterrâneos no Estado do Paraná.** XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Florianópolis-SC, 2002. Cd-rom.

MENDONÇA, L.A.R.; FRISCHKORN,H.; SANTIAGO, M.M.F.; MENDES FILHO, J. 2000. **Qualidade da água subterrânea na Chapada do Araripe e sua vulnerabilidade.** I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas e XI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Fortaleza – CE, 2000. CD-rom.

MENTE, A. 1997. As condições hidrogeológicas do Brasil. In: FEITOSA, F.A. & MANOEL FILHO, J. (coord.) **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** Fortaleza, CPRM, LABHID-UFPE. p. 323-340.

MONTEIRO, A.B.; COSTA, W.D.; LIMA FILHO, M.; BARBOSA, P.L. 2002. **Hidrogeologia e gestão do aquífero Barreiras nos bairros de Ibura e Jordão – Recife – Pernambuco.** XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Florianópolis-SC, 2002. Cd-rom.

MOURÃO, M.A.A.; LIMA, J.E.S.; MONTEIRO, E.A. 2002. **Os sistemas aquíferos do norte do Estado do Espírito Santo: Potencial de exploração e diagnóstico atual de aproveitamento.** XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Florianópolis-SC, 2002. CD-rom.

MÜLLER I.I.; KRÜGER, M.; KAVISKI, E. Análise de estacionariedade de séries hidrológicas na bacia incremental de Itaipu. Anuário da RBRH. ABRH. Vol. 3. 1998.

OLIVEIRA, J.N. & WENDLAND, E. 2004. **Estudo sobre a mudança dos NE em São José do Rio Preto, SP.** XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Cuiabá – MT, 2004. CD-rom.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Estimativa das vazões para atividades de uso consuntivo da água nas principais bacias do Sistema Interligado Nacional – SIN.** Brasília: ONS; FAHMA-DREER, ANA; ANEEL; MME, 2003.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Revisão das séries de vazões naturais nas principais bacias do Sistema Interligado Nacional- SIN.** Brasília: ONS; ANA; ANEEL; MME, 2003.

PROJETO ÁGUA SUBTERRÂNEA NO NORDESTE DO BRASIL (PROASNE). Modelamento Matemático da Área de Recarga do Aquífero Açu, Rio Grande do Norte. <http://proasne.net/acufinalreport.html>

PROJETO DE PROTEÇÃO AMBIENTAL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI. 2001. GEF/Banco Mundial/OEA. **Componente a: Expansão e Consolidação da Base Atual de Conhecimento Básico.**

RAMOS, M.L.S. & MARTINS, J.C. 2002. **Abordagem preliminar do uso da água subterrânea em Minas Gerais através do instrumento de outorga.** XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Florianópolis – SC, 2002. CD-rom.

REBOUÇAS, A.C., 1976. **Recursos hídricos da Bacia do Paraná.** S.Paulo, SP. Tese de Livre Docência. IGC/USP, 143 p.

REBOUÇAS, A.C. 1980. **Potencial hidrogeológico da Bacia do Paraná - Brasil.** I Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Recife-PE, 1980. p. 35-47.

REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, A.G. **Águas Doces no Brasil.** Escrituras, 1999.

ROCHA, G., 1997. O Grande Manancial do Cone Sul. **Estudos Avançados, USP.** Vol.30, p.191-212.

ROSA FILHO, E.F.; HINDI, E.C. GIUSTI, D.A.; NADAL, C.A. **Utilização das águas subterrâneas no abastecimento público das cidades paranaenses.** Boletim Paranaense de Geociências, 46; Curitiba, p. 13-23. 1998.

SANTOS, A.C.; REBOUÇAS, A.C.; COSTA, W.D.; ACCIOLY, A.C.A. 2000. **Métodos e critérios de uso e proteção das águas subterrâneas na Região Metropolitana de Recife – Estado de Pernambuco – Nordeste do Brasil.** I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas e XI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Fortaleza – CE, 2000. CD-rom.

SILVA, R.B.G. 1983. **Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do Aquífero Botucatu no estado de São Paulo.** Tese de Doutorado, IGc/USP, 133 p.

SILVA, M.F.B.; NICOLETTI, A.; ROCCA, A.C.C.; CASARINI, D.C.P. 1998. **Uso e qualidade das águas subterrâneas para abastecimento público no Estado de São Paulo.** X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, São Paulo – SP, 1998. CD-rom.

SILVA, J.G.; CAVALCANTE, I.N.; LOPES, C.R.M. 2002. **Aspectos hidrogeológicos costeiros – porção leste da Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará.** XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Florianópolis – SC, 2002. CD-rom.

SOUSA, S.B. 2000. **Sistema aquífero da Ilha do Maranhão (MA).** I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas e XI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Fortaleza – CE, 2000. CD-rom.

TUCCI, C.E.M.; CLARKE R.T. Impactos das mudanças ambientais nas vazões dos rios: Bacia incremental de Itaipu. Porto Alegre: IPH 1996. 82 p.

UNESCO. **The United Nations World Water Development Report. Water for people, water for life.** (Disponível em <http://www.unesco.org/water/wwap>).



**MINISTÉRIO DO  
MEIO AMBIENTE**

