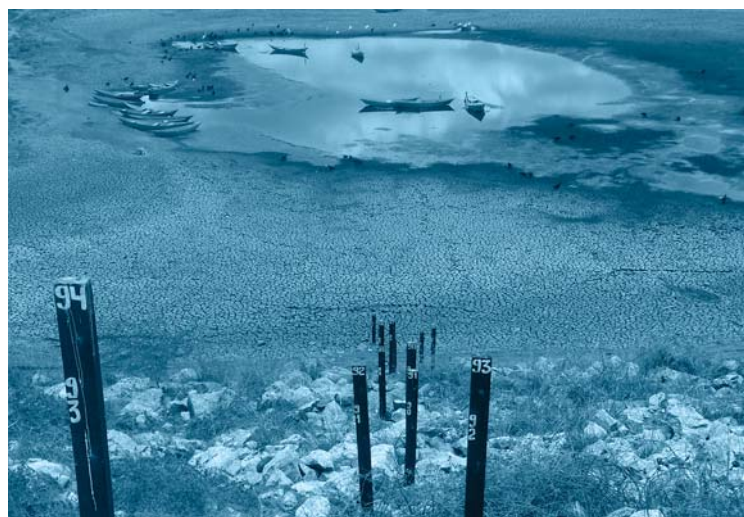


RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação

Relatório Síntese



RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação

Relatório Síntese

República Federativa do Brasil

Michel Temer

Presidente da República

Ministério do Meio Ambiente (MMA)

José Sarney Filho

Ministro

Agência Nacional de Águas (ANA)

Diretoria Colegiada

Vicente Andreu Guillo (Diretor-Presidente)

João Gilberto Lotufo Conejo

Gisela Damm Forattini

Ney Maranhão

Ricardo Medeiros de Andrade

Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (SPR)

Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares

Agência Nacional de Águas
Ministério do Meio Ambiente

RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação

Relatório Síntese

Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos - SPR

Brasília - DF
ANA
2017

© 2017, Agência Nacional de Águas – ANA.

Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Blocos B, L, M e T.
CEP: 70610-200, Brasília – DF.
PABX: (61) 2109-5400 | (61) 2109-5252
Endereço eletrônico: www.ana.gov.br

COMITÊ DE EDITORAÇÃO:

João Gilberto Lotufo Conejo
Diretor

Reginaldo Pereira Miguel
Representante da Procuradoria Federal - ANA

Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares
Humberto Cardoso Gonçalves
Joaquim Guedes Correa Gondim Filho
Superintendentes

Mayui Vieira Guimarães Scafura
Secretária-Executiva

As ilustrações, tabelas e gráficos sem indicação de fonte foram elaborados pela ANA.
Informações, críticas, sugestões, correções de dados: cedoc@ana.gov.br
Disponível também em: <http://www.ana.gov.br>

Todos os direitos reservados

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

EQUIPE EDITORIAL

Mariane Moreira Ravello
Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares
Supervisão editorial

Agência Nacional de Águas (ANA)
Engecorps Engenharia S.A.
Elaboração dos originais

Adilio Lemos da Silva
Mariane Moreira Ravello
Diagramação e Capa

Engercorps Engenharia S.A.
Fotografias

Agência Nacional de Águas (ANA)
Produção

Catálogo fonte - CEDOC/Biblioteca

A265c

Agência Nacional de Águas (Brasil).
Reservatórios do Semiárido Brasileiro: Hidrologia, Balanço
Hídrico e Operação : Relatório Síntese / Agência Nacional de
Águas - Brasília: ANA, 2017.

88 p.: il.

ISBN: 978-85-8210-048-6

1. Reservatórios - Brasil. 2. Açudes - Nordeste.
3. Recursos Hídricos. 4. Semiárido

I. Agência Nacional de Águas (Brasil). II. Superintendência
III. Engecorps Engenharia S.A.

CDU 556.51 (81)(075.2)

COORDENAÇÃO E ELABORAÇÃO

Agência Nacional de Águas

Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos

Coordenação Geral

Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares

Coordenação Executiva

Mariane Moreira Ravanello

Saulo Aires de Souza

Flávio Hadler Tröger

Carlos Alberto Perdigão Pessoa

Colaboradores

Cesar Eduardo Bertozzo Pimentel

Diego Liz Pena

Eduardo Borghossian

Flávio José D'Castro Filho

Marcos Airton de Sousa Freitas

Marcos Irineu Pufal

Marcus André Fuckner

Teresa Luisa Lima de Carvalho

Thiago Henriques Fontenelle

Paulo Marcos Coutinho dos Santos

ELABORAÇÃO E EXECUÇÃO

Engercorps Engenharia S.A.

Coordenação Geral

Danny Dalberson de Oliveira

Coordenação Executiva

Aída Maria Pereira Andrezza

Maria Bernadete Sousa Sender

Coordenação Executiva Adjunta

Raquel Chinaglia Pereira dos Santos

Equipe Principal

Alberto Lang Filho

Christiane Spörl

Marcos Oliveira Godoi

Consultores

Francisco Jácome Sarmento

José Carlos de Araújo Borba

José Rodolfo Scarati Martins

Romulo de Macedo Vieira

Apoio Técnico

Eduardo Kohn

Fábio Avigo de Castro Pinto

Fernando Garcia

Henrique A. de Almeida Ramos

Marina Almeida de Oliveira

Milena Mariano dos Santos

Ualfrido D. Carlo Junior



Plataforma de coleta de dados (PCD). Reservatório Cachoeira II - Serra Talhada/PE
Engecorps Engenharia S.A

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1 - Área de Estudo | 18 |
| Figura 3.1 - Capacidades de Armazenamento Consolidadas dos Reservatórios | 33 |
| Figura 3.2 - Caracterização dos Reservatórios - Reservatório Cachoeira dos Cegos, PB | 34 |
| Figura 3.3 - Caracterização dos Reservatórios - Reservatório Jucazinho, PE | 35 |
| Figura 3.4 - Rede de Monitoramento Pluviométrico - Estações Seleccionadas | 38 |
| Figura 3.5 - Rede de Monitoramento NCB 1961-1990, INMET Estações com Normais de Precipitação Acumulada Disponíveis | 40 |
| Figura 3.6 - Rede de Monitoramento NCB 1961-1990, INMET Estações com Normais de Evaporação Total Disponíveis | 42 |
| Figura 3.7 - Rede de Monitoramento Fluviométrico - Estações Seleccionadas | 45 |
| Figura 3.8 - Representação Esquemática do Modelo MODHAC | 47 |
| Figura 3.9 - Distribuição Espacial dos Postos Fluviométricos (HIDROWEB) Utilizados na Calibração/Validação do MODHAC | 48 |
| Figura 3.10 - Precipitação Total Mensal na Área de Estudo (mm) | 49 |
| Figura 3.11 - Evaporação Total Mensal na Área de Estudo (mm) | 50 |
| Figura 3.12 - Disponibilidade Hídrica dos Reservatórios Vazão Natural Incremental Específica Média de Longo Termo (l/s/km ²) | 51 |
| Figura 3.13 - Disponibilidade Hídrica dos Reservatórios - Vazão Regularizada com 99% de Garantia (l/s) | 52 |
| Figura 3.14 - Área de Influência dos Reservatórios Coremas e Mãe d'Água e do Rio Piancó - Anos Secos | 61 |
| Figura 3.15 - Área de Influência dos Reservatórios Coremas e Mãe d'Água e do Rio Piancó - Anos Úmidos | 62 |
| Figura 3.16 - Demandas Hídricas Totais - 204 Reservatórios | 65 |
| Figura 3.17 - Perímetro de Irrigação São Gonçalo - Abastecimento pelo Reservatório São Gonçalo I, PB | 66 |
| Figura 3.18 - Áreas Difusas de Irrigação Associadas ao Reservatório Cordeiro, PB | 67 |
| Figura 3.19 - Esquema do AcquaNet | 68 |
| Figura 3.20 - Prioridades para Atendimento às Demandas dos Reservatórios e dos Trechos de Jusante Perenes | 70 |
| Figura 3.21 - Prioridades para Atendimento às Demandas dos Reservatórios e dos Trechos de Jusante Intermitentes | 70 |
| Figura 3.22 - Diagrama Unifilar da Bacia do Rio Paraíba para Aplicação do AcquaNet | 71 |
| Figura 3.23 - Volume do Reservatório e Déficit de Atendimento às Demandas - Reservatório Serra Branca | 72 |
| Figura 3.24 - Volume do Reservatório e Déficit de Atendimento às Demandas - Reservatório Sumé | 72 |
| Figura 3.25 - Volume do Reservatório e Déficit de Atendimento às Demandas - Reservatório Acauã | 73 |
| Figura 3.26 - Representação de Transferência no AcquaNet | 75 |
| Figura 3.27 - Exemplificação de Curvas de Aversão ao Risco para Operação de Reservatório | 78 |

| | |
|---|----|
| Figura 3.28 - Volumes Necessários para Abastecimento das Demandas Totais - Cenário de Afluência Nula | 79 |
| Figura 3.29 - Volumes Necessários para Abastecimento das Demandas Prioritárias - Cenário de Afluência Nula | 80 |
| Figura 3.30 - Intensidade de Uso dos 204 Reservatórios | 82 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1.1 - Sistema de Reservatórios da Bacia do Rio Acaraú | 19 |
| Quadro 1.2 - Sistemas de Reservatórios da Bacia do Rio Apodi | 19 |
| Quadro 1.3 - Sistemas de Reservatórios da Bacia do Rio de Contas | 20 |
| Quadro 1.4 - Sistemas de Reservatórios da Bacia do Rio Capibaribe | 20 |
| Quadro 1.5 - Sistemas de Reservatórios da Bacia do Rio Curimataú | 20 |
| Quadro 1.6 - Sistemas de Reservatórios da Bacia do Rio Curu | 20 |
| Quadro 1.7 - Sistemas de Reservatórios da Bacia do Rio Ipojuca | 20 |
| Quadro 1.8 - Sistemas de Reservatórios da Bacia do Rio Jacuípe-Paraguaçu | 21 |
| Quadro 1.9 - Sistemas de Reservatórios da Bacia do Rio Jaguaribe | 21 |
| Quadro 1.10 - Sistemas de Reservatórios da Bacia do Rio Pacoti | 22 |
| Quadro 1.11 - Sistemas de Reservatórios da Bacia do Rio Paraíba | 22 |
| Quadro 1.12 - Sistemas de Reservatórios da Bacia do Rio Parnaíba | 23 |
| Quadro 1.13 - Sistemas de Reservatórios da Bacia dos Rios Piancó-Piranhas-Açú | 23 |
| Quadro 1.14 - Sistemas de Reservatórios das Bacias Afluentes do Rio São Francisco | 25 |
| Quadro 1.15 - Sistemas de Reservatórios da Bacia do Rio Vaza Barris | 26 |
| Quadro 3.1 - Base de Dados Pluviométricos Utilizada | 36 |
| Quadro 3.2 - Estatísticas dos Dados Pluviométricos Analisados | 36 |
| Quadro 3.3 - Postos Pluviométricos Utilizados nos Estudos | 37 |
| Quadro 3.4 - Base de Dados Fluviométricos Utilizada | 43 |
| Quadro 3.5 - Estatísticas dos Dados Fluviométricos Analisados | 43 |
| Quadro 3.6 - Postos Fluviométricos Utilizados nos Estudos | 44 |
| Quadro 3.8 - Valores de per Capita de Captação Adotados | 54 |
| Quadro 3.9 - Eficiência e Perda por Evaporação Adotados, por Método de Irrigação | 59 |
| Quadro 3.10 - Demanda Unitária de Água para Dessedentação de Cada Espécie Animal | 63 |
| Quadro 3.11 - Reservatórios com Restrições de Uso Devido à Qualidade da Água | 64 |
| Quadro 3.12 - Dados de Entrada para Obtenção das Curvas de Aversão ao Risco dos Reservatórios | 77 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| APRESENTAÇÃO | 13 |
| 1 INTRODUÇÃO | 15 |
| 2 ABRANGÊNCIA ESPACIAL DOS ESTUDOS..... | 17 |
| 3 ESCOPO DOS ESTUDOS | 27 |
| 4 METODOLOGIAS E PRINCIPAIS RESULTADOS DISPONÍVEIS..... | 29 |
| 4 Metodologias e Principais Resultados Disponíveis | 30 |
| 4.1 Caracterização dos Reservatórios | 30 |
| 4.1.1 Metodologia Utilizada | 30 |
| 4.1.1.1 Caracterização dos Reservatórios com Base em Dados Secundários | 30 |
| 4.1.1.2 Caracterização dos Reservatórios com Base em Levantamentos de Campo | 31 |
| 4.1.2 Resultados Disponíveis | 31 |
| 4.2 Levantamento das Disponibilidades Hídricas | 36 |
| 4.2.1 Metodologia Utilizada | 36 |
| 4.2.1.1 Estudos Pluviométricos | 36 |
| 4.2.1.2 Estudos Evaporimétricos | 41 |
| 4.2.1.3 Estudos Fluviométricos | 43 |
| 4.2.2 Resultados Disponíveis | 47 |
| 4.3 Refinamento das Demandas Hídricas | 53 |
| 4.3.1 Metodologia Utilizada | 53 |
| 4.3.1.1 Pressupostos Adotados | 53 |
| 4.3.1.3 Diluição de Efluentes Domésticos | 54 |
| 4.3.1.2 Demandas para Abastecimento Humano Urbano | 54 |
| 4.3.1.4 Abastecimento Industrial | 55 |
| 4.3.1.6 Irrigação | 56 |
| 4.3.1.5 Diluição de Efluentes Industriais | 56 |
| 4.3.1.7 Abastecimento da População Rural | 59 |
| 4.3.1.8 Cálculo da Demanda para Dessedentação Animal | 63 |
| 4.3.1.9 Reservatórios com Restrição de Uso | 63 |
| 4.3.2 Resultados Disponíveis | 64 |
| 4.4 Balanço Hídrico na Situação Atual | 68 |
| 4.4.1 Metodologia Utilizada | 68 |
| 4.4.1.1 Sistema de Apoio à Decisão Empregado | 68 |
| 4.4.1.2 Premissas Adotadas para as Simulações Realizadas com o AcquaNet | 69 |
| 4.4.1.3 Realização das Simulações de Balanço Hídrico | 70 |

| | |
|--|----|
| 4.4.2 Resultados Disponíveis | 71 |
| 4.5 Estabelecimento de Regras Operativas e Gestão do Risco | 74 |
| 4.5.1 Metodologia Utilizada | 74 |
| 4.5.1.1 Contextualização | 74 |
| 4.5.1.2 Ferramenta Computacional Utilizada | 74 |
| 4.5.1.3 Premissas para as Simulações | 76 |
| 4.5.1.4 Realização das Simulações | 76 |
| 4.5.2 Resultados Disponíveis | 78 |
| 4.5.2.1 Avaliação da Intensidade de Uso dos Reservatórios | 81 |
| 4.6 Recomendações para Adequação do Monitoramento Hidrometeorológico e Cadastral | 83 |
| 4.7 Elaboração do Banco de Dados do Projeto | 84 |

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....85





Apresentação

APRESENTAÇÃO

A gestão das águas no Semiárido Brasileiro tem sido, ao longo de décadas, um desafio para as instituições e os tomadores de decisão. As características climáticas intrínsecas e o adensamento da ocupação humana tornam a região bastante vulnerável aos eventos de secas, provocando impactos econômicos, sociais e ambientais.

As políticas adotadas para atenuar esses impactos variaram ao longo do tempo, desde ações puramente assistencialistas até intervenções de caráter permanente e estruturante, como no caso da construção de reservatórios, também chamados de açudes, que modificaram a paisagem e até hoje dão sustentação à vida e às atividades produtivas no sertão nordestino.

A ANA, como instituição responsável pela implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, abriga como uma de suas atribuições “definir e fiscalizar as condições de operação de reservatórios, por agentes públicos e privados, visando garantir os usos múltiplos dos recursos hídricos, conforme estabelecido nos planos de recursos hídricos das respectivas bacias hidrográficas”. Para tanto, a Agência realiza o acompanhamento da situação dos reservatórios do Nordeste e as demandas associadas aos mesmos, com vistas a dar suporte à operação dessas infraestruturas e viabilizar o uso múltiplo das águas.

A seca prolongada em que o Semiárido se encontra desde o ano de 2012 ensejou mais uma série de iniciativas da ANA para enfrentamento dessa situação. Entre as iniciativas de planejamento, identificou-se a necessidade de aprofundar o conhecimento sobre a oferta, as demandas e as condições de operação dos reservatórios, e com isso estabelecer um melhor conhecimento sobre o atual balanço hídrico da região e o aprimoramento necessário na operação dos açudes.

Reservatórios do Semiárido Brasileiro apresenta uma revisão do estado da arte sobre os principais açudes e sistemas hídricos do Semiárido, para os quais foram reunidos e atualizados todos os dados hidrometeorológicos existentes, com vistas ao estabelecimento do balanço hídrico atual e a indicação de regras de operação. A publicação traz também dados cadastrais, hidrológicos, operativos e estruturais obtidos em levantamentos de campo e junto à diversas instituições, organizados em forma de fichas para cada reservatório.

Espera-se que as informações e análises contidas nesta publicação sejam úteis para todos aqueles que se interessam pelo desafio da gestão das águas do Semiárido e sirvam como subsídios para políticas proativas necessárias ao enfrentamento das secas e à manutenção da vida e das atividades produtivas naquela região.

DIRETORIA COLEGIADA



1 Introdução



1 Introdução

No contexto de um cenário de estiagem, que se estende desde o ano de 2010 até o presente ano de 2017, atingindo de forma mais intensa o Semiárido Brasileiro, a Agência Nacional de Águas analisou os problemas e as potencialidades dos grandes sistemas de reservatórios da região, englobando um total de 204 reservatórios, com capacidade total de armazenamento de 31.215 hm³ (equivalente a mais de 80% da capacidade de armazenamento existente no Semiárido*), gerando subsídios e ferramentas para o planejamento racional do uso múltiplo dos recursos hídricos armazenados, no curto, médio e longo prazo.

Desses reservatórios, 154 constituem mananciais para suprimento hídrico de sedes urbanas e 198 são fontes de água para a população rural, abastecendo mais de 10 milhões de pessoas. Destaca-se ainda, que 51 destes açudes abastecem 43 Perímetros Irrigados da região, correspondendo a cerca de 50.000 ha de área irrigável.

Durante 24 meses de trabalho, foram definidas e atualizadas as demandas supridas pelos diversos sistemas de reservatórios existentes, foram reavaliadas as suas disponibilidades hídricas e testadas as suas capacidades para operar em situações de estiagem e em situações hidrológicas normais, constituindo-se uma base de dados abrangente e representativa do estado da arte do balanço entre oferta e demanda de água no Semiárido.

O estudo da ANA constitui, assim, a melhor informação de referência sobre os grandes sistemas de reservatórios estudados, com apoio em um banco de dados que possibilita a tomada de decisões em distintos cenários hidrológicos e de demandas, contribuindo para a negociação e a alocação de água dentre os diversos usuários dos escassos recursos hídricos do Semiárido brasileiro.

O presente Relatório Síntese resgata e resume os resultados do trabalho desenvolvido, apresenta a abrangência espacial e o escopo dos estudos, descreve as principais metodologias empregadas, define o conjunto de resultados disponíveis e apresenta considerações finais. As informações gerais e resultados referentes aos diferentes sistemas de reservatórios estão apresentadas em anexos distribuídos da seguinte forma:

- Anexo A - Sistemas de Reservatórios das Bacias dos Rios Apodi, Curimataú e Paraíba: apresenta os principais resultados obtidos para 28 reservatórios inseridos nas bacias dos rios Apodi, Curimataú e Paraíba, localizados nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte;
- Anexo B - Sistemas de Reservatórios da Bacia dos Rios Piancó-Piranhas-Açu: apresenta os principais resultados obtidos para 50 reservatórios inseridos na bacia dos rios Piancó-Piranhas-Açu, localizados nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte;
- Anexo C - Sistemas de Reservatórios da Bacia do Rio Jaguaribe: apresenta os principais resultados obtidos para 46 reservatórios inseridos na bacia do rio Jaguaribe, localizados no estado do Ceará;
- Anexo D - Sistemas de Reservatórios das Bacias dos Rios Acaraú, Curu, Pacoti e Parnaíba: apresenta os principais resultados obtidos para 40 reservatórios inseridos nas bacias dos rios Acaraú, Curu, Pacoti e Parnaíba, localizados nos estados do Ceará e Piauí;
- Anexo E - Sistemas de Reservatórios das Bacias dos Rios Capibaribe, Contas, Ipojuca, Jacuípe, Vaza-Barris e Bacias Afluentes do Rio São Francisco: apresenta os principais resultados obtidos para 40 reservatórios inseridos nas bacias dos rios Capibaribe, Contas, Ipojuca, Jacuípe, Vaza-Barris e bacias afluentes do rio São Francisco, localizados nos estados do da Bahia, Minas Gerais e Pernambuco.

* Excluindo-se os reservatórios do Sistema Interligado Nacional (SIN).



2 Abrangência Espacial dos Estudos

2 Abrangência Espacial dos Estudos

Os trabalhos tiveram como foco um conjunto de 204 reservatórios pré-selecionados pela ANA, situados em sete estados do Semiárido (Bahia, Ceará, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí e Rio Grande do Norte); 120 reservatórios foram objeto de visita e inspeções de campo, sendo 52 deles avaliados especificamente quanto às suas demandas para irrigação (Figura 1.1).

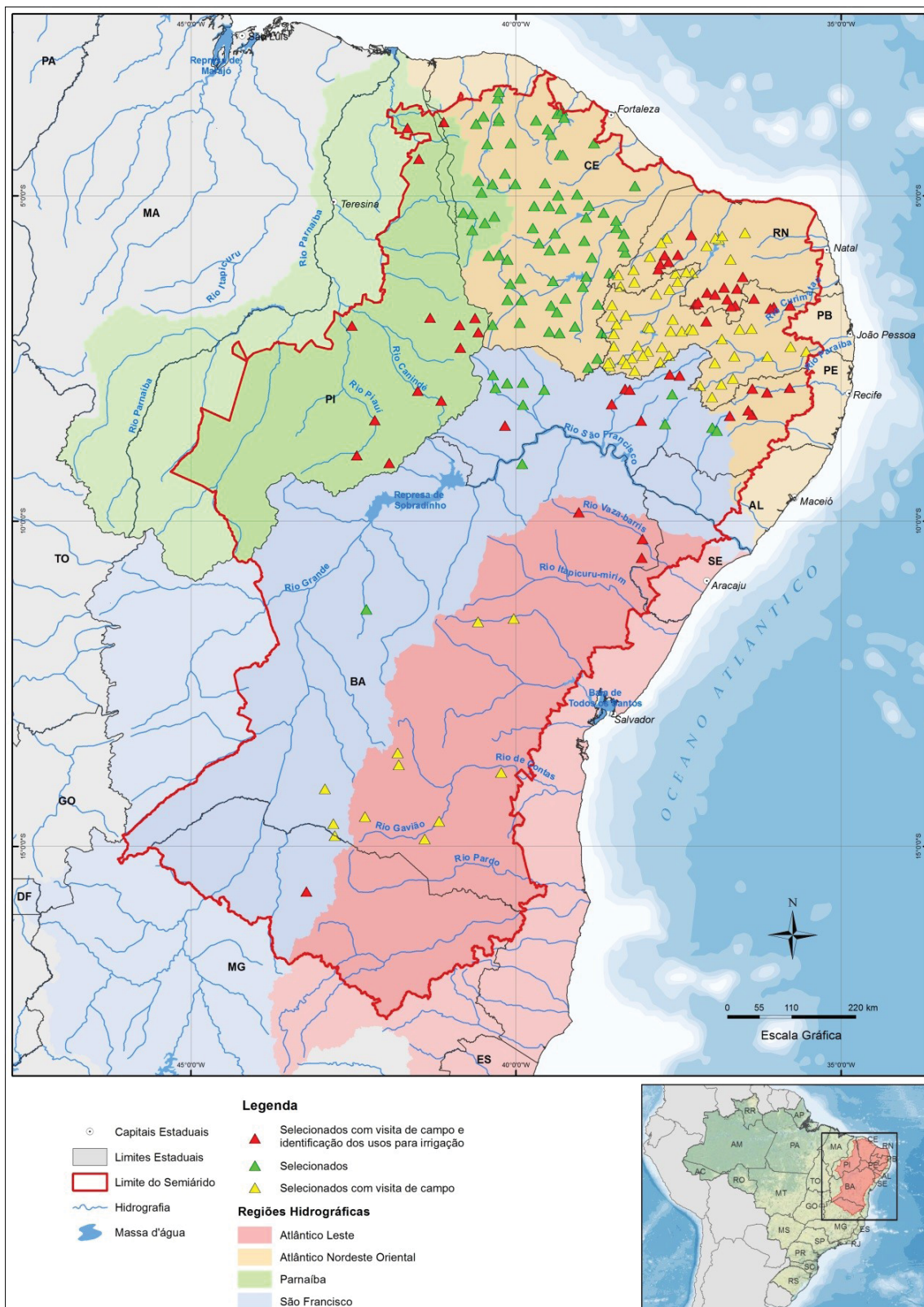


Figura 1.1 - Área de Estudo

A seleção dos reservatórios foi feita pela necessidade de se obter detalhamento e consolidação de informações sobre as maiores fontes hídricas do Semiárido Brasileiro, notadamente os grandes reservatórios estratégicos da região monitorados pela ANA, incluindo os que teriam influência direta do Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional. A partir desses identificou-se a que Sistema Interligado cada um dos reservatórios estratégicos pertenciam, para que se estudasse todo o sistema correspondente. Os reservatórios escolhidos são organizados na forma de 40 Sistemas Interligados, conforme identificado no Quadro 1.1 ao Quadro 1.15.

Quadro 1.1 - Sistema de Reservatórios da Bacia do Rio Acaraú

| Sistema | Código ANA | Reservatório | UF | Visita de Campo | Capacidade (hm ³) |
|--------------|------------|-----------------------|----|-----------------|-------------------------------|
| Acaraú | 3297 | Acaraú Mirim | CE | | 40,26 |
| | 3180 | Araras | CE | | 891,00 |
| | 3290 | Arrebita | CE | | 19,60 |
| | 3319 | Ayres de Souza | CE | | 96,80 |
| | 2805 | Carão | CE | | 26,23 |
| | 3168 | Carmina | CE | | 13,63 |
| | 3156 | Edson Queiroz/Serroto | CE | | 254,00 |
| | 3194 | Farias de Sousa | CE | | 12,24 |
| | 3291 | Forquilha | CE | | 50,13 |
| | 3302 | São Vicente | CE | | 9,85 |
| | 23128 | Taquara | CE | | 320,79 |
| Total | | | | | 1.734,53 |

Quadro 1.2 - Sistemas de Reservatórios da Bacia do Rio Apodi

| Sistema | Código ANA | Reservatório | UF | Visita de Campo | Capacidade (hm ³) |
|--------------|------------|----------------------------|----|-----------------|-------------------------------|
| Apodi | 2067 | Apanha Peixe | RN | x | 10,00 |
| | 2201 | Arapuá | RN | x | 4,30 |
| | 2220 | Bonito II | RN | x | 10,86 |
| | 1702 | Marcelino Vieira | RN | x | 11,20 |
| | 1768 | Pau dos Ferros | RN | x | 54,85 |
| | 1850 | Riacho da Cruz II | RN | x | 9,60 |
| | 2047 | Santa Cruz do Apodi | RN | x | 599,71 |
| Carmo/Apodi | 1836 | Santo Antônio das Caraúbas | RN | x | 8,54 |
| | 2046 | Umari | RN | x | 292,81 |
| Umari/Apodi | 1825 | Brejo | RN | x | 6,45 |
| | 1796 | Lucrecia | RN | x | 24,75 |
| | 1798 | Rodeador | RN | x | 21,40 |
| | 1817 | Tourão | RN | x | 7,99 |
| Total | | | | | 1.062,47 |

Quadro 1.3 - Sistemas de Reservatórios da Bacia do Rio de Contas

| Sistema | Código ANA | Reservatório | UF | Visita de Campo | Capacidade (hm ³) |
|----------------|------------|-----------------------|----|-----------------|-------------------------------|
| Brumado/Contas | 5196 | Luiz Vieira (Brumado) | BA | x | 105,00 |
| | 5191 | Riacho do Paulo | BA | x | 53,80 |
| | 5178 | Truvisco | BA | x | 38,95 |
| Contas | 761 | Pedra | BA | x | 1.750,00 |
| Gavião/Contas | 689 | Anagé | BA | x | 255,63 |
| | 647 | Tremedal | BA | x | 23,75 |
| Total | | | | | 2.227,13 |

Quadro 1.4 - Sistemas de Reservatórios da Bacia do Rio Capibaribe

| Sistema | Código ANA | Reservatório | UF | Visita de Campo | Capacidade (hm ³) |
|--------------|------------|--------------------------------|----|-----------------|-------------------------------|
| Capibaribe | 1067 | Eng. Gercino Pontes (Tabo-cas) | PE | x | 11,22 |
| | 1064 | Jucazinho (Antônio G. Neto) | PE | x | 327,04 |
| | 965 | Poço Fundo | PE | x | 27,75 |
| Total | | | | | 366,01 |

Quadro 1.5 - Sistemas de Reservatórios da Bacia do Rio Curimataú

| Sistema | Código ANA | Reservatório | UF | Visita de Campo | Capacidade (hm ³) |
|--------------|------------|-------------------|----|-----------------|-------------------------------|
| Curimataú | 169 | Cacimba de Várzea | PB | x | 9,26 |
| | 170 | Curimataú | PB | x | 5,99 |
| | 171 | Poleiros | PB | x | 7,93 |
| Total | | | | | 23,19 |

Quadro 1.6 - Sistemas de Reservatórios da Bacia do Rio Curu

| Sistema | Código ANA | Reservatório | UF | Visita de Campo | Capacidade (hm ³) |
|--------------|------------|-----------------|----|-----------------|-------------------------------|
| Curu | 3123 | Caxitoré | CE | | 202,00 |
| | 3113 | Frios | CE | | 33,03 |
| | 2815 | General Sampaio | CE | | 322,20 |
| | 3207 | Jerimum | CE | | 20,50 |
| | 3096 | Pentecoste | CE | | 360,00 |
| | 2957 | São Mateus | CE | | 10,33 |
| | 2958 | Souza | CE | | 30,84 |
| | 3140 | Tejuçuoca | CE | | 28,11 |
| Total | | | | | 1.007,01 |

Quadro 1.7 - Sistemas de Reservatórios da Bacia do Rio Ipojuca

| Sistema | Código ANA | Reservatório | UF | Visita de Campo | Capacidade (hm ³) |
|--------------|------------|---|----|-----------------|-------------------------------|
| Ipojuca | 1078 | Belo Jardim (Ipojuca ou Pedro Moura Júnior) | PE | x | 29,24 |
| | 1076 | Engenheiro Severino Guerra (Bitury) | PE | x | 14,99 |
| | 1072 | Pão de Açúcar | PE | x | 35,00 |
| Total | | | | | 79,24 |

Quadro 1.8 - Sistemas de Reservatórios da Bacia do Rio Jacuípe-Paraguaçu

| Sistema | Código ANA | Reservatório | UF | Visita de Campo | Capacidade (hm ³) |
|-------------------|------------|---------------------|----|-----------------|-------------------------------|
| Jacuípe/Paraguaçu | 783 | França | BA | x | 31,19 |
| | 731 | São José do Jacuípe | BA | x | 357,00 |
| Total | | | | | 388,19 |

Quadro 1.9 - Sistemas de Reservatórios da Bacia do Rio Jaguaribe

| Sistema | Código ANA | Reservatório | UF | Visita de Campo | Capacidade (hm ³) |
|--------------------|------------|-------------------------|----|-----------------|-------------------------------|
| Banabuiú/Jaguaribe | 2495 | Banabuiú | CE | | 1.601,00 |
| | 2945 | Cedro | CE | | 122,00 |
| | 2712 | Cipoada | CE | | 86,09 |
| | 2483 | Fogareiro | CE | | 118,82 |
| | 3157 | Monsenhor Tabosa | CE | | 12,10 |
| | 2435 | Patu | CE | | 71,83 |
| | 2720 | Pedras Brancas | CE | | 434,05 |
| | 2779 | Pirabibu | CE | | 74,00 |
| | 2587 | Poço do Barro | CE | | 52,00 |
| | 2470 | Quixeramobim | CE | | 7,89 |
| | 2415 | São José II | CE | | 28,90 |
| | 2422 | Serafim Dias | CE | | 40,94 |
| | 2440 | Trapiá II | CE | | 18,19 |
| | 23123 | Umari | CE | | 35,04 |
| 2475 | Vieirão | CE | | 20,71 | |
| Jaguaribe | 1982 | Arneiroz II | CE | | 187,69 |
| | 1964 | Benguê | CE | | 19,56 |
| | 2496 | Canafístula | CE | | 13,11 |
| | 2089 | Canoas | CE | | 69,25 |
| | 2648 | Castanhão | CE | | 6.700,00 |
| | 2508 | Ema | CE | | 10,39 |
| | 1944 | Favelas | CE | | 30,10 |
| | 2414 | Jenipapeiro | CE | | 14,59 |
| | 2274 | Joaquim Távora | CE | | 26,77 |
| | 23127 | Mamoeiro | CE | | 20,49 |
| | 1962 | Muquém | CE | | 47,64 |
| | 2226 | Orós | CE | | 1.940,00 |
| | 1871 | Poço da Pedra | CE | | 52,00 |
| | 23124 | Riacho da Serra | CE | | 23,47 |
| | 2737 | Riacho do Sangue | CE | | 58,43 |
| | 1978 | Rivaldo de Carvalho | CE | | 20,13 |
| | 2868 | Santo Antônio de Russas | CE | | 24,00 |
| 2410 | Tigre | CE | | 3,51 | |
| 2302 | Trici | CE | | 16,50 | |

Continua

Continuação

| Sistema | Código ANA | Reservatório | UF | Visita de Campo | Capacidade (hm ³) |
|-------------------|--------------|----------------|----|-----------------|-------------------------------|
| | 1976 | Trussu | CE | | 301,00 |
| | 2299 | Várzea do Boi | CE | | 51,91 |
| Salgado/Jaguaribe | 2100 | Atalho | CE | | 108,25 |
| | 2117 | Cachoeira | CE | | 34,33 |
| | 23122 | Jenipapeiro II | CE | | 41,40 |
| | 2206 | Lima Campos | CE | | 66,38 |
| | 2115 | Manoel Balbino | CE | | 37,18 |
| | 2092 | Olho D'Água | CE | | 21,00 |
| | 2111 | Prazeres | CE | | 32,50 |
| | 2103 | Quixabinha | CE | | 31,78 |
| | 2084 | Thomás Osterne | CE | | 28,79 |
| | 2146 | Ubalzinho | CE | | 31,80 |
| | Total | | | | |

Quadro 1.10 - Sistemas de Reservatórios da Bacia do Rio Pacoti

| Sistema | Código ANA | Reservatório | UF | Visita de Campo | Capacidade (hm ³) |
|--------------|------------|-----------------|----|-----------------|-------------------------------|
| Pacoti | 2924 | Acarape do Meio | CE | | 29,59 |
| Total | | | | | 29,59 |

Quadro 1.11 - Sistemas de Reservatórios da Bacia do Rio Paraíba

| Sistema | Código ANA | Reservatório | UF | Visita de Campo | Capacidade (hm ³) |
|------------------|------------|--------------------------------|----|-----------------|-------------------------------|
| Monteiro/Paraíba | 1150 | Camalaú | PB | x | 46,44 |
| | 1153 | Poções | PB | x | 29,86 |
| Paraíba | 21661 | Acauã | PB | x | 253,00 |
| | 1158 | Cordeiro | PB | x | 69,97 |
| | 978 | Epitácio Pessoa | PB | x | 411,69 |
| | 994 | José Rodrigues | PB | x | 22,33 |
| | 1314 | Mucutú | PB | x | 25,37 |
| | 1143 | Santo Antônio | PB | x | 24,42 |
| | 1258 | Serra Branca II | PB | x | 14,04 |
| | 1027 | Soledade | PB | x | 27,06 |
| | 1236 | Sumé | PB | x | 44,86 |
| | 1281 | Taperoá II (Manoel Marcionilo) | PB | x | 15,15 |
| Total | | | | | 984,19 |

Quadro 1.12 - Sistemas de Reservatórios da Bacia do Rio Parnaíba

| Sistema | Código ANA | Reservatório | UF | Visita de Campo | Capacidade (hm ³) |
|------------------|----------------|------------------|----------|-----------------|-------------------------------|
| Canindé/Parnaíba | 1868 | Barreiras | PI | x | 52,80 |
| | 1874 | Bocaina | PI | x | 106,00 |
| | 1873 | Cajazeiras | PI | x | 24,70 |
| | 1864 | Estreito | PI | x | 23,88 |
| | 2750 | Ingazeiras | PI | x | 25,72 |
| | 5713 | Jenipapo | PI | x | 248,00 |
| | 5720 | Nonato | PI | x | 9,02 |
| | 2759 | Pedra Redonda | PI | x | 216,00 |
| | 5725 | Petrônio Portela | PI | x | 181,25 |
| | 23039 | Piaus | PI | x | 104,51 |
| | 5793 | Salinas | PI | x | 387,41 |
| | Longá/Parnaíba | 3379 | Jaburu I | CE | x |
| 3373 | | Joana | PI | x | 10,67 |
| 21662 | | Piracuruca | PI | x | 250,00 |
| Poti/Parnaíba | 2363 | Barra Velha | CE | | 99,56 |
| | 2369 | Carnaubal | CE | | 80,66 |
| | 2336 | Flor do Campo | CE | | 105,00 |
| | 2346 | Jaburu II | CE | | 106,00 |
| | 2373 | Realejo | CE | | 31,55 |
| | 2806 | Sucesso | CE | | 10,00 |
| Total | | | | | 2.210,87 |

Quadro 1.13 - Sistemas de Reservatórios da Bacia dos Rios Piancó-Piranhas-Açú

| Sistema | Código ANA | Reservatório | UF | Visita de Campo | Capacidade (hm ³) |
|---------------------|------------|----------------------|----|-----------------|-------------------------------|
| Cabugi/Piranhas | 1427 | Boqueirão de Angicos | RN | x | 16,02 |
| Espinharas/Piranhas | 1308 | Capoeira | PB | x | 53,45 |
| | 1315 | Farinha | PB | x | 25,74 |
| | 1316 | Jatobá I | PB | x | 17,52 |
| Paraú/Piranhas | 1611 | Beldroega | RN | x | 8,06 |
| | 1422 | Mendubim | RN | x | 76,35 |
| Pataxó/Piranhas | 1418 | Pataxó | RN | x | 15,02 |
| Peixe/Piranhas | 2128 | Lagoa do Arroz | PB | x | 80,22 |
| | 2139 | Pilões | PB | x | 13,00 |

Continua

Continuação

| Sistema | Código ANA | Reservatório | UF | Visita de Campo | Capacidade (hm³) |
|----------------------------------|------------|---|----|-----------------|------------------|
| Piancó/Piranhas | 1192 | Bruscas | PB | x | 38,21 |
| | 1208 | Cachoeira dos Alves | PB | x | 10,61 |
| | 1215 | Cachoeira dos Cegos | PB | x | 69,03 |
| | 1184 | Catolé I | PB | x | 10,50 |
| | 2102 | Condado | PB | x | 35,02 |
| | 1218 | Coremas | PB | x | 591,65 |
| | 1202 | Jenipapeiro (Buiu) | PB | x | 70,76 |
| | 23038 | Mãe D'água | PB | x | 568,00 |
| | 1193 | Piranhas | PB | x | 25,70 |
| | 1188 | Poço Redondo | PB | x | 8,93 |
| | 1204 | Queimadas | PB | x | 15,63 |
| | 1191 | Saco | PB | x | 97,49 |
| | 2099 | Santa Inês | PB | x | 26,12 |
| | 2101 | Serra Vermelha I | PB | x | 11,80 |
| | 1189 | Timbaúba | PB | x | 15,44 |
| Piranhas | 1734 | Baião | PB | x | 39,23 |
| | 2106 | Bartolomeu I | PB | x | 17,57 |
| | 23125 | Bom Jesus | PB | x | 2,00 |
| | 1663 | Carneiro | PB | x | 31,29 |
| | 1421 | Eng. Armando Ribeiro Gonçalves | RN | x | 2.400,00 |
| | 1223 | Engenheiro Arcoverde | PB | x | 30,59 |
| | 2116 | Engenheiro Ávidos | PB | x | 255,00 |
| | 1749 | Escondido | PB | x | 16,58 |
| | 1674 | Riacho dos Cavalos | PB | x | 17,70 |
| | 1687 | Santa Rosa | PB | x | 2,84 |
| | 1230 | São Gonçalo I | PB | x | 44,60 |
| 2107 | São José I | PB | x | 3,05 | |
| 1714 | Tapera | PB | x | 26,42 | |
| Santana/Piranhas Seridó/Piranhas | 1582 | Rio da Pedra | RN | x | 13,60 |
| | 1445 | Boqueirão de Parelhas (Ministro João Alves) | RN | x | 84,79 |
| | 1446 | Caldeirão de Parelhas | RN | x | 9,32 |
| | 1478 | Carnaúba | RN | x | 25,71 |
| | 1534 | Cruzeta | RN | x | 23,55 |
| | 1553 | Dourado | RN | x | 10,32 |

Continua

Continuação

| Sistema | Código ANA | Reservatório | UF | Visita de Campo | Capacidade (hm³) |
|--------------|------------|----------------------|----|-----------------|------------------|
| | 1515 | Itans | RN | x | 81,75 |
| | 1531 | Marechal Dutra | RN | x | 44,42 |
| | 1509 | Passagem das Traíras | RN | x | 49,70 |
| | 1481 | Sabugi | RN | x | 65,33 |
| | 1345 | São Mamede | PB | x | 15,79 |
| | 1502 | Várzea Grande | PB | x | 21,53 |
| | 1465 | Zangarelhas | RN | x | 7,92 |
| Total | | | | | 5.240,84 |

Quadro 1.14 - Sistemas de Reservatórios das Bacias Afluentes do Rio São Francisco

| Sistema | Código ANA | Reservatório | UF | Visita de Campo | Capacidade (hm³) |
|-----------------------|------------|--------------------------------------|----|-----------------|------------------|
| Brígida/SF | 1894 | Algodões | PE | | 58,48 |
| | 1936 | Chapéu | PE | | 188,00 |
| | 1893 | Eng. Camacho (Tamboril II) | PE | | 27,66 |
| | 1887 | Entremontes | PE | | 339,33 |
| | 1902 | Lagoa do Barro | PE | | 13,16 |
| | 1898 | Lopes II | PE | | 23,94 |
| Carnaíba de Dentro/SF | 5184 | Ceraima | BA | x | 58,00 |
| Curaçá/SF | 291 | Pinhões | BA | | 15,22 |
| Garças/SF | 1879 | Saco II | PE | x | 123,52 |
| Ipanema/SF | 1130 | Arcoverde | PE | | 16,80 |
| | 1126 | Ingazeira | PE | | 4,80 |
| Moxotó/SF | 1148 | Custódia (Marre-cos) | PE | | 21,62 |
| | 1134 | Eng. Francisco Saboia (Poço da Cruz) | PE | | 504,00 |
| Pajeú/SF | 1175 | Barra do Juá | PE | x | 71,47 |
| | 1185 | Brotas | PE | x | 19,64 |
| | 1183 | Cachoeira II | PE | x | 21,03 |
| | 1180 | Jazigo | PE | x | 15,54 |
| | 1173 | Rosário | PE | x | 34,99 |
| | 1178 | Serrinha II | PE | x | 311,08 |
| Verde Grande/SF | 4267 | Bico da Pedra | MG | x | 552,15 |
| | 5176 | Cova da Mandioca | BA | x | 120,74 |
| | 295 | Estreito | BA | x | 67,56 |
| Verde/SF | 5590 | Mirorós (Manoel Novais) | BA | | 158,40 |
| Total | | | | | 2.767,14 |

Quadro 1.15 - Sistemas de Reservatórios da Bacia do Rio Vaza Barris

| Sistema | Código ANA | Reservatório | UF | Visita de Campo | Capacidade (hm ³) |
|--------------|------------|--------------|----|-----------------|-------------------------------|
| Vaza-Barris | 757 | A dustina | BA | x | 13,43 |
| | 287 | Cocorobó | BA | x | 245,38 |
| | 23126 | Gasparino | BA | x | 48,61 |
| Total | | | | | 307,41 |





3 Escopo dos Estudos

3 Escopo dos Estudos

O escopo básico dos estudos realizados compreendeu exaustivos levantamentos de dados, em escritório e em campo, o refinamento do balanço hídrico dos reservatórios e a definição de diretrizes e metodologias para subsidiar o estabelecimento de regras operativas para os sistemas de reservatórios abordados, contemplando estimativas de oferta hídrica e demandas associadas aos 204 reservatórios e seus trechos de rios situados a jusante, criação de base de dados e aplicação de ferramenta de suporte à decisão.

Para a execução do escopo dos trabalhos, foram definidos 10 Blocos Metodológicos, compostos por atividades específicas, de modo a sistematizar o extenso rol de tarefas previstas no escopo dos estudos, de acordo com suas especificidades e afinidades de conteúdo, conforme descrição:

- ❖ Bloco 1 – Serviços Iniciais: conjunto das tarefas iniciais necessárias para dar início aos trabalhos e possibilitar o andamento dos serviços conforme o cronograma previsto, a partir de alinhamentos conjuntos entre a ANA e a ENGECORPS
- ❖ Bloco 2 – Levantamento e Análise de Sistemas Existentes: levantamento e análise dos Sistemas de Informação e Sistemas de Suporte à Decisão já utilizados pela ANA, com o objetivo de identificar as possíveis interfaces entre estudo e as práticas já existentes no ambiente de produção da ANA, bem como do levantamento e análise dos sistemas existentes nos estados, com vistas ao diagnóstico e identificação de suas potenciais interfaces com os estudos.
- ❖ Bloco 3 – Levantamento de Estudos e Bases de Dados Existentes: coleta e avaliação dos dados e estudos disponíveis relacionados aos trabalhos, constituindo a base fundamental de dados e informações que orientaram o prosseguimento dos estudos, bem como os levantamentos de campo necessários.
- ❖ Bloco 4 - Simulações e Estimativas Preliminares de Demandas: realização de simulações preliminares de demandas hídricas com emprego da ferramenta de Suporte à Decisão que foi utilizada nos trabalhos (o modelo LabSid/AcquaNet), com o objetivo básico de propiciar maior clareza quanto aos dados de entrada necessários ao uso da ferramenta, de modo a orientar os levantamentos de campo posteriores, bem como prover uma sensibilidade inicial sobre a ordem de grandeza das demandas totais supridas pelos reservatórios em estudo.
- ❖ Bloco 5 - Refinamento das Informações dos Reservatórios e Usos: elaboração de uma base de dados e informações detalhada sobre as principais demandas de recursos hídricos associadas aos reservatórios, apoiando-se no refinamento das informações coletadas no Bloco 3 a partir dos levantamentos complementares de campo nos 120 reservatórios predeterminados pela ANA.
- ❖ Bloco 6 - Análise da Disponibilidade Hídrica: análise da disponibilidade hídrica quantitativa dos reservatórios, abrangendo a elaboração de estudos pluviométricos, evaporimétricos e fluviométricos que, associados às estimativas de demandas obtidas no Bloco 5, forneceram a base de informações necessárias para a posterior realização do balanço hídrico dos sistemas de reservatórios.
- ❖ Bloco 7 - Determinação do Balanço Hídrico: simulação de balanço hídrico nos sistemas interligados que englobam os 204 reservatórios em estudo, considerando a oferta hídrica e as demandas pelos diferentes usos da água avaliadas nas etapas anteriores. Tais atividades foram desenvolvidas com o emprego da ferramenta de suporte a decisão selecionada (LabSid/AcquaNet).
- ❖ Bloco 8 – Regras Operativas e Gestão do Risco: quantificação de elementos técnicos necessários à definição de regras operativas a serem utilizadas na gestão dos 204 reservatórios, em situações de normalidade e de escassez hídrica.
- ❖ Bloco 9 – Diretrizes de Monitoramento e Controle: definição de ações e medidas de monitoramento e controle para possibilitar a implementação, com eficiência e segurança, das regras operativas e da gestão de risco definidas no Bloco 8.
- ❖ Bloco 10 - Banco de Dados e Ferramenta de Suporte à Decisão: estruturação e realização de carga do banco de dados do projeto e implantação deste banco e do Sistema de Suporte à Decisão no ambiente de produção da ANA.



4 Metodologias e Principais Resultados Disponíveis

4 Metodologias e Principais Resultados Disponíveis

4.1 Caracterização dos Reservatórios

4.1.1 Metodologia Utilizada

A caracterização dos 204 reservatórios estudados foi realizada em duas etapas:

- ❖ Por meio de dados secundários, identificados em inúmeras fontes de consulta disponíveis na web e/ou indicadas diretamente pela ANA;
- ❖ Mediante visitas de campo aos 120 reservatórios pré-selecionados pela ANA e visitas institucionais às entidades responsáveis pela operação dos empreendimentos ou usuárias de recursos hídricos, para ajustes e complementações dos dados secundários previamente obtidos.

Em ambas as etapas, foram preenchidas Fichas Técnicas, contendo informações detalhadas sobre os barramentos e seus reservatórios; tais fichas foram elaboradas em versão básica quando do início dos trabalhos e foram sendo aprimoradas na medida em que os levantamentos de campo avançavam, com o objetivo de gerar o maior número de informações possível sobre os reservatórios, tanto os inspecionados in loco como os caracterizados com dados secundários, considerando as suas especificidades.

Ao longo do preenchimento das fichas, algumas discrepâncias foram observadas entre as informações levantadas nas fontes de consulta utilizadas, devido, principalmente, à indisponibilidade dos projetos originais das barragens e seus reservatórios. Apesar da dificuldade encontrada no processo de levantamento de dados, empreendeu-se grande esforço para eliminar ao máximo as divergências e corrigir distorções, visando obter fichas consolidadas e com informações precisas sobre as características dos açudes.

Visando um aprimoramento contínuo das informações disponíveis sobre os reservatórios, recomenda-se a atualização periódica das fichas elaboradas, completando eventuais lacunas, sobretudo para os 84 reservatórios que não foram objeto de levantamentos de campo no presente estudo. É também de grande importância o registro de toda ampliação realizada na rede de monitoramento nas fichas dos reservatórios impactados, principalmente no que diz respeito aos dispositivos de medição de vazão afluente e efluente e nível d'água dos reservatórios.

Como possibilidade de complementação das fichas, pode-se ainda considerar a futura integração dos dados aqui levantados com informações específicas sobre a qualidade da água dos reservatórios ou ainda sobre a segurança das respectivas barragens, a serem levantadas em estudos posteriores.

4.1.1.1 Caracterização dos Reservatórios com Base em Dados Secundários

Dentre as fontes de consulta utilizadas para o preenchimento das Fichas Técnicas com base em dados secundários, podem-se citar:

- ❖ Agência Nacional de Águas – ANA: foram consultados, entre outros, estudos e planos de bacias hidrográficas da área de estudo; base de dados de outorgas; cadastros de barragens; dados de monitoramento de reservatórios efetuado pela ANA;
- ❖ Órgãos estaduais envolvidos com a gestão de recursos hídricos; entre outros: Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba - AESA; Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC; Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH; Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME; Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - INEMA/BA; Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas - SEMARH/AL; Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado da Bahia - SEMA/BA; Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte - SEMARH/RN; Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará – SHR/CE; Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos do Estado de Pernambuco - SRHE/PE;
- ❖ Órgãos federais envolvidos com a gestão de recursos hídricos e/ou com a operação dos reservatórios: Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba - CODEVASF; Departamento Nacional de Obras

Contra as Secas - DNOCS; Ministério da Integração Nacional - MIN; Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente - SRH/MMA;

❖ Artigos científicos, dissertações de Mestrado, teses de Doutorado e estudos disponíveis no acervo da ENGE-CORPS.

4.1.1.2 Caracterização dos Reservatórios com Base em Levantamentos de Campo

Os levantamentos de campo foram realizados no período de 21/01/15 a 24/07/15: nos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, de 21/01/2015 a 06/05/2015; no Piauí, de 14/04/15 a 02/05/15; em Pernambuco, de 26/03/15 a 21/05/15; no Ceará, de 18/04/15 a 22/04/15; e na Bahia e em Minas Gerais, de 13/04/15 a 24/07/15.

Os levantamentos tiveram como finalidade básica a identificação e a caracterização de cada reservatório e das demandas fixas e eventuais a eles associadas, bem como dos dados relacionados com a sua oferta hídrica.

As características das barragens, de suas tomadas d'água e dos sistemas de medição de vazões e volumes constituíram outros elementos de identificação em campo. A situação de preservação dessas estruturas foi igualmente identificada com amplo registro fotográfico e descritivo.

Além das inspeções in loco dos reservatórios, visando à complementação ou confirmação de dados, os trabalhos de campo contemplaram também visitas aos escritórios regionais e locais das entidades responsáveis pela operação das barragens, visitas a usuários das águas armazenadas, tais como os prestadores dos serviços de saneamento, associações de irrigantes, sindicatos de trabalhadores rurais, EMATER – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural, prefeituras municipais etc.

4.1.2 Resultados Disponíveis

Os resultados das atividades desenvolvidas para caracterização dos reservatórios se encontram consubstanciados nas Fichas Técnicas elaboradas para os 204 açudes estudados.

Essas fichas contêm inúmeros dados, representativos das seguintes informações principais:

| Dados Gerais |
|---|
| Localização do reservatório, definida por coordenadas geográficas, incluindo curso d'água, bacia hidrográfica e município; |
| Volumes útil, máximo e mínimo operacional; |
| Curva cota x área x volume; |
| Características da barragem principal e auxiliar (quando aplicável); características do vertedouro principal e auxiliar (quando aplicável); |
| Características da tomada d'água e dos dispositivos existentes; |
| Vazão regularizada. |
| Monitoramento |
| Postos fluviométricos existentes a montante e a jusante e entidade responsável pela sua operação; |
| Descrição do sistema de medições de nível do açude e de vazões defluentes; |
| Séries históricas de níveis e de dados operativos (disponíveis em meio digital*). |
| Dados Hidroclimáticos |
| Vetores de evaporação e de precipitação; |
| Série de precipitação média da bacia incremental (disponíveis em meio digital); |
| Série de vazões naturais da bacia incremental (disponíveis em meio digital). |

* Dados disponíveis em: www.snirh.gov.br.

Demandas Hídricas (abastecidas pelo reservatório e por seus trechos de jusante)

Abastecimento humano;

Irrigação;

Abastecimento industrial.

Registro Fotográfico (no caso dos 120 reservatórios objeto de levantamentos de campo)

Reservatório;

Barramento e seus dispositivos de controle;

Vertedouro;

Outros aspectos de interesse.

Contatos Realizados (no caso dos 120 reservatórios objeto de levantamentos de campo)

Nome;

Telefone;

E-mail.

As fichas dos reservatórios estão apresentadas nos Anexos A a E.

As Figuras 3.1 a 3.3 ilustram os resultados dos levantamentos de campo realizados.



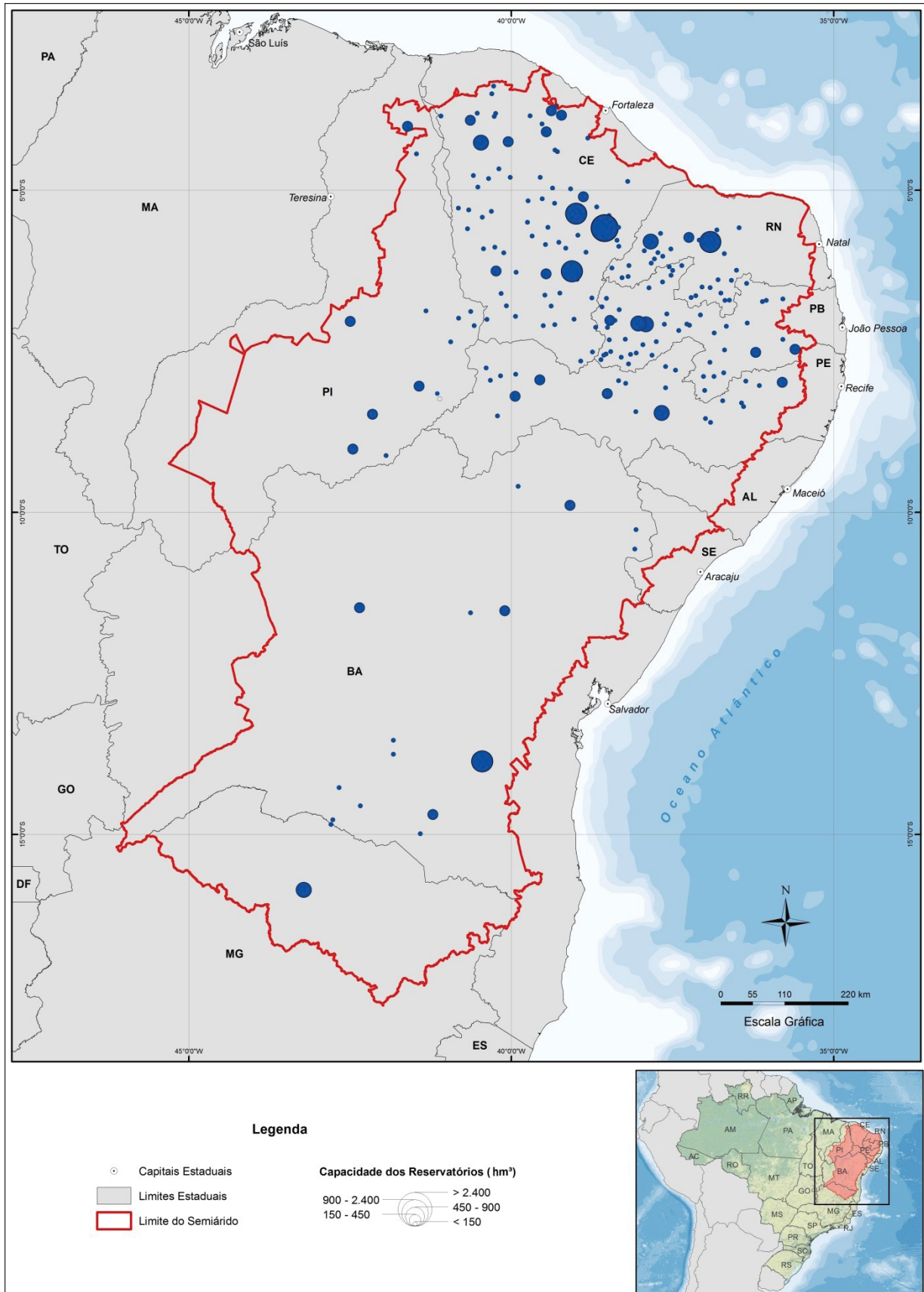
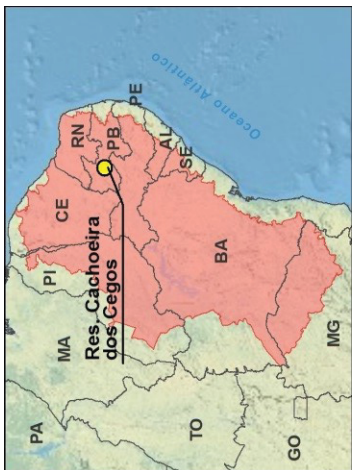


Figura 3.1 - Capacidades de Armazenamento Consolidadas dos Reservatórios



Reservatório Cachoeira dos Cegos

| | |
|---|--|
| Rio | Riacho da Goiabeira |
| Bacia | Piranhas |
| Município/UF | Catingueira/PB |
| Responsável Operação | AESA |
| Volume Máximo (hm³) | 69,00 |
| Volume Mínimo (hm³) | 0,03 |
| Material da Barragem | Terra (homogênea) |
| Tomada d'água - Abastecimento de Demandas | Bombas sobre flutuantes e Caminhões-pipa |
| Tomada d'água - Liberação para Jusante | Comporta, tubulação e registro |
| Vazão Regularizada 99% (l/s) | 284 |
| Cenário Demandas Totais (l/s) | 35 |
| Tipos de Demandas | Abastecimento Urbano Abastecimento Rural Dessedimentação Animal Irrigação |



Figura 3.2 - Caracterização dos Reservatórios - Reservatório Cachoeira dos Cegos, PB

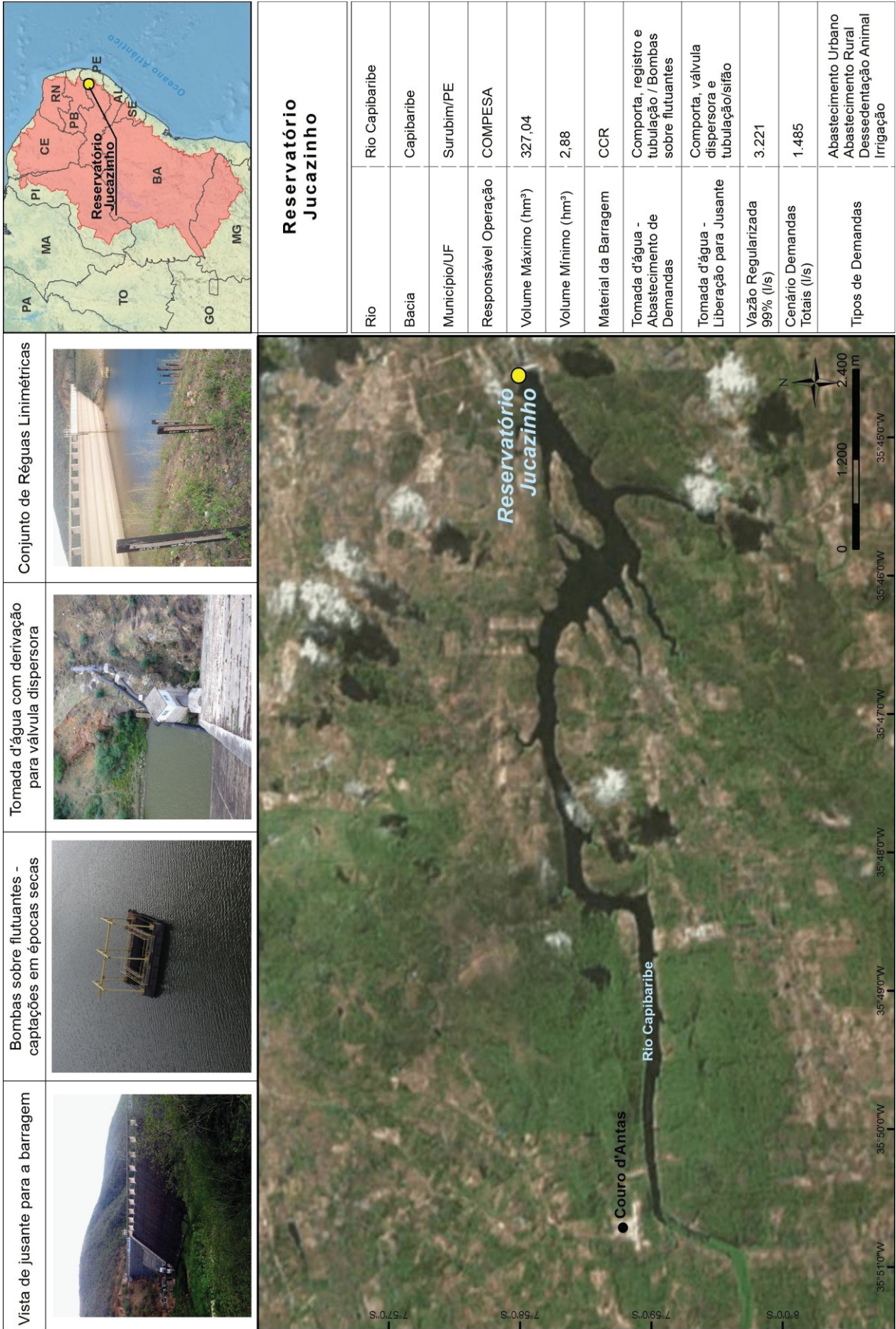


Figura 3.3 - Caracterização dos Reservatórios - Reservatório Jucazinho, PE

4.2 Levantamento das Disponibilidades Hídricas

4.2.1 Metodologia Utilizada

O levantamento das disponibilidades hídricas da região de interesse contemplou estudos pluviométricos, evapori-métricos e fluviométricos.

4.2.1.1 Estudos Pluviométricos

Levantamento e Seleção dos Postos Pluviométricos

Os dados pluviométricos utilizados nos estudos foram obtidos do Hidroweb, da ANA, e totalizaram 2.357.539 registros com valores diários de precipitação de um total de 5.381 postos pluviométricos, localizados em três Regiões Hidrográficas, conforme relacionado no Quadro 3.1.

Quadro 3.1- Base de Dados Pluviométricos Utilizada

| Região Hidrográfica (Resolução CNRH no 32/2003) | Número da RH | Número de Postos Pluvimétricos | Número de Registros |
|---|--------------|--------------------------------|---------------------|
| Atlântico, Trecho Norte/Nordeste | 3 | 2.263 | 881.015 |
| Rio São Francisco | 4 | 1.200 | 551.227 |
| Atlântico, Trecho Leste | 5 | 1.918 | 925.297 |
| Total | 5.381 | 2.357.539 | |

O Quadro 3.2 resume as estatísticas obtidas para as séries de dados pluviométricos disponíveis para as três Regiões Hidrográficas.

Quadro 3.2 - Estatísticas dos Dados Pluviométricos Analisados

| Estatísticas | RH 3 2.263 séries | RH4 1.200 séries | RH5 1.918 séries |
|------------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Extensão média das séries (anos) | 34,91 | 32,91 | 32,76 |
| Série mais longa (anos) | 164 | 149 | 100 |
| Série mais curta (anos) | 1 | 1 | 1 |
| Extensão mediana (anos) | 29 | 31 | 29 |
| Dado mais recente dentre as séries | 01/08/2014 | 01/07/2014 | 01/06/2014 |
| % de séries com mais de 30 anos | 46,88 | 51,83 | 46,92 |
| % total de falhas | 14,00 | 9,51 | 8,97 |
| Menor % individual de falhas | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Maior % individual de falhas | 98,90 | 92,55 | 97,91 |
| % de séries com até 10% de falhas | 60,54 | 70,17 | 74,69 |
| % de séries com até 20% de falhas | 76,18 | 86,00 | 85,39 |
| % de séries com ano final > 2000 | 53,60 | 31,83 | 31,26 |
| % de séries com ano final > 2010 | 38,36 | 28,08 | 25,68 |

❖ Para seleção dos postos pluviométricos utilizados nos estudos, foram adotados os seguintes parâmetros de escolha:

❖ Estações com início de operação anterior a 1960;

❖ Estações com pelo menos 10 anos de dados disponíveis; e

❖ Análise visual das discontinuidades (falhas) presentes nas séries que foram habilitadas de acordo com os dois critérios acima e eventual exclusão das séries que apresentaram ocorrência de mais de 2 anos de lacunas contínuas.

Essa seleção resultou nos seguintes dados (Quadro 3.3 e Figura 3.4):

Quadro 3.3 - Postos Pluviométricos Utilizados nos Estudos

| Região Hidrográfica | Número de Postos Seleccionados |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| 3: Atlântico - Trecho Norte/Nordeste | 996 |
| 4: Rio São Francisco | 613 |
| 5: Atlântico - Trecho Leste | 531 |
| Total | 2.140 |



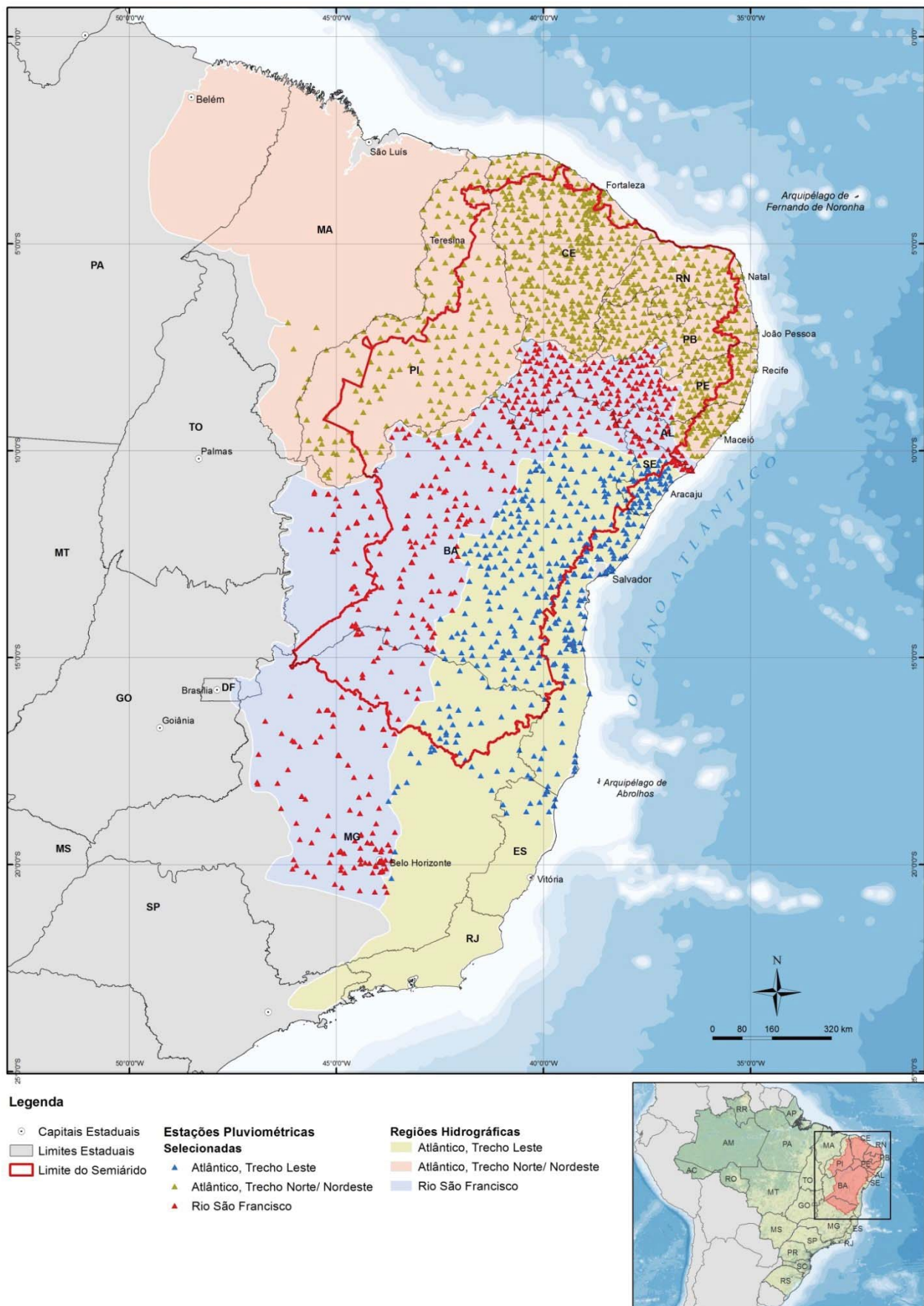


Figura 3.4 - Rede de Monitoramento Pluviométrico - Estações Seleccionadas

Tratamento dos Dados

Os dados dos postos pluviométricos selecionados foram tratados da seguinte forma:

- ❖ Análise de consistência, para preenchimento de falhas e extensão das séries pluviométricas, realizada pelo método do Vetor Regional, complementado por abordagens em nível anual, mensal e diário. Para as três RHs, o período de ajuste do Vetor Regional se inseriu entre os anos de 1913 e 2013, variando seu início de bacia para bacia hidrográfica;
- ❖ Análise de estacionaridade, realizada por três procedimentos para a investigação da estacionariedade das séries temporais de precipitação em nível anual: análise de tendência linear nas séries plotadas ao longo do tempo; Teste t Student; e Teste Wilcoxon. Nos dois últimos casos, a hipótese nula foi testada e a aceitação da hipótese nula implicou a rejeição da hipótese alternativa;
- ❖ Preenchimento de falhas e extensão das séries pluviométricas, realizada com emprego de análise fatorial por componentes principais;
- ❖ Definição de regiões de pluviometria homogêneas, pelo método conhecido como IQD (Inverso do Quadrado da Distância), que, devido ao uso do expoente 2, fornece uma estimativa dos valores baseando-se nos pesos ponderados aos postos mais próximos; ou seja, quanto mais próximo do ponto a ser estimado estiver o posto, maior será o peso associado a este e, conseqüentemente, maior será sua influência na estimativa;
- ❖ Definição das séries de precipitação média sobre as bacias hidrográficas controladas pelos reservatórios de interesse, realizada com base no Método da Malha. Os coeficientes de ponderação (coeficientes de Thiessen) calculados para cada reservatório e cada ano foram aplicados às correspondentes séries pluviométricas consistidas para a obtenção de cada uma das séries médias de chuva diária sobre as áreas não controladas.

Definição do Vetor de Precipitações Mensais Incidentes Sobre a Bacia Hidráulica de Cada Reservatório de Interesse

Os vetores de precipitação média sobre o lago dos reservatórios foram considerados no presente estudo para fins de balanço hídrico, tendo como espaço de cômputo a área do espelho de água em cada intervalo temporal considerado.

Os postos pluviométricos dos quais se aduziram as médias mensais foram aqueles que atenderam a duas condições, a saber:

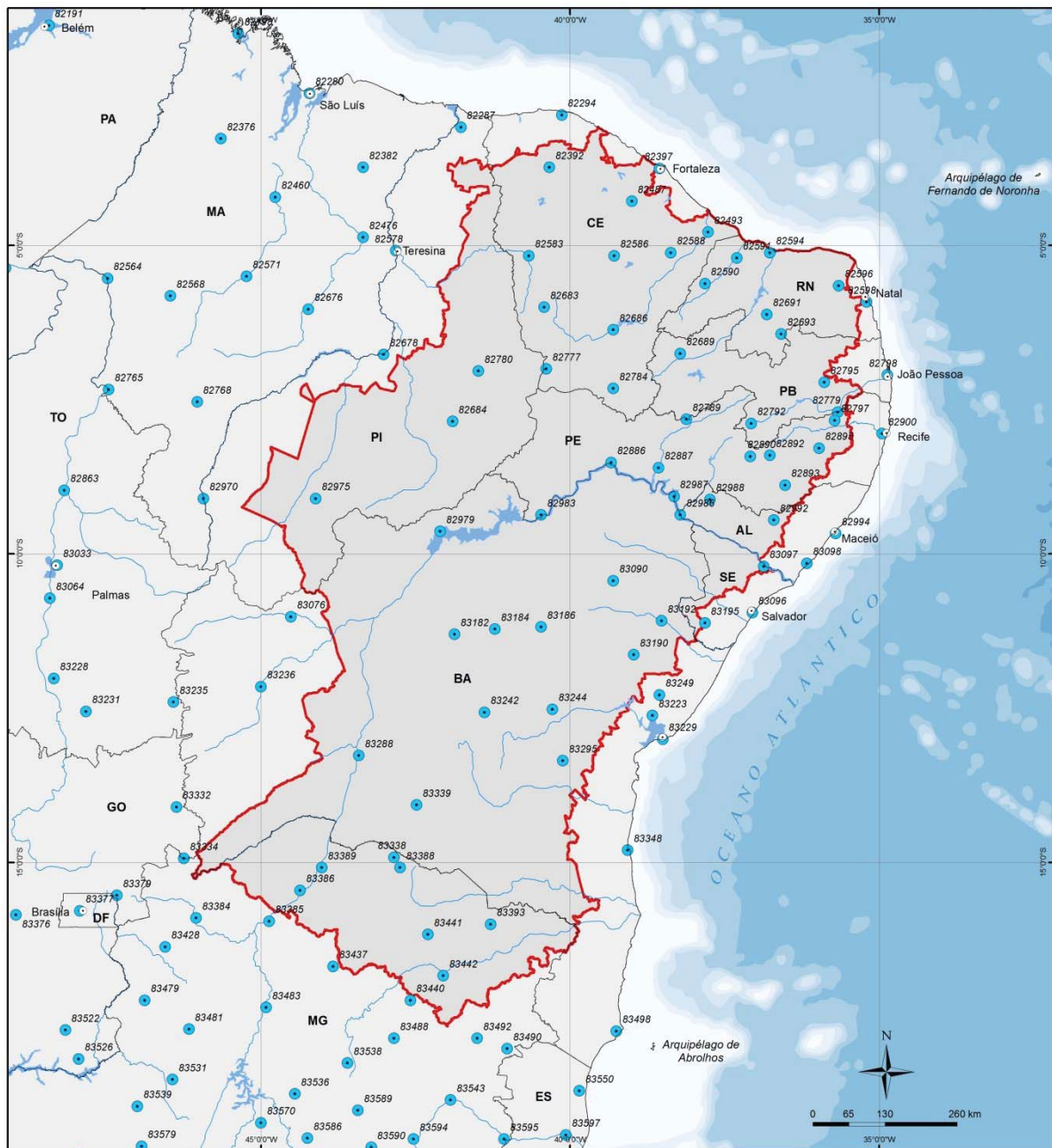
- ❖ Extensão da série de dados disponíveis: foram descartados os postos com menos de 30 anos de dados, conferindo assim à escolha necessária significância estatística;
- ❖ Proximidade do lago e representatividade: para cada um dos 204 reservatórios, foi adotado o vetor de chuvas médias do posto mais próximo ao centroide do espelho d'água, verificando-se, na escolha, a inexistência de efeitos locais (relevo: ocorrência de serras, depressões topográficas sob efeito de "sombra" pluviométrica) dotados de suficiência capaz de comprometer a representatividade em relação aos fins pretendidos.

Paralelamente, foram também gerados, para cada mês do ano, os mapas da precipitação acumulada, a partir de interpolação das informações disponíveis nas Normais de Precipitação Acumulada 1961-1990 do INMET (Figura 3.5)

Tais dados foram plotados em um sistema de coordenadas geográficas, e convertidos para o datum SIRGAS2000. Na sequência, foram gerados os 12 mapas mensais, ou seja, foram realizadas 12 interpolações, com emprego do Método da Mínima Curvatura, uma para cada mês do ano. O mapa da precipitação total anual foi então obtido através da soma destes 12 rasters gerados pela interpolação dos dados mensais.

A confecção dos mapas mensais de precipitação baseou-se na interpolação dos dados de 338 estações cadastradas, sendo que destas, 56 estações estão inseridas no Semiárido nordestino. Contudo, foi utilizado o conjunto de dados disponíveis para todo o território nacional, buscando-se minimizar o efeito de borda típico nas interpolações.

Por fim, os valores mensais representativos da precipitação acumulada no local de cada reservatório foram obtidos a partir do cruzamento do centroide do espelho d'água com os respectivos mapas mensais.



Legenda

- Capitais Estaduais
- ▭ Limites Estaduais
- ▭ Limite do Semiárido
- Hidrografia
- Massa d'água
- Estação Meteorológica

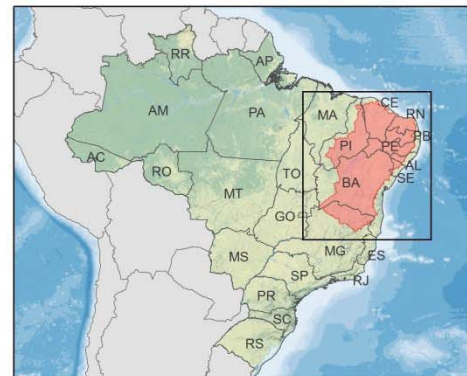


Figura 3.5 - Rede de Monitoramento NCB 1961-1990, INMET Estações com Normais de Precipitação Acumulada Disponíveis

4.2.1.2 Estudos Evaporimétricos

Para os estudos evaporimétricos, foram utilizados os dados das Normais Climatológicas de Evaporação Total do INMET, disponíveis para o período 1961-1990, na região do Semiárido e entorno (Figura 3.6).

Para cada mês do ano, foram gerados os mapas da evaporação total mensal, a partir de interpolação das informações disponíveis do INMET, com emprego do método da Mínima Curvatura.

Os dados das Normais de Evaporação foram plotados em um sistema de coordenadas geográficas, e convertidos para o datum SIRGAS2000. Na sequência, foram gerados os 12 mapas mensais, ou seja, foram realizadas 12 interpolações, uma para cada mês do ano. O mapa da evaporação total anual foi então obtido através da soma destes 12 rasters gerados pela interpolação dos dados mensais.

A confecção dos mapas mensais de evaporação baseou-se na interpolação dos dados de 327 estações cadastradas, sendo que destas, 64 estações estão inseridas no Semiárido nordestino. Apesar da área de inserção dos reservatórios de interesse ser limitada pelo polígono do Semiárido, foi utilizado o conjunto de dados disponíveis para todo o território nacional, minimizando-se com isso o efeito de borda típico nas interpolações.

Por fim, os valores mensais representativos da evaporação no local de cada reservatório foram obtidos a partir do cruzamento do centroide do espelho d'água com os respectivos mapas mensais.





Legenda

- Capitais Estaduais
- ▭ Limites Estaduais
- ▭ Limite do Semiárido
- Hidrografia
- Massa d'água
- Estação Meteorológica

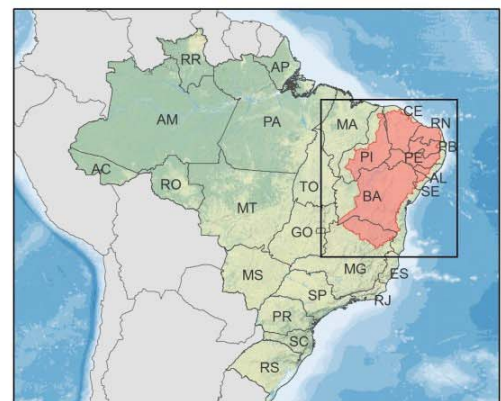


Figura 3.6 - Rede de Monitoramento NCB 1961-1990, INMETEstações com Normais de Evaporação Total Disponíveis

4.2.1.3 Estudos Fluvimétricos

Os estudos fluvimétricos foram realizados mediante a adoção dos procedimentos metodológicos principais resumidamente descritos em continuação.

Levantamento e Seleção dos Dados Fluvimétricos

A rede de monitoramento fluvimétrico inicialmente considerada para os estudos foi a totalidade das estações encontradas no acervo HIDROWEB, da ANA, correspondente às três Regiões Hidrográficas em que estão localizados os reservatórios de interesse, no Semiárido nordestino, envolvendo os estados da Bahia, Ceará, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí e Rio Grande do Norte (Quadro 3.4).

Quadro 3.4 - Base de Dados Fluvimétricos Utilizada

| Região Hidrográfica (Resolução CNRH no 32/2003) | Número da RH | Número de Postos Fluvimétricos | Número de Registros |
|---|--------------|--------------------------------|---------------------|
| Atlântico, Trecho Nor-te/Nordeste | 3 | 291 | 123.917 |
| Rio São Francisco | 4 | 338 | 151.818 |
| Atlântico, Trecho Leste | 5 | 573 | 331.353 |
| Total | | 1.202 | 607.088 |

O Quadro 3.5 resume as estatísticas obtidas para as séries de dados fluvimétricos disponíveis para as três Regiões Hidrográficas.

Quadro 3.5 - Estatísticas dos Dados Fluvimétricos Analisados

| Estatísticas | RH3 | Número de Postos Fluvimétricos | Número de Registros |
|------------------------------------|------------|--------------------------------|---------------------|
| 243 Séries | RH4 | 291 | 123.917 |
| 338 Séries | RH5 | 338 | 151.818 |
| 573 Séries | 5 | 573 | 331.353 |
| Extensão média das séries (anos) | 8,03 | 6,95 | 9,45 |
| Série mais longa (anos) | 105 | 50 | 69 |
| Série mais curta (anos) | 1 | 1 | 1 |
| Extensão mediana (anos) | 8 | 7 | 9 |
| Dado mais recente dentre as séries | 01/07/2014 | 01/06/2014 | 01/06/2014 |
| % de séries com mais de 30 anos | 2,47 | 1,05 | 1,45 |
| % total de falhas | 16,59 | 10,68 | 11,31 |
| Menor % individual de falhas | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Maior % individual de falhas | 84,04 | 96,97 | 87,50 |
| % de séries com até 10% de falhas | 83,95 | 76,32 | 84,39 |
| % de séries com até 20% de falhas | 90,12 | 86,32 | 90,17 |
| % de séries com ano final > 2000 | 98,77 | 100,00 | 99,71 |
| % de séries com ano final > 2010 | 65,43 | 92,11 | 92,20 |

Para seleção dos postos fluvimétricos utilizados nos estudos, foram adotados os seguintes parâmetros de escolha:

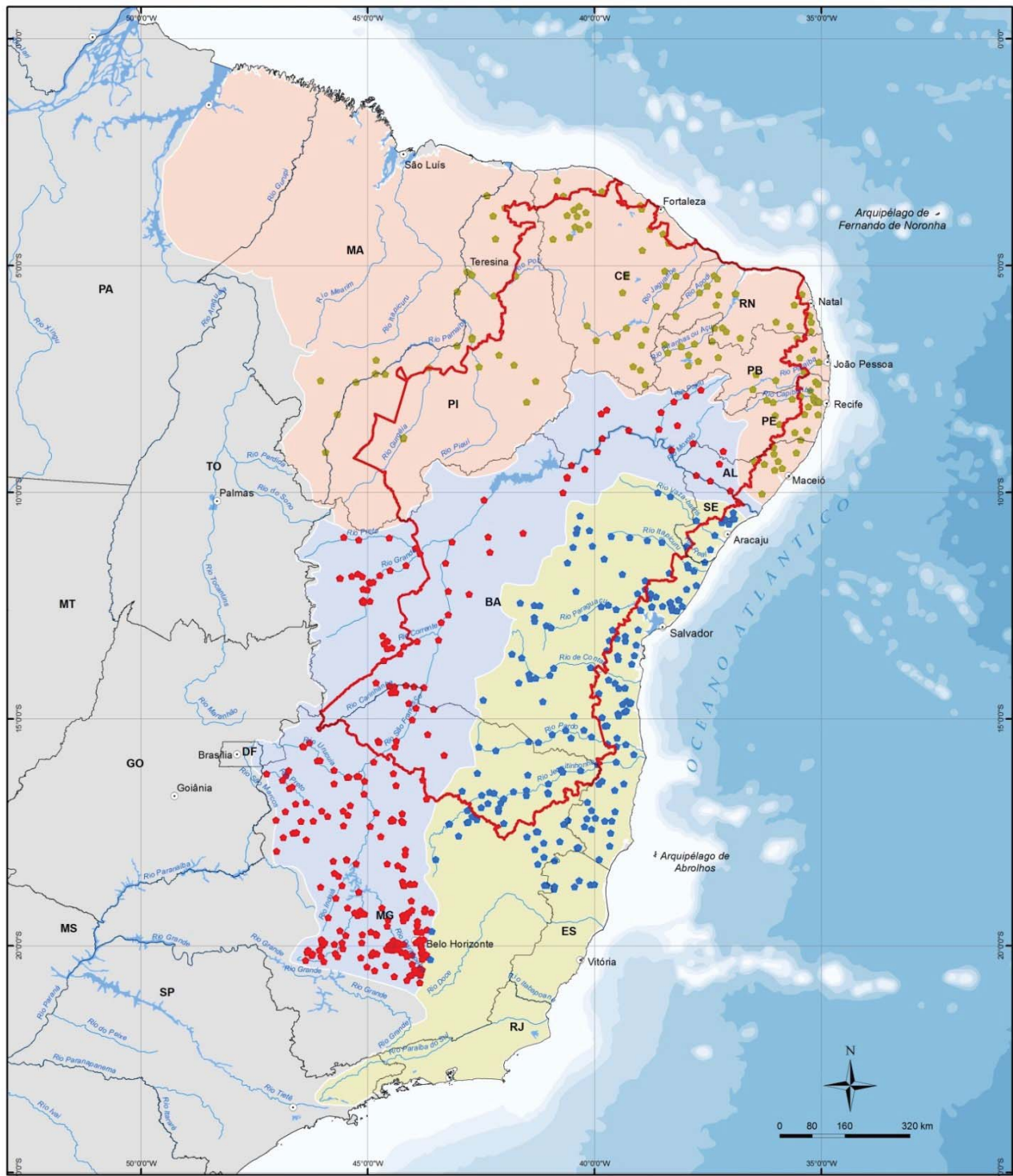
- ❖ Estações com início de operação anterior a 1990;
- ❖ Estações com pelo menos 4 anos de dados disponíveis;
- ❖ Análise visual das discontinuidades (falhas) presentes nas séries que foram habilitadas de acordo com os dois critérios acima e eventual exclusão das séries que apresentaram mais de 2 anos de lacunas contínuas.

Essa seleção resultou nos seguintes dados (Quadro 3.6 e Figura 3.7):

Quadro 3.6 - Postos Fluviométricos Utilizados nos Estudos

| Região Hidrográfica | Número de Postos |
|--------------------------------------|------------------|
| 3: Atlântico - Trecho Norte/Nordeste | 135 |
| 4: Rio São Francisco | 288 |
| 5: Atlântico - Trecho Leste | 191 |
| Total | 614 |





Legenda

- | | | |
|-----------------------|--|-------------------------------------|
| ○ Capitais Estaduais | Estações Fluviométricas Seleccionadas | Regiões Hidrográficas |
| ▭ Limites Estaduais | ● Atlântico, Trecho Leste | ■ Atlântico, Trecho Norte/ Nordeste |
| ▭ Limite do Semiárido | ● Atlântico, Trecho Norte/ Nordeste | ■ Rio São Francisco |
| ~ Hidrografia | ● Rio São Francisco | |
| ■ Massa d'água | | |



Figura 3.7 - Rede de Monitoramento Fluviométrico - Estações Seleccionadas

Tratamento dos Dados

Os dados dos postos fluviométricos selecionados foram tratados da seguinte forma:

- ❖ Análise de consistência, realizada com emprego do software denominado Sistema para Análise de Dados Hidrológicos - SiADH, desenvolvido pela ANA, disponível no portal da Agência. O software possibilita a elaboração de diversos gráficos e tabelas referentes às análises de vazões e cotas, permitindo ao usuário identificar inconsistências e possíveis incoerências nos dados hidrológicos;
- ❖ Análise de estacionaridade, realizada por três procedimentos para a investigação da estacionariedade das séries temporais de vazões em nível de médias anuais: análise de tendência linear nas séries plotadas ao longo do tempo; Teste t Student; e Teste Wilcoxon. Nos dois últimos casos, a hipótese nula foi testada e a aceitação da hipótese nula implicou a rejeição da hipótese alternativa;
- ❖ Preenchimento e extensão das séries fluviométricas, realizada com base na aplicação do próprio modelo chuva vs. vazão e aplicação de regressão linear múltipla, em particular, quando do preenchimento de dados em nível mensal, lançando-se mão de postos adjacentes como variáveis independentes, preferencialmente aqueles localizados a montante ou a jusante da estação para a qual se deseja o preenchimento;
- ❖ Calibração e validação de modelo chuva-vazão, para geração de séries fluviométricas pseudo-históricas. O modelo selecionado foi o Modelo Hidrológico Auto Calibrável – MODHAC, desenvolvido e calibrado especificamente para a região semiárida brasileira, com passo de cálculo diário e totalização mensal. Sua concepção supõe três reservatórios representando o armazenamento superficial, subsuperficial e subterrâneo (Figura 3.8). O processo de cálculo emula um balanço hídrico diário com base na precipitação, na taxa de evaporação e no inter-relacionamento entre os citados reservatórios. A Figura 3.9 mostra a distribuição espacial dos postos fluviométricos utilizados para calibração do MODHAC;
- ❖ Definição das séries de vazões naturais médias mensais afluentes aos reservatórios, a partir da aplicação do MODHAC; e
- ❖ Definição das curvas de regularização dos reservatórios (garantias de 70%, 80%, 90%, 95% e 99%), realizada mediante a resolução da equação do balanço hídrico, que contabiliza todas as afluências ou aportes aos reservatórios, bem como todas as retiradas ou eventuais vertimentos / evaporações:

$$Vr_i = Vr_{i-1} + Va_i + Vp_i - Ve_i - Vv_i - Qab_i$$

Com:

- ♦ Vr_i = volume armazenado no mês i
- ♦ Vr_{i-1} = volume armazenado no mês i-1
- ♦ Va_i = volume afluente ao reservatório no mês i
- ♦ Vp_i = volume precipitado diretamente sobre o espelho d'água no mês i
- ♦ Ve_i = volume evaporado no reservatório no mês i
- ♦ Vv_i = volume vertido no mês i
- ♦ Qab_i = volume regularizado ou retirado no mês i

No caso de simulação integrada do sistema de reservatórios, e, que a topologia do sistema é considerada, os eventuais volumes vertidos por uma dada barragem geralmente constituem volumes afluentes aos reservatórios localizados a jusante. Nesse caso, a equação do balanço hídrico adquire a seguinte forma:

$$Vr_i = Vr_{i-1} + Va_i + Vp_i + Vvm_i - Ve_i - Vv_i - Qab$$

Onde:

- ♦ Vvm_i = volume vertido a montante no mês i

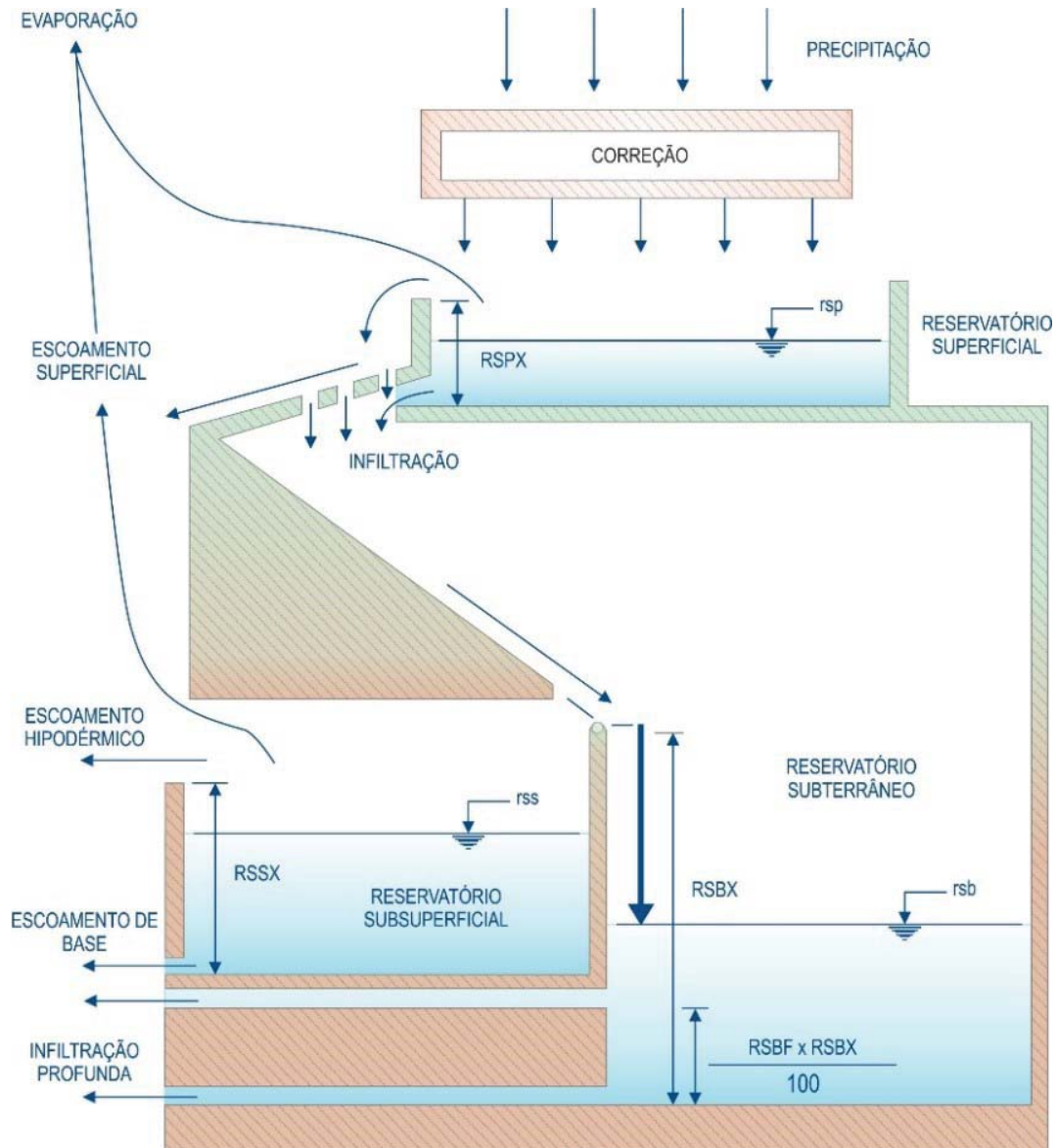


Figura 3.8 - Representação Esquemática do Modelo MODHAC

4.2.2 Resultados Disponíveis

As Figura 3.10 a Figura 3.13 ilustram alguns resultados da etapa de definição das disponibilidades hídricas realizada no presente estudo, incluindo estudos pluviométricos, evaporimétricos e fluviométricos.



Legenda

- | | |
|-------------------------|-------------------------------------|
| ○ Capitais Estaduais | Regiões Hidrográficas |
| ▭ Limites Estaduais | ■ Atlântico, Trecho Leste |
| ● Estações Selecionadas | ■ Atlântico, Trecho Norte/ Nordeste |
| ▭ Limite do Semiárido | ■ Rio São Francisco |
| — Hidrografia | |
| — Massa d'água | |

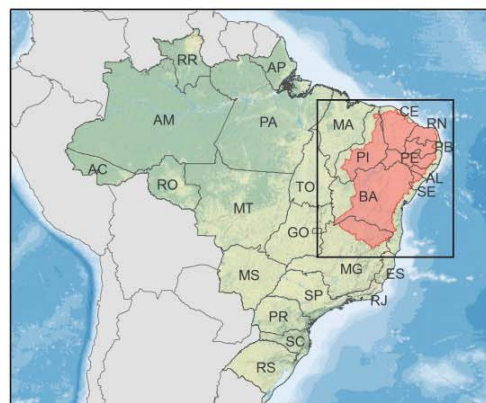


Figura 3.9 - Distribuição Espacial dos Postos Fluviométricos (HIDROWEB) Utilizados na Calibração/Validação do MODHAC

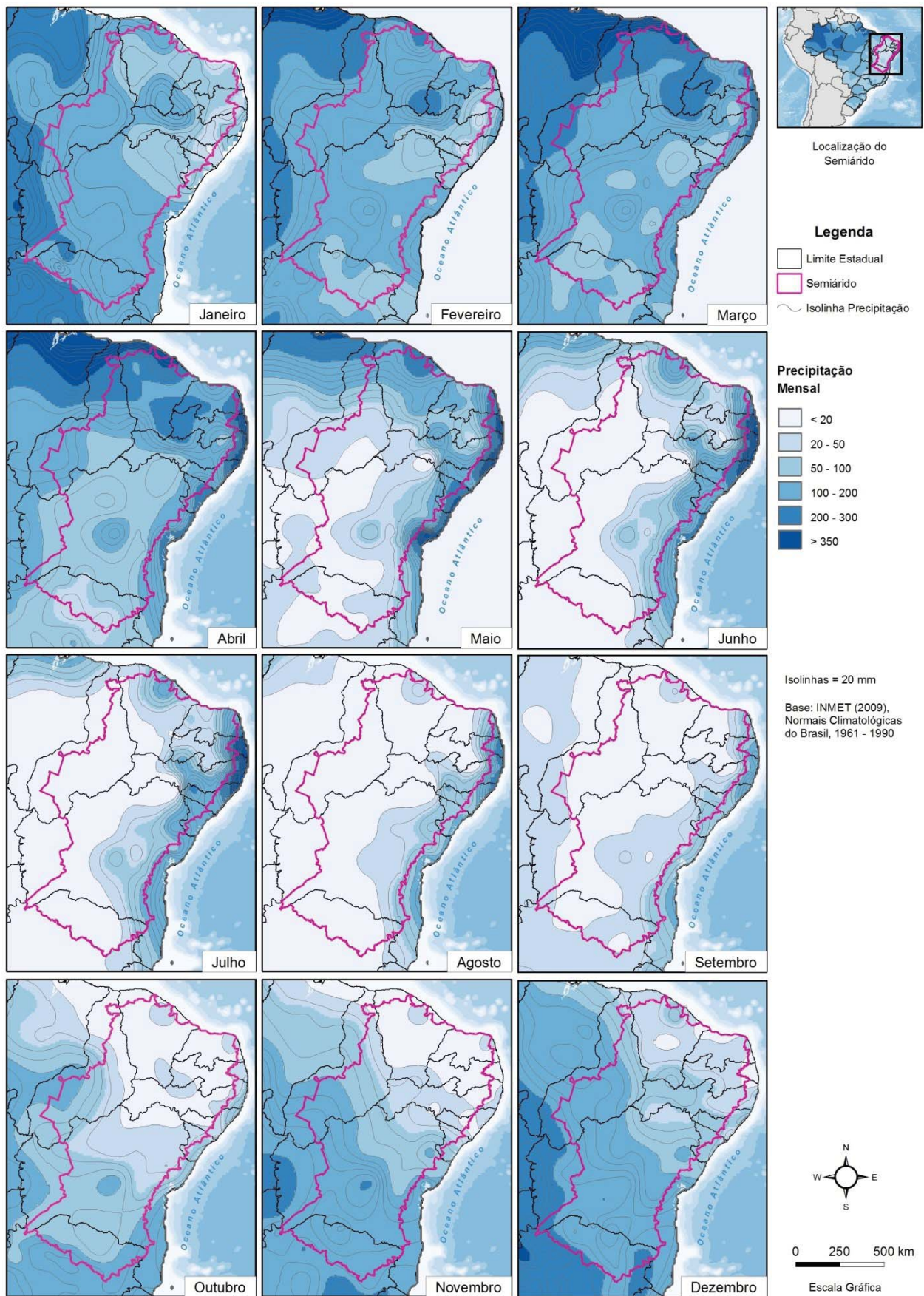


Figura 3.10 - Precipitação Total Mensal na Área de Estudo (mm)

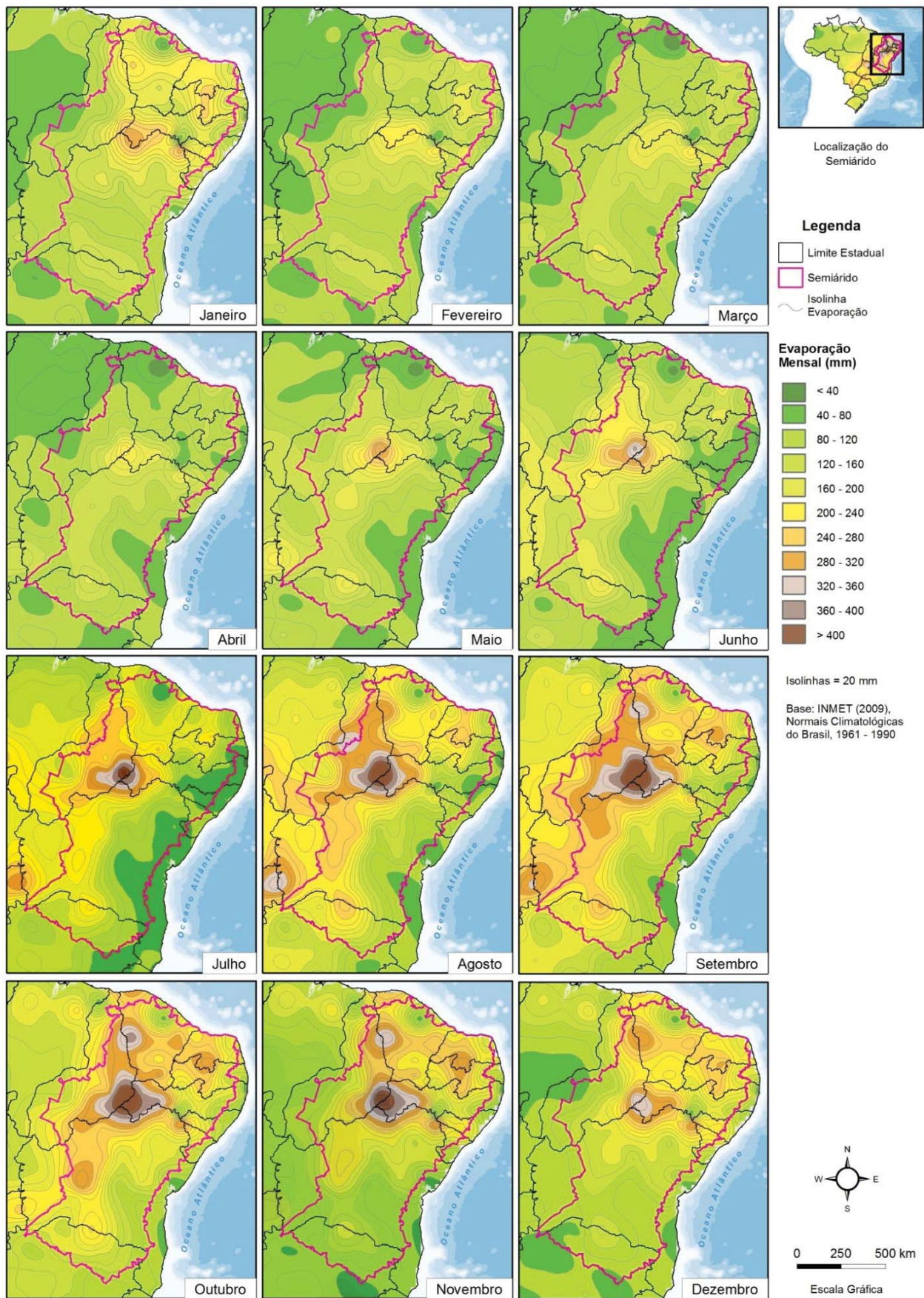


Figura 3.11 - Evaporação Total Mensal na Área de Estudo (mm)

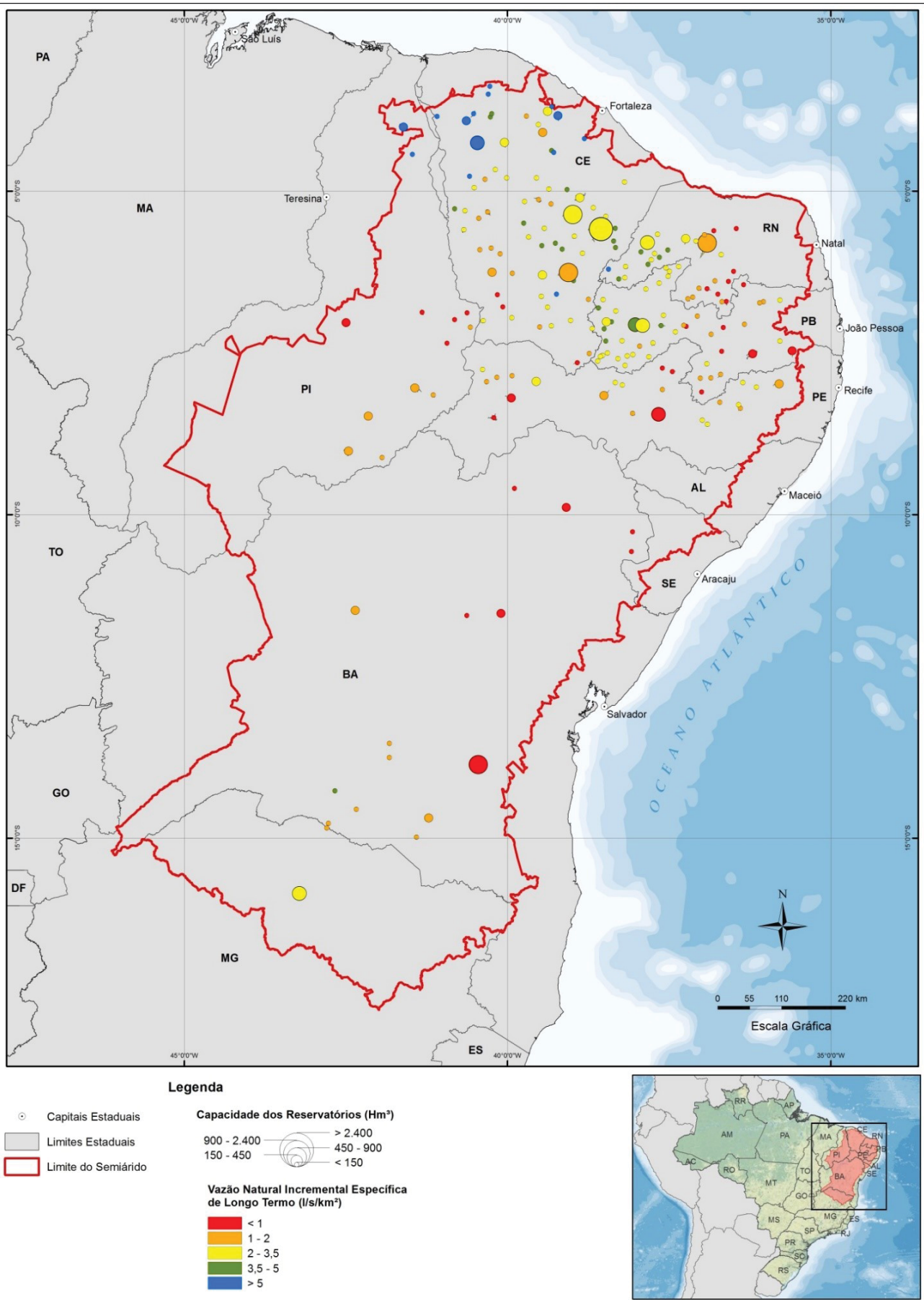


Figura 3.12 - Disponibilidade Hídrica dos Reservatórios Vazão Natural Incremental Específica Média de Longo Termo (l/s/km²)

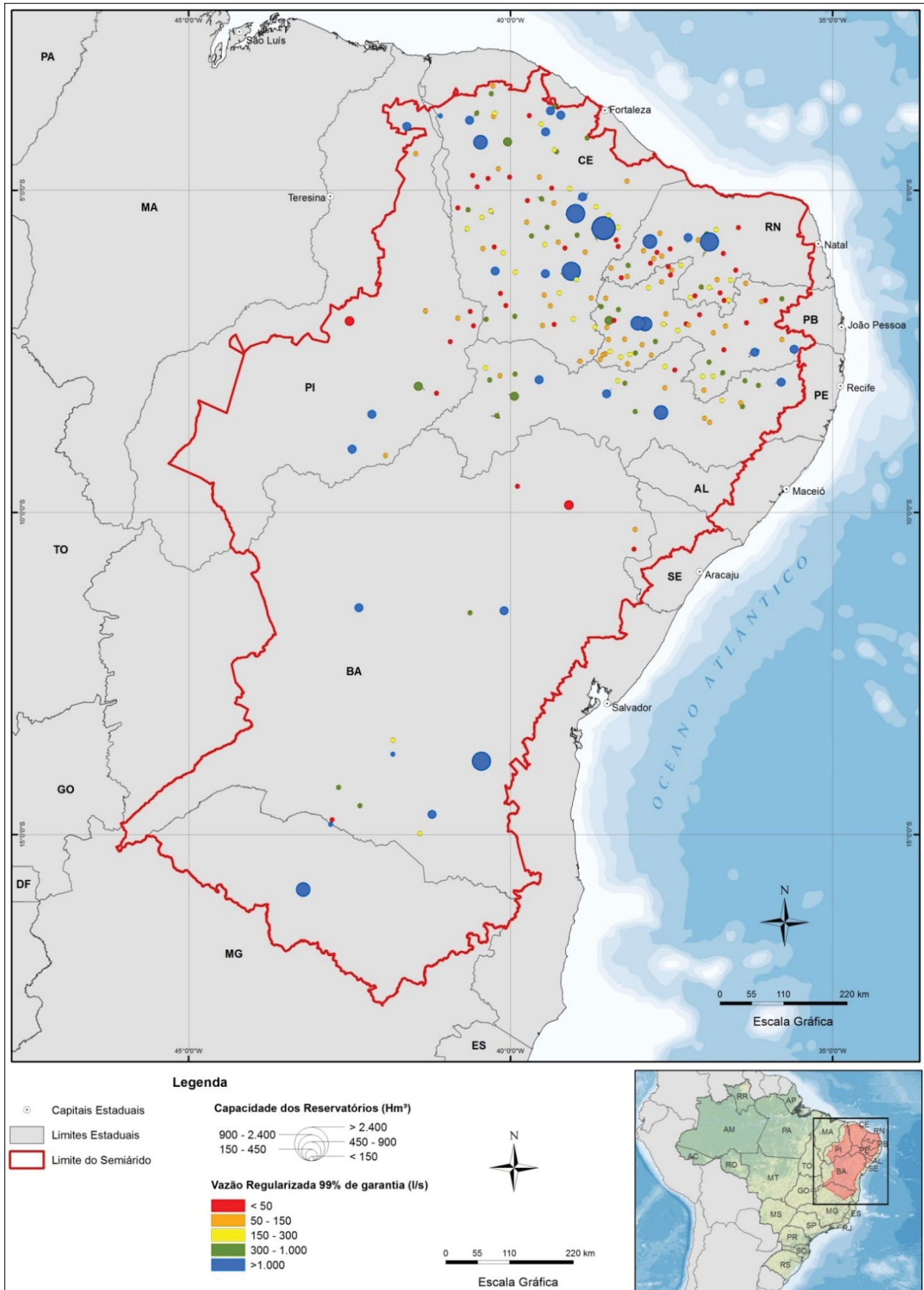


Figura 3.13 - Disponibilidade Hídrica dos Reservatórios - Vazão Regularizada com 99% de Garantia (l/s)

4.3 Refinamento das Demandas Hídricas

4.3.1 Metodologia Utilizada

A etapa de refinamento das demandas hídricas teve por objetivo básico gerar informações detalhadas e atualizadas sobre os usos dos recursos hídricos abastecidos pelos 204 reservatórios e/ou pelos seus trechos de jusante, criando as bases necessárias para as simulações de balanço hídrico e definição de regras operativas a serem adotadas visando à satisfação dos usos múltiplos da água armazenada nos grandes sistemas de reservatórios do Semiárido.

Para tanto, foram criteriosamente avaliadas as especificidades do Semiárido, em termos de suas características climáticas, hábitos e atitudes da população e comportamento da atividade econômica dependente de água nos períodos de estiagens, visando adequar os estudos à realidade da região.

Foram calculadas demandas resultantes dos seguintes usos dos recursos hídricos: abastecimento humano urbano; diluição de efluentes domésticos; abastecimento industrial; diluição de efluentes industriais; irrigação; abastecimento da população rural; e dessedentação animal.

4.3.1.1 Pressupostos Adotados

Como hipótese inicial de trabalho, foi considerado que, no Semiárido brasileiro, a oferta hídrica fornecida pelos reservatórios de menor porte existentes na região de estudo, que não têm capacidade de regularização interanual de vazões (em geral, reservatórios com volume inferior a 10 hm³), é completamente consumida para atendimento das demandas localizadas no seu entorno, em anos úmidos.

Porém, em anos de estiagem, quando esses reservatórios se apresentam secos, a população e os rebanhos de animais são abastecidos por fontes hídricas de maior porte, entre as quais se incluem os 204 reservatórios objeto do presente estudo e trechos de rios perenes, caracterizando uma realocação espacial das fontes hídricas para abastecimento desses dois tipos de usos. Para apoio à definição desse deslocamento espacial, foram estabelecidas áreas de influência específicas dos 204 reservatórios e também de outros reservatórios de grande porte localizados nas proximidades dos limites do Semiárido.

Outros pressupostos básicos considerados foram os seguintes:

- ❖ As demandas hídricas para abastecimento da população urbana e rural e para dessedentação animal, cujo atendimento é prioritário em relação aos demais usos da água, conforme definido pela Lei Federal 9.433/97, foram computadas considerando uma variação de ano seco para ano úmido decorrente da sua alocação espacial a diferentes mananciais;
- ❖ As demandas para suprimento hídrico aos demais usos dos recursos hídricos – irrigação e abastecimento industrial – foram consideradas constantes de ano para ano, independentemente das condições hidrológicas, e o seu atendimento (ou não) foi avaliado mediante as simulações de balanço hídrico dos reservatórios;
- ❖ As demandas para diluição de efluentes domésticos e industriais variam de acordo com as demandas calculadas para abastecimento populacional urbano e abastecimento industrial;
- ❖ Foram calculadas as demandas hídricas para todos os trechos de jusante dos reservatórios em estudo. No entanto, para efeitos das simulações realizadas com o AcquaNet foram consideradas apenas as demandas localizadas ao longo de trechos de cursos d'água perenes ou perenizados;
- ❖ As demandas associadas a trechos de rios intermitentes foram calculadas visando subsidiar a definição de regras operativas que resultaram, quando aplicável, na disponibilização de água para perenização desses trechos;
- ❖ Foram consideradas como demandas atribuíveis aos reservatórios e seus trechos de jusante apenas as captações e os lançamentos que ocorrem dentro dos limites do Semiárido.

4.3.1.2 Demandas para Abastecimento Humano Urbano

Nos anos úmidos, para associação entre os reservatórios e as áreas urbanas por eles abastecidas, foram utilizadas como fontes de consulta: informações de campo obtidas para os 120 reservatórios visitados; informações da ANA que definem o percentual da água captada nos reservatórios para atendimento a diferentes sedes urbanas; outorgas emitidas para a finalidade de abastecimento urbano; o Atlas Brasil de Abastecimento Urbano de Água, estudo conduzido pela ANA, concluído em 2010; projetos de adutoras implantadas na região.

Nos anos secos, também foram atribuídas aos reservatórios de grande porte, em caráter emergencial, as demandas de áreas urbanas que, em anos úmidos, são abastecidas por reservatórios de menor porte.

O cálculo das demandas de captação foi realizado por área urbana, com base na fórmula:

$$QA_i = Pop_i \cdot PC_i$$

Em que:

- ❖ QA_i corresponde à vazão demandada para abastecimento da população da área urbana i (L. dia⁻¹);
- ❖ Pop_i é a população urbana estimada para 2014 para a área urbana i , a partir dos dados da Estimativa de População Municipal do IBGE de 2014 (habitantes);
- ❖ PC_i é o per capita de captação para o município no qual se insere a área urbana i (l. hab⁻¹. dia⁻¹).

Para a determinação dos valores do per capita de captação foram utilizados os dados do SNIS 2011 para os 1.135 municípios inseridos no Semiárido, que foram objeto de uma análise estatística detalhada, visando obter per capita característicos de cada município; quando não havia informações disponíveis no SNIS, foram adotados os per capita definidos por faixa populacional, indicados no Quadro 3.8:

Quadro 3.8 - Valores de per Capita de Captação Adotados

| Faixas de População Urbana (habitantes) | Per Capita de Captação (l/hab/dia) |
|---|------------------------------------|
| 0 a 5.000 | 195 |
| 5.001 a 25.000 | 190 |
| 25.001 a 100.000 | 205 |
| Acima de 100.000 | 216 |

4.3.1.3 Diluição de Efluentes Domésticos

O refinamento das demandas para diluição de efluentes domésticos foi realizado para as sedes urbanas que possuem coleta de esgoto e realizam o lançamento diretamente nos trechos de rio localizados a jusante dos 204 reservatórios em estudo, sendo eles perenes/perenizados ou não. Para as sedes urbanas sem coleta de esgotos, foi considerado retorno nulo.

Os procedimentos adotados para estimativa dos retornos dos efluentes domésticos foram os seguintes:

- ❖ Cálculo da vazão de esgoto gerada pela população urbana atendida por sistema de esgotamento foi realizado com adoção da seguinte expressão:

$$QE_i = \frac{(Pop_{urb,i} * IN024_{AE,i} * PC_{c,i} * r)}{24 * 10^3}$$

Onde:

- ♦ QE_i corresponde à vazão de esgoto gerada pela população urbana atendida por sistema de esgotamento na sede i (m³.s⁻¹);
- ♦ $Pop_{urb,i}$ é a população da sede urbana i (hab);

- ♦ $IN024_{AE}$ é o índice de atendimento urbano de esgoto do município onde se insere a sede urbana i , obtido do SNIS 2013 (%);
- ♦ $PC_{c,i}$ é o per capita de consumo calculado para o município onde se insere a sede urbana i (ano seco ou úmido), a partir dos dados do SNIS 2011 (l.hab-1.dia-1);
- ♦ r é o coeficiente de retorno, adotado igual a 0,8.
- ❖ Cálculo da concentração de DBO5,20 no esgoto bruto, considerando a vazão de esgoto gerado, a população urbana atendida por sistema de esgotamento na sede e a contribuição média de 54 g DBO5,20 .habitante-1.dia-1;
- ❖ Determinação dos volumes de esgoto lançados bruto e tratado, a partir do índice de tratamento de esgoto, segundo dados do SNIS 2013;
- ❖ Cálculo da concentração de DBO5,20 no esgoto tratado, considerando a eficiência do sistema de tratamento igual a 70%;
- ❖ Determinação da vazão (Q_{efl}) e da concentração de DBO5,20 (C_{ef}) do esgoto doméstico efetivamente lançado no corpo hídrico. Quando existe outorga de lançamento, foi considerada a concentração de DBO5,20 do efluente indicada na outorga.

Conceitualmente, a vazão de diluição é definida como a vazão necessária (no ponto de lançamento) para diluir um poluente até sua concentração permitida, estabelecida para a classe de enquadramento do corpo receptor dos efluentes, pela Resolução do Conama nº 357/2005, tendo sido adotada, no presente estudo, a concentração de DBO5,20.

O cálculo da vazão de diluição foi baseado na equação de mistura extraída do Manual de Outorga da ANA:

$$Q_{dil} = Q_{efl} \cdot \frac{(C_{ef} - C_{enq})}{(C_{enq} - C_{rio})}$$

Em que:

- ♦ Q_{dil} corresponde à vazão de diluição ($m^3.s^{-1}$);
- ♦ Q_{efl} é a vazão de lançamento do efluente ($m^3.s^{-1}$);
- ♦ C_{ef} é a concentração do poluente no efluente ($mg.l^{-1}$);
- ♦ C_{rio} é a concentração natural do poluente no corpo hídrico receptor ($mg.l^{-1}$);
- ♦ C_{enq} é a concentração permitida para o poluente ($mg.l^{-1}$), definida em função da classe de enquadramento do corpo hídrico receptor.

Com relação à concentração natural do poluente no corpo hídrico (C_{rio}), admitiu-se o valor preconizado no Manual de Outorga da ANA para DBO5,20: 1 $mg.l^{-1}$.

4.3.1.4 Abastecimento Industrial

Sabe-se que uma parcela significativa das indústrias instaladas no Semiárido encontra-se localizada próximo aos centros urbanos e, deste modo, utiliza água fornecida pelas Companhias de Abastecimento (concessionárias). Nestes casos, a demanda industrial está incluída nos per capita de captação para abastecimento urbano.

Nos demais casos, a captação é feita diretamente nos corpos hídricos e, em sua grande maioria, possui outorga de uso. Deste modo, as demandas para abastecimento industrial foram calculadas predominantemente a partir do cômputo das vazões de outorgas emitidas para este fim e constantes dos bancos estaduais e federal coletados e utilizados pela ANA para elaboração do Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil de 2014.

Foram igualmente computadas as vazões referentes aos usos para fins industriais cadastrados no Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos - CNARH.

Também, e quando aplicável, foram utilizados dados levantados em campo, para os 120 reservatórios predefinidos. Nestes casos, prevaleceram as informações de campo em relação ao CNARH e aos bancos de dados de outorga.

4.3.1.5 Diluição de Efluentes Industriais

Quando do abastecimento industrial, foi considerado um retorno do volume captado, considerando os seguintes critérios:

- ❖ Para todos os usos industriais que possuem outorga de lançamento de efluentes ou cujos lançamentos encontram-se cadastrados no CNARH foi considerada a vazão de lançamento de efluentes informada (CNARH ou banco de outorgas);
- ❖ Para os demais usos industriais, quando foi possível identificar a tipologia do processo industrial, foi calculado um coeficiente de retorno a partir dos coeficientes técnicos de retirada e de lançamento de efluentes definidos por estudo de 2011 da Fundação Arthur Bernardes - FUNARBE, da Universidade Federal de Viçosa:

$$r = \frac{\text{Coef efluente}}{\text{Coef retirada}}$$

Onde:

- ◆ r corresponde ao coeficiente de retorno;
- ◆ *Coef efluente* é o coeficiente técnico de lançamento de efluentes determinado pela FUNARBE (m³.unidade da atividade⁻¹);
- ◆ *Coef retirada* é o coeficiente técnico de retirada determinado pela FUNARBE (m³.unidade da atividade⁻¹).
- ◆ Para as mineradoras foi adotado um coeficiente de retorno de 0,8;
- ◆ Nos casos em que, por falta de informações, não foi possível identificar a tipologia do processo industrial foi considerado um coeficiente de retorno de 0,6.

O cálculo da vazão de diluição foi realizado com base na mesma equação de mistura extraída do Manual de Outorga da ANA adotada para o cálculo da vazão de diluição dos efluentes domésticos, conforme exposto anteriormente.

4.3.1.6 Irrigação

Considerando a existência de muitas áreas irrigadas dispersas no território do Semiárido, com demanda eventual, ou seja, apenas em presença de água, a estimativa das demandas de irrigação abrangeu somente áreas irrigadas que, no seu conjunto, sejam iguais ou superiores a 2 ha, tomando-se como referência o valor de vazão unitária média de 0,5 l.s⁻¹.ha⁻¹, de tal forma a atender à Resolução ANA no 707, de 21 de dezembro de 2004, que estabelece como usos que independem de outorga aqueles com vazões de captação máximas instantâneas inferiores a 1,0 l.s⁻¹.

A metodologia utilizada para cálculo da demanda de irrigação tomou por referência o trabalho realizado pela FUNARBE, já citado, para estimar os valores de vazões de retirada e retorno de água na irrigação. O cálculo dos coeficientes de retirada e retorno teve como base o balanço hídrico mensal e foi realizado utilizando-se as equações apresentadas na sequência:

$$K_{i,c,m,a} = \frac{(ET_{0,m,a} \cdot K_{c_c} \cdot K_{s_m}) - P_{ef_{m,a}} \cdot 10}{E_a}$$

Em que:

- ♦ $Ki_{c,m,a}$ corresponde ao coeficiente de retirada de água para a cultura c no mês m na área irrigada a ($m^3 \cdot \text{mês}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$);
- ♦ $ETO_{m,a}$ é a evapotranspiração potencial no mês m para a área irrigada a ($\text{mm} \cdot \text{mês}^{-1}$);
- ♦ Kc_c é o coeficiente médio da cultura c (adimensional);
- ♦ Ks_m é o coeficiente de umidade do solo no mês m (adimensional);
- ♦ $Pef_{m,a}$ é a precipitação efetiva no mês m para a área irrigada a ($\text{mm} \cdot \text{mês}^{-1}$);
- ♦ Ea é a eficiência de aplicação do método de irrigação (adimensional).

$$Kr_{i,m,a} = Ki_{c,m,a} \cdot (P_p + P_{esc})$$

Em que:

- ♦ $Kr_{c,m,a}$ corresponde ao coeficiente de retorno para a cultura c no mês m na área irrigada a ($m^3 \cdot \text{mês}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$);
- ♦ P_p é a perda por percolação (adimensional);
- ♦ P_{esc} é a perda por escoamento (adimensional).
- ♦ As perdas por percolação e por escoamento podem ser estimadas pela equação:

$$P_p + P_{esc} = 1 - P_{ev} - Ea$$

Onde P_{ev} é a perda por evaporação e arraste (adimensional).

Deste modo, o cálculo das vazões de retirada e retorno de irrigação implicou as seguintes etapas metodológicas.

- ❖ Quantificação das áreas irrigadas abastecidas pelo corpo dos reservatórios ou pelos respectivos trechos de jusante. As áreas foram discretizadas por tipo de cultura e método de irrigação;
- ❖ Cálculo dos vetores de evapotranspiração potencial;
- ❖ Cálculo dos vetores de precipitação efetiva;
- ❖ Determinação dos coeficientes Kc e Ks ;
- ❖ Determinação da eficiência de aplicação dos diferentes métodos de irrigação;
- ❖ Determinação das perdas por percolação, escoamento, evaporação e arraste.

Uma breve descrição da metodologia utilizada para obtenção de todos os dados necessários para cálculo das demandas de irrigação é exposta a seguir.

Quantificação das Áreas Irrigadas

Foram identificadas e mapeadas as áreas de 41 Perímetros de Irrigação, localizados nos sete estados do Semiárido, com base em imagens de satélite do Google Earth disponíveis para vários anos, e dados coletados em diferentes fontes de consulta (Secretaria Nacional da Irrigação – SENIR, Projetos Públicos de Irrigação do Ministério da Integração, DNOCS, CODEVASF, entre outras), além das informações obtidas em campo.

Foram determinadas também as áreas irrigáveis por cultura, mês a mês, a partir de calendários agrícolas elaborados especificamente para o presente estudo, por mesorregião (definida pelo IBGE para cada estado), incluindo o Kc em cada uma das fases do ciclo fenológico das culturas.

A definição da área irrigável de cada perímetro foi feita considerando as culturas irrigadas e os métodos de irrigação adotados, além dos calendários agrícolas, para levantamento das demandas hídricas mensais.

Quanto às áreas de irrigação difusas, distribuídas em todo o Semiárido, foram elas identificadas também com apoio em imagens de satélite, a partir de mapa elaborado pela ANA com a delimitação de áreas irrigadas, e com base nos dados de campo, complementados com dados censitários do IBGE, para definição de culturas.

Cálculo da Evapotranspiração Potencial

A evapotranspiração potencial foi calculada pelo método de Penman-Monteith-FAO, pela equação abaixo, considerando dados das estações do INMET (convencionais e automáticas):

$$ETO = \frac{0,408 \Delta (Rn - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)}$$

Em que:

- ♦ ETO corresponde à evapotranspiração potencial (mm.dia⁻¹);
- ♦ Δ é a declividade da curva de pressão de vapor em relação à temperatura (k.Pa.°C⁻¹);
- ♦ Rn é o saldo de radiação diário (MJ.m⁻².dia⁻¹);
- ♦ G é o fluxo total diário de calor no solo (MJ.m⁻².dia⁻¹);
- ♦ γ é o coeficiente psicrométrico (kPa.oC⁻¹);
- ♦ T é a temperatura média do ar (°C);
- ♦ U_2 é a velocidade do vento a 2m do solo (m.s⁻¹);
- ♦ e_s é a pressão de saturação de vapor (kPa);
- ♦ e_a é a pressão atual de vapor (kPa).

Dado o objetivo do projeto, foi realizado o cálculo da evapotranspiração potencial em base diária e, na sequência, realizou-se a totalização mensal.

Cálculo da Precipitação Efetiva

Para o cálculo da precipitação efetiva foi utilizado o método do Soil Conservation Service – USDA pela expressão abaixo, considerando as séries históricas de 2.140 estações pluviométricas, definidas nos estudos pluviométricos:

$$Pef_{m,a} = f \cdot (1,2525 \cdot Pac_{m,a}^{0,82416} - 2,935) \cdot 100,0009551 \cdot ETO_{m,a}$$

Em que:

- ♦ $Pef_{m,a}$ corresponde à precipitação efetiva no mês m para a área irrigada a (mm. mês⁻¹);
- ♦ $Pac_{m,a}$ corresponde à precipitação acumulada no mês m para a área irrigada a (mm. mês⁻¹);
- ♦ $ETO_{m,a}$ é a evapotranspiração potencial no mês m para a área irrigada a (mm. mês⁻¹);
- ♦ f é o fator de correção da precipitação efetiva em função da variação da umidade inicial do solo (adimensional), tendo sido adotado $f=1$, o que corresponde a um valor de armazenamento médio de 75 mm.

A fim de computar a variabilidade espacial da precipitação efetiva, foram definidos vetores representativos de cada perímetro irrigado e de cada sede urbana, estes últimos para associação às áreas difusas de irrigação existentes em cada município.

Determinação dos Coeficientes Kc e Ks

A determinação do coeficiente Kc foi feita com base em diversas fontes de consulta (FUNARBE, EMBRAPA, artigos publicados na Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, entre outros).

Ressalta-se que para algumas culturas (a exemplo de goiaba, manga, uva, cana-de-açúcar) já trabalhadas pelo CEPATSA/EMBRAPA, foram levantadas informações específicas do Semiárido junto a pesquisadores da EMBRAPA Petrolina.

Para cada cultura, foram definidos os Kc por fase fenológica, apresentados na forma de calendário agrícola por mesorregião.

Quanto ao coeficiente Ks foram utilizados valores por cultura e por município fornecidos pela ANA.

Determinação da Eficiência dos Métodos de Irrigação

A eficiência de distribuição de água em áreas irrigadas depende de vários fatores associados ao solo, clima e métodos de irrigação utilizados.

No Semiárido brasileiro, há grande diversidade de sistemas de distribuição de água. As irrigações gravitárias (sulcos ou inundação) ainda predominam nas áreas irrigadas em operação, seguidas por aspersão convencional, raros pivôs e um crescente número de sistemas de irrigação localizada.

Em razão da sua baixa eficiência, os métodos gravitários estão sendo paulatinamente substituídos por sistemas localizados; contudo, estas alterações ocorrem, sobretudo, nos perímetros de maior dinamismo, a exemplo dos operados pela CODEVASF, em especial, no Polo Petrolina/Juazeiro.

A fim de embasar a definição das eficiências adotadas para cada método de irrigação no presente estudo, foi realizado um amplo levantamento em bibliografia disponível sobre o tema, com foco em estudos realizados para o Semiárido brasileiro. Os resultados obtidos estão apresentados no Quadro 3.9.

Quadro 3.9 - Eficiência e Perda por Evaporação Adotados, por Método de Irrigação

| Método de Irrigação | Eficiência (%) | Perdas por Evaporação (%) | Perdas por Escoamento e Percolação (%) |
|---|----------------|---------------------------|--|
| Sulcos | 50 | 5 | 45 |
| Inundação | 45 | 5 | 50 |
| Aspersão convencional | 70 | 15 | 15 |
| Aspersão por pivô central | 80 | 10 | 10 |
| Gotejamento | 90 | 0 | 10 |
| Microaspersão | 90 | 0 | 10 |
| Outros métodos de irrigação e/ou molhação | 45 | 5 | 50 |

4.3.1.7 Abastecimento da População Rural

O abastecimento da população rural, assim como a dessedentação animal caracterizam, de modo geral, demandas hídricas difusas, distribuídas pelo território do Semiárido; são essas as demandas cuja alocação espacial mais varia durante os períodos prolongados de estiagem, quando há um deslocamento da população à busca de mananciais de maior porte que ainda ofereçam disponibilidade de água, ou quando o abastecimento é feito por caminhões-pipa, a partir de mananciais localizados a grandes distâncias da fonte consumidora.

Assim, foram adotados procedimentos específicos para cálculo dessas demandas, em anos secos e em anos úmidos, segundo descrito a seguir.

Recorte Espacial Adotado para Anos Secos

Esse procedimento teve por objetivo definir as zonas de influência dos reservatórios de grande porte e de rios perenes, que exercem atração da população em anos secos; verificou-se, com base em dados reais, que as distâncias percorridas pelos caminhões-pipa utilizados para abastecimento à população rural dispersa e a pequenas comunidades rurais podem chegar até cerca de 250 km.

Inicialmente, foram determinados todos os reservatórios inseridos nos limites do Semiárido e no seu entorno próximo, considerados com capacidade de regularização interanual.

Com base nesses critérios, foram selecionados 302 reservatórios para serem incluídos em um Modelo Gravitacional, visando definir sua área de influência:

- ❖ 184 reservatórios dos 204 em estudo (volume ≥ 9 hm³);
- ❖ Outros 67 reservatórios com volume conhecido ≥ 9 hm³;
- ❖ 51 reservatórios com volume estimado ≥ 20 hm³.
- ❖ Para determinação da zona de influência de cada corpo hídrico, foram utilizados os seguintes passos metodológicos:
 - ❖ Determinação do centroide dos setores censitários rurais (IBGE) na área de estudo;
 - ❖ Utilização de uma adaptação do Modelo Gravitacional para o cálculo da atração existente entre os centroides dos setores censitários e dos reservatórios vizinhos:

$$A_{ij} = \frac{Vol_i^{0,25}}{d_{ij}^2}$$

Onde:

- ♦ A_{ij} representa a atração que o reservatório i exerce sobre o setor censitário j ;
- ♦ Vol_i é o volume do reservatório i ;
- ♦ d_{ij} é a distância entre o centroide do espelho d'água do reservatório i e o centroide do setor censitário j .
- ❖ Associação de cada setor censitário rural ao reservatório que exerce maior atração sobre o mesmo;
- ❖ Delimitação de um buffer de 2 km no entorno de rios perenes, considerado como zona de influência desses cursos d'água;
- ❖ Ajuste dos limites das zonas de influência dos reservatórios e dos rios perenes, quando sobrepostas;
- ❖ Análise visual dos resultados, visando ajustar eventuais distorções com relação à localização das comunidades rurais em face da sua inserção nas áreas de influência dos reservatórios e/ou nos buffers delimitados. Deste modo, todos os setores censitários de uma comunidade rural estão sempre associados a um mesmo manancial.

A Figura 3.14 apresenta, como exemplo, o resultado dos procedimentos adotados para definição das zonas de influência dos reservatórios Coremas e Mãe d'Água e do trecho de jusante (rio Piancó, perene), observando-se também os limites dos setores censitários rurais.



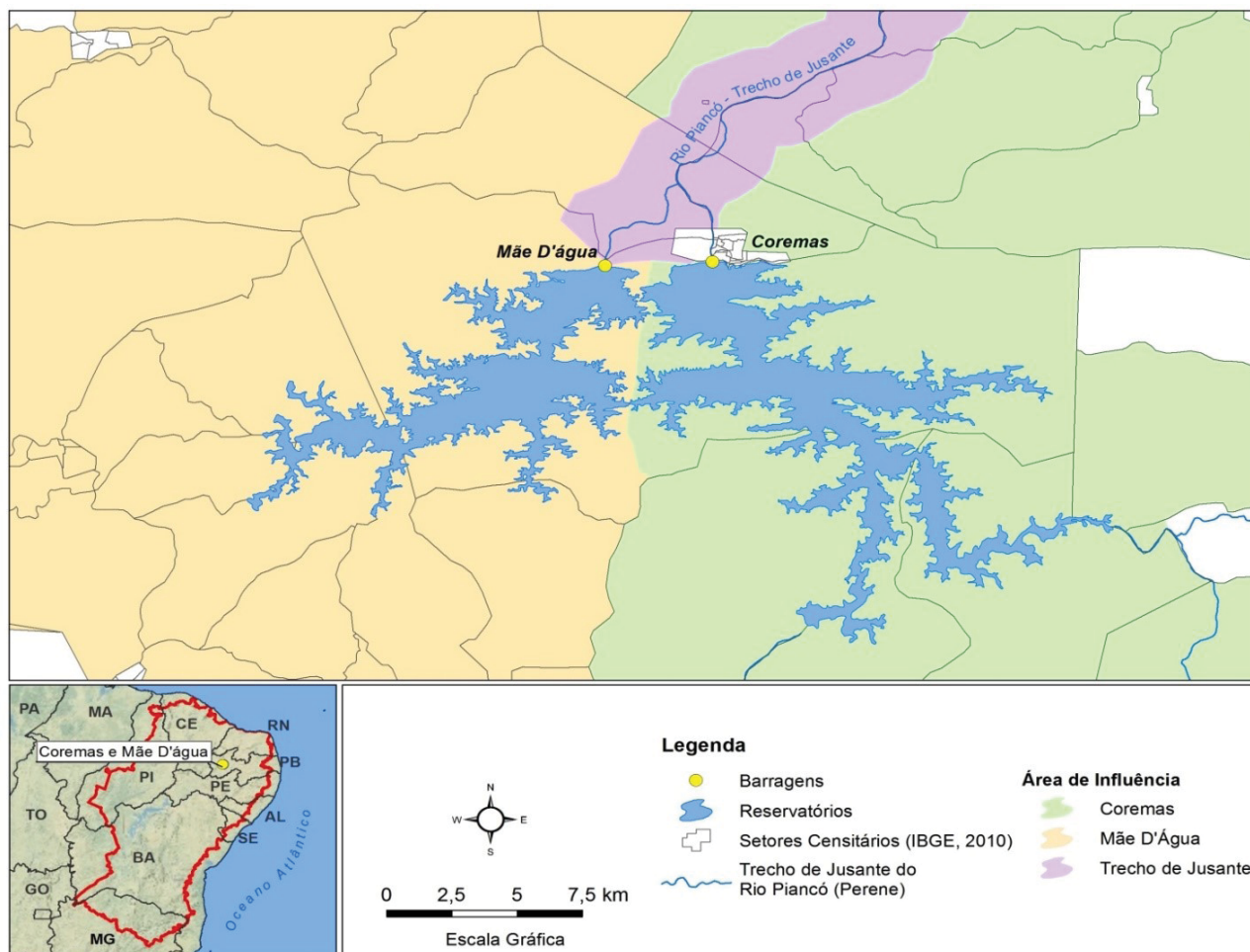


Figura 3.14 - Área de Influência dos Reservatórios Coremas e Mãe d'Água e do Rio Piancó - Anos Secos

Recorte Espacial Adotado para Anos Úmidos

Para os anos úmidos, admitiu-se que diversas fontes hídricas estão disponíveis para abastecimento da população rural:

- ❖ Reservatórios com capacidade de regularização interanual;
- ❖ Reservatórios de menor porte (com volume inferior a 10 hm³);
- ❖ Trechos de rios perenes e/ou perenizados por reservatórios;
- ❖ Cisternas abastecidas por água da chuva;
- ❖ Águas subterrâneas.

Desse modo, as áreas de influência dos reservatórios e dos seus respectivos trechos de jusante foram definidas da seguinte forma:

- ◆ Delimitação de um buffer de 2 km no entorno dos reservatórios, considerado como zona de influência desses corpos hídricos;
- ◆ Delimitação de um buffer de 2 km no entorno de rios perenes, considerado como zona de influência desses cursos d'água;
- ◆ Ajuste dos limites das zonas de influência dos reservatórios e dos rios perenes, quando sobrepostas;
- ◆ Análise visual dos resultados, visando ajustar eventuais distorções com relação à localização das comunidades rurais em face da sua inserção nas áreas de influência dos reservatórios e/ou nos buffers delimitados.

Deste modo, todos os setores censitários de uma comunidade rural estão sempre associados a um mesmo manancial.

A Figura 3.15 exhibe as zonas de influência exercidas pelos Reservatórios Coremas e Mãe d'Água e do respectivo trecho de jusante – rio Piancó.

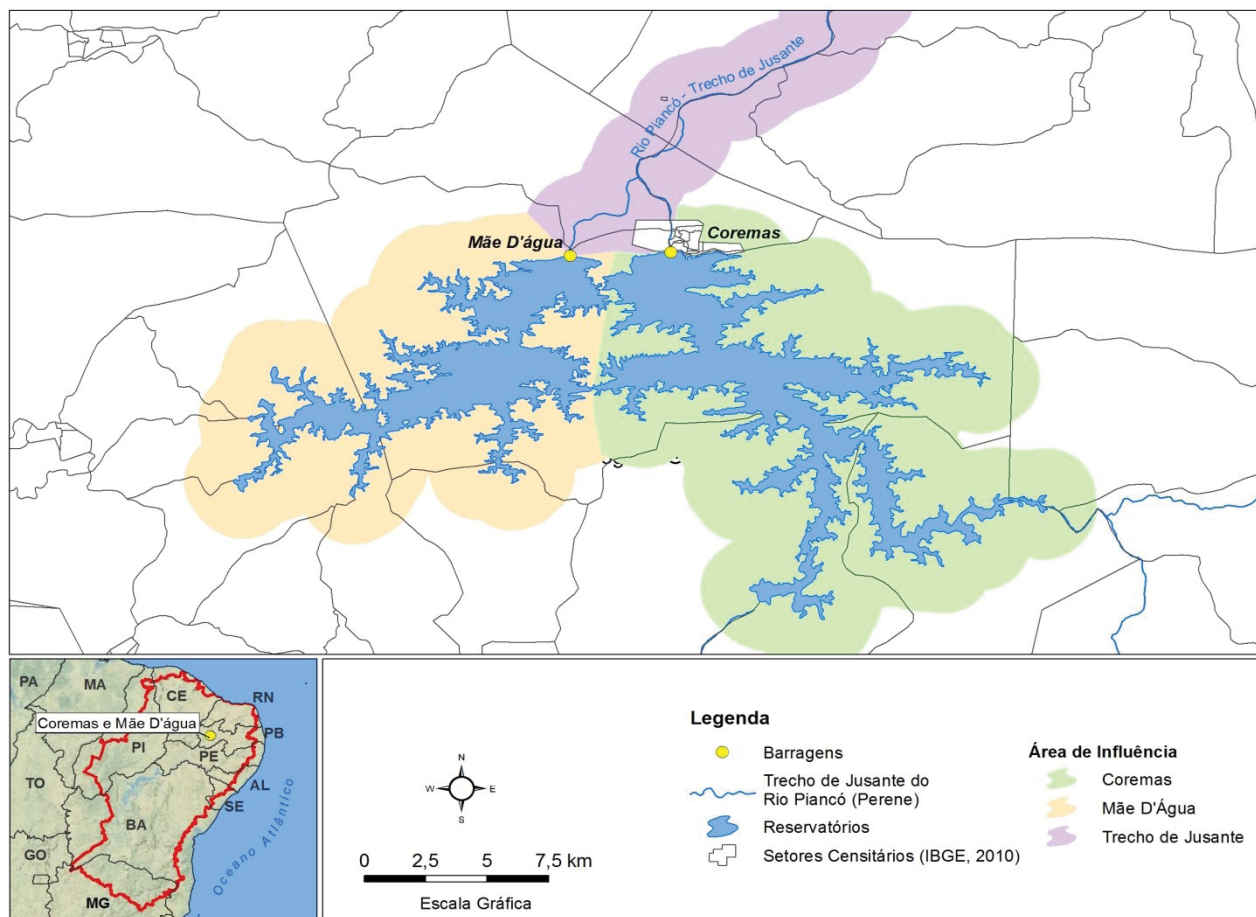


Figura 3.15 - Área de Influência dos Reservatórios Coremas e Mãe d'Água e do Rio Piancó - Anos Úmidos

Cálculo da Demanda para Abastecimento da População Rural

Para o cálculo das demandas para abastecimento da população rural, foram adotados os seguintes passos metodológicos:

- ❖ Atualização da população dos setores censitários rurais para 2014, a partir dos dados do Censo do IBGE de 2010 e da Estimativa de População Municipal do IBGE de 2014;
- ❖ Determinação da área dos setores censitários contida dentro das zonas de influência determinadas conforme antes descrito, com utilização de Sistema de Informações Geográficas;
- ❖ Quantificação da população rural residente na área de interesse, pressupondo-se que ela esteja distribuída uniformemente no território de cada setor censitário rural, excluindo-se as unidades de proteção integral e os espelhos d'água;
- ❖ Cálculo das demandas hídricas mediante a aplicação do per capita de 100 l. hab-1.dia-1, adotados pelo Plano Nacional de Recursos Hídricos;
- ❖ Quando estavam disponíveis dados em Planos de Bacias, foi adotado um índice de redução da demanda, considerando que parte do abastecimento humano rural é suprida por mananciais subterrâneos.
- ❖ Foi adotado retorno nulo para as demandas de abastecimento humano rural.

4.3.1.8 Cálculo da Demanda para Dessedentação Animal

Por também constituir um uso difuso dos recursos hídricos, as demandas decorrentes da dessedentação animal foram calculadas utilizando-se as mesmas zonas de influência dos reservatórios (anos secos e úmidos) definidas para a população rural.

Para o cálculo das demandas hídricas para dessedentação, procedeu-se conforme descrito a seguir:

- ❖ Levantamento dos rebanhos nos municípios inseridos, ainda que parcialmente, na área de influência dos reservatórios. Foram utilizados os dados censitários mais atuais disponíveis (Produção Pecuária Municipal de 2013 do IBGE);
- ❖ Determinação da área dos municípios contida dentro da área de influência, a partir da utilização de Sistema de Informações Geográficas;
- ❖ Quantificação dos rebanhos existentes na área de interesse, pressupondo-se que os animais estejam distribuídos uniformemente, em cada município, nas áreas destinadas a pastagens, excluindo-se as unidades de proteção integral e os espelhos d'água. As áreas de pastagens foram delimitadas a partir de:
 - ◆ Mapas estaduais de uso e ocupação do solo, quando disponíveis;
 - ◆ Estudo "Radiografia das Pastagens do Brasil" desenvolvido pela UFG em 2014, para os estados que não possuíam mapas em formato manipulável.
- ❖ Cálculo das demandas hídricas, mediante a aplicação de coeficientes de demanda unitária de água para a dessedentação de cada espécie animal (Quadro 3.10);

Quadro 3.10 - Demanda Unitária de Água para Dessedentação de Cada Espécie Animal

| Tipos de Rebanho | Dessedentação (l/cabeça/dia) |
|--------------------------------------|------------------------------|
| Bovinos (exceto vacas ordenhadas) | 50,0 |
| Vacas Ordenhadas | 85,0 |
| Bubalinos | 50,0 |
| Equinos | 40,0 |
| Suínos | 12,5 |
| Ovinos | 10,0 |
| Caprinos | 10,0 |
| Galináceos – Total (exceto galinhas) | 0,18 |
| Galináceos – Galinhas | 0,18 |
| Codornas | 0,18 |

- ❖ Quando estavam disponíveis dados em Planos de Bacias, foi adotado um índice de redução da demanda, considerando que parte da dessedentação animal é suprida por mananciais subterrâneos.

Foi adotado retorno nulo para as demandas de dessedentação animal.

4.3.1.9 Reservatórios com Restrição de Uso

Os levantamentos de campo constataram problemas de qualidade da água em seis dos 204 reservatórios em estudo, identificados no Quadro 3.11, que inviabilizam o uso da água para as finalidades consideradas para cálculo das demandas hídricas no âmbito do presente estudo. Desta forma, para estes seis reservatórios, não foi associada qualquer demanda hídrica.

Quadro 3.11 - Reservatórios com Restrições de Uso Devido à Qualidade da Água

| Reservatório | Bacia | Código Espelho d'água ANA | Situação |
|-------------------|---------------------|---------------------------|--|
| José Rodrigues | Paraíba | 994 | Qualidade da água não é adequada para consumo |
| Escondido | Piancó-Piranhas-Açu | 1749 | Qualidade da água não é adequada para consumo |
| Cacimba de Várzea | Curimataú | 169 | Qualidade da água não é adequada para consumo (principalmente devido à salinidade) |
| Curimataú | Curimataú | 170 | Qualidade da água não é adequada para consumo (devido a esgoto doméstico) |
| Adustina | Vaza-Barris | 757 | Qualidade da água não é adequada para consumo (devido à salinidade) |
| Serrinha II | Pajeú/SF | 1178 | Qualidade da água não é adequada para consumo |

4.3.2 Resultados Disponíveis

As Figuras 3.16 a 3.18 ilustram alguns resultados da etapa de refinamento das demandas hídricas do Semiárido.

As demandas indicadas na Figura 3.16 referem-se às demandas de retirada calculadas para anos secos, incluindo usos localizados no corpo dos açudes e também nos trechos perenes de jusante, quando existentes. Destaca-se que estes valores não incorporam as perdas físicas e os retornos existentes nos trechos de rio entre os reservatórios e os pontos de captação.



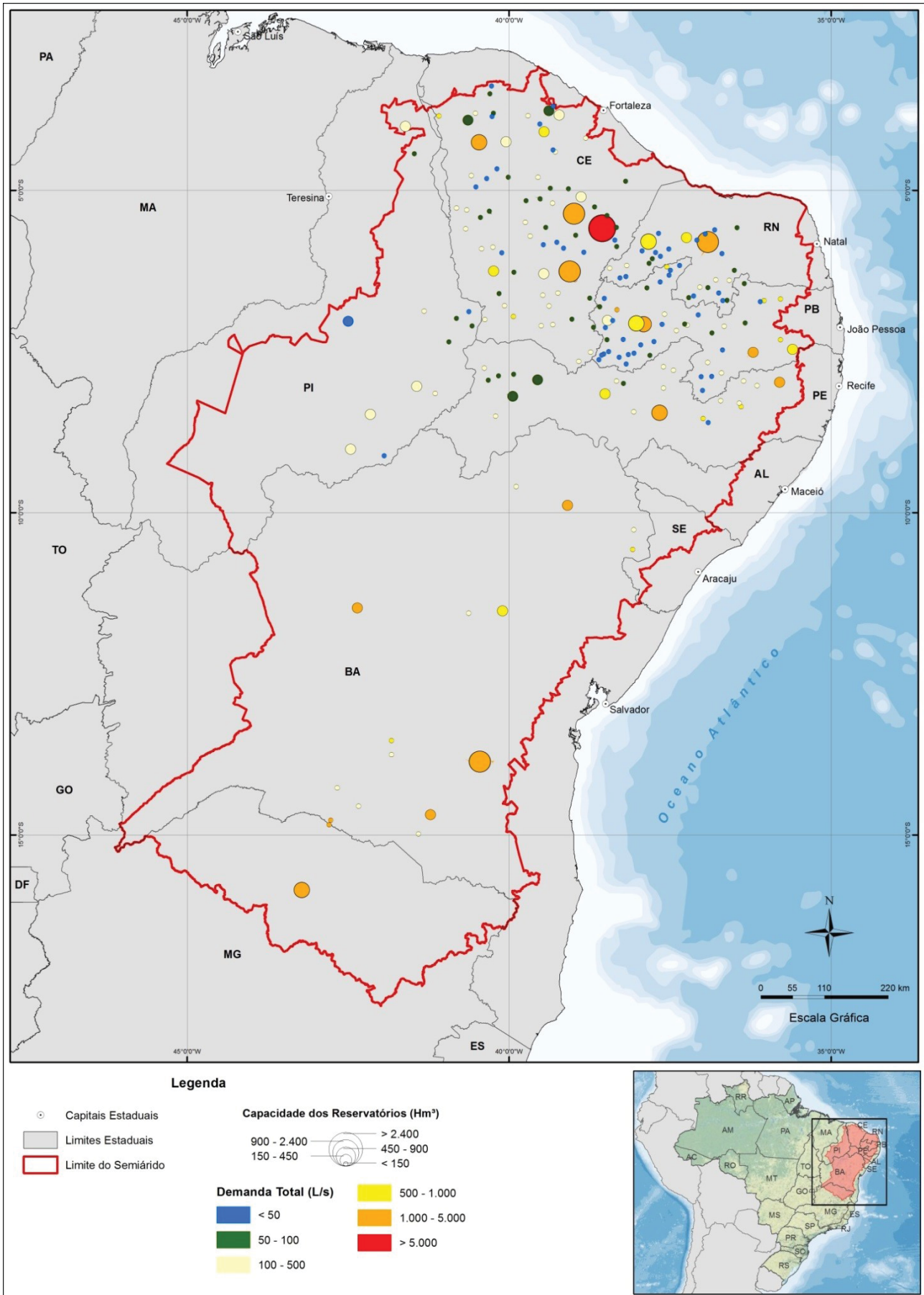


Figura 3.16 - Demandas Hídricas Totais - 204 Reservatórios

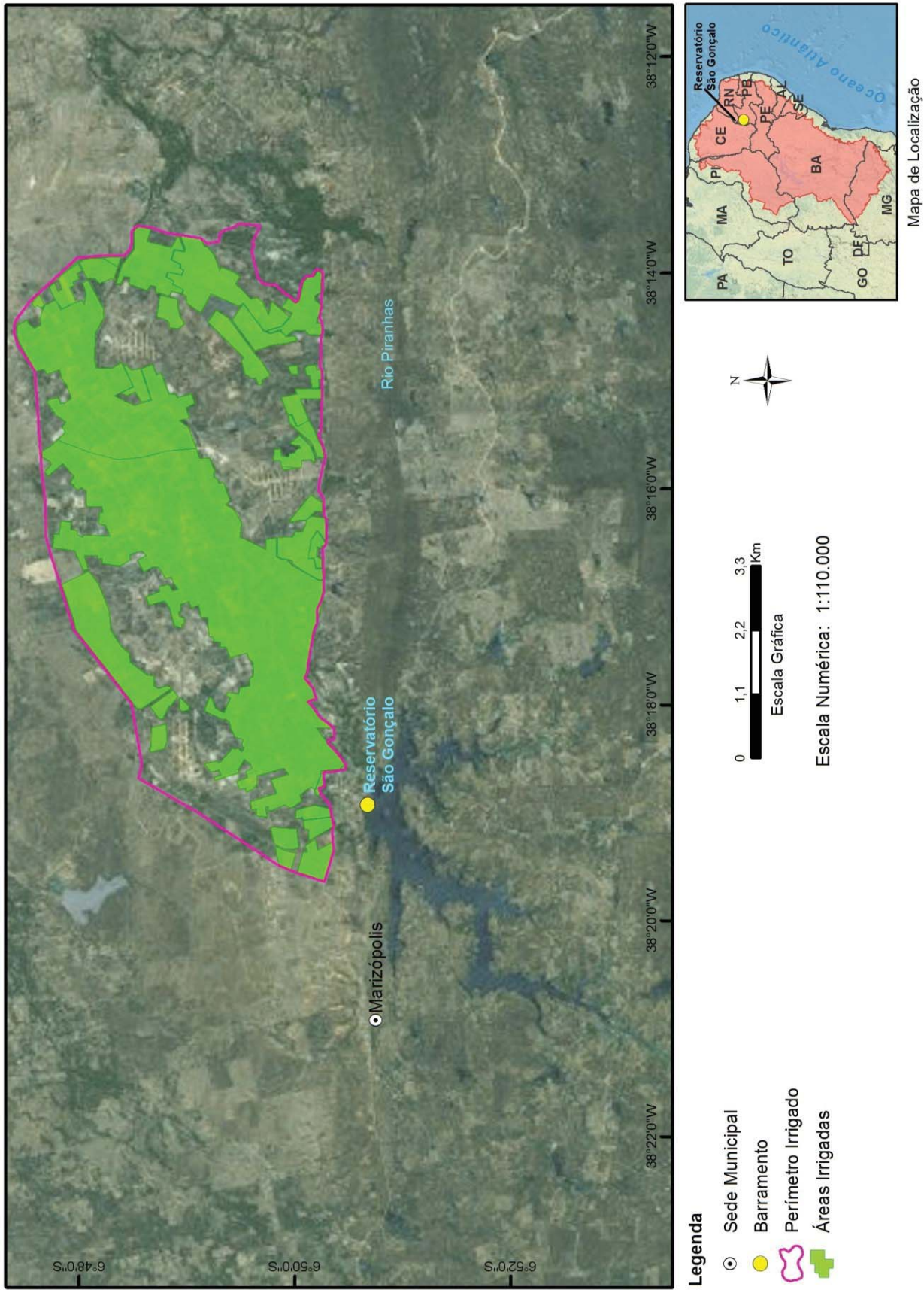


Figura 3.17 - Perímetro de Irrigação São Gonçalo - Abastecimento pelo Reservatório São Gonçalo I, PB

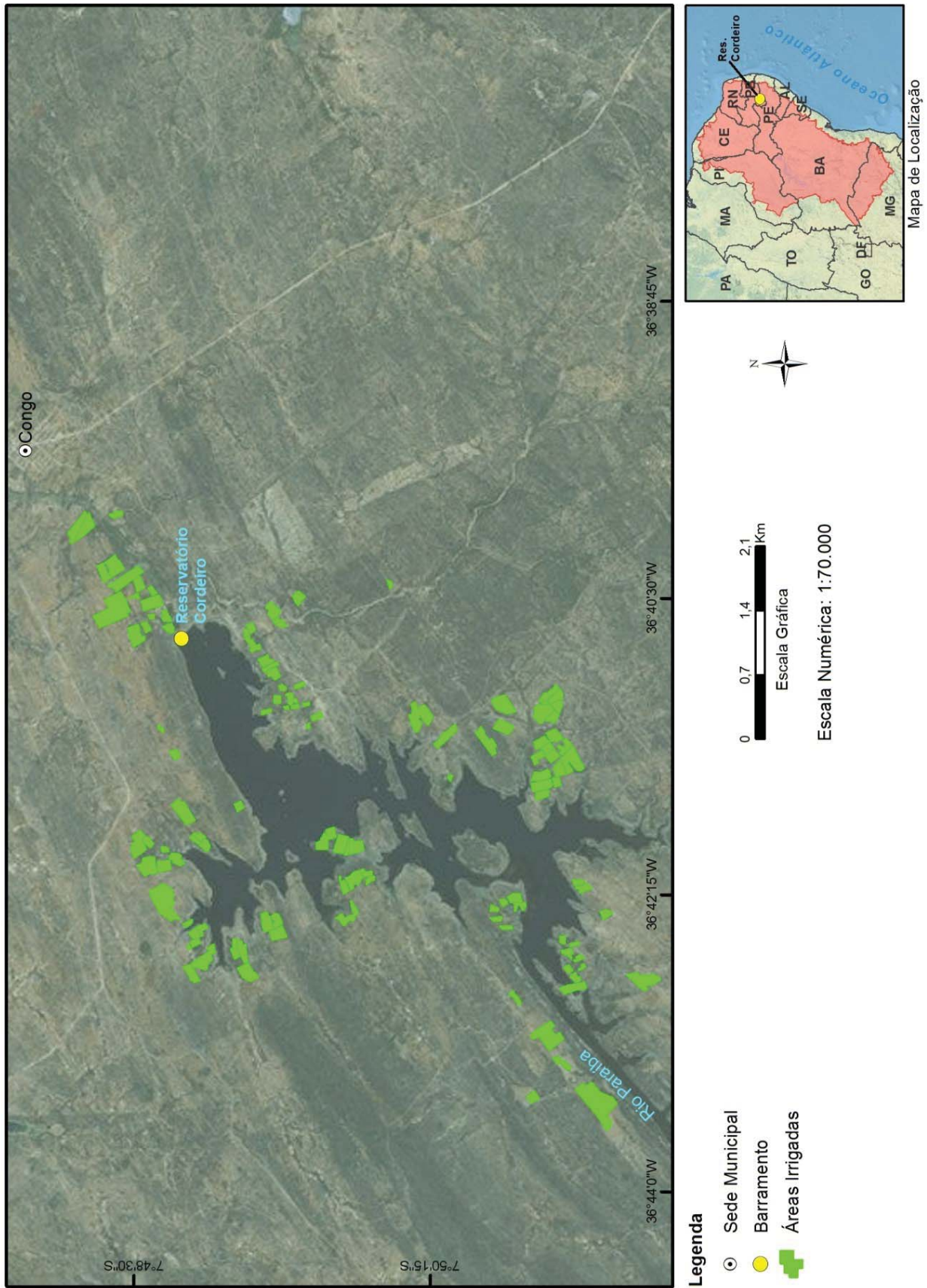


Figura 3.18 - Áreas Difusas de Irrigação Associadas ao Reservatório Cordeiro, PB

4.4 Balanço Hídrico na Situação Atual

4.4.1 Metodologia Utilizada

4.4.1.1 Sistema de Apoio à Decisão Empregado

O balanço hídrico dos 204 reservatórios da área de abrangência do presente estudo foi realizado com o modelo AcquaNet, sistema computacional de apoio à decisão, selecionado entre outros sistemas avaliados, principalmente devido a ser um software de utilização livre, de fácil operacionalização e já amplamente aplicado em outros estudos da ANA realizados para o Semiárido brasileiro.

A Figura 3.19 apresenta um esquema do AcquaNet e contém um resumo das funcionalidades de seus módulos de análise.

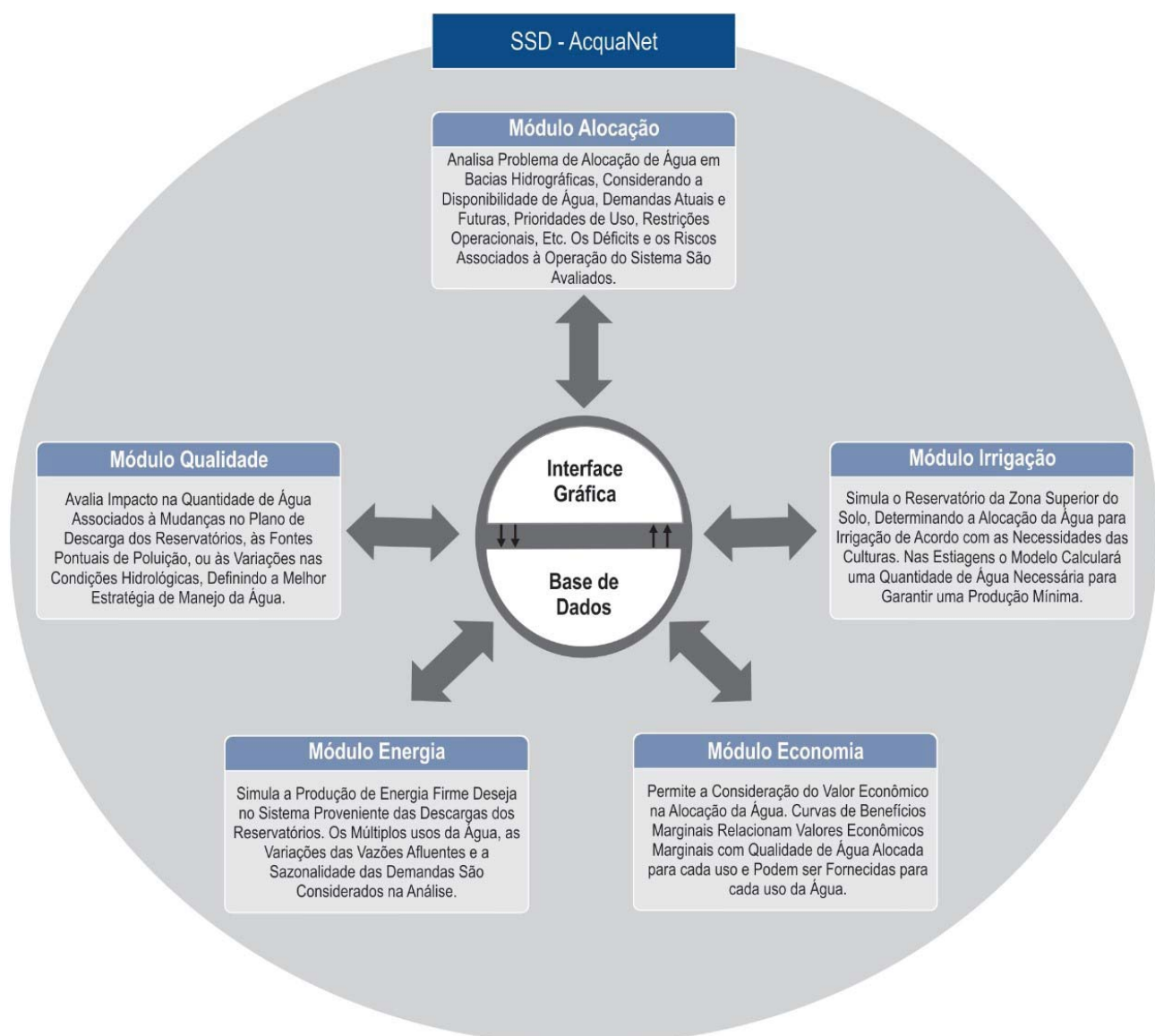


Figura 3.19 - Esquema do AcquaNet

4.4.1.2 Premissas Adotadas para as Simulações Realizadas com o AcquaNet

Delimitação de Regiões Hidroclimatológicas

As primeiras análises efetuadas para determinar os períodos hidrológicos secos e úmidos a serem adotados nas simulações indicaram variação expressiva entre os reservatórios de uma mesma bacia. Dessa forma, foram delimitadas as sub-regiões abaixo, verificando-se em quais delas se inserem os 204 reservatórios:

- ❖ Sertão: área mais afetada pela seca, com precipitações totais médias anuais inferiores a 800 mm, podendo atingir 300 mm;
- ❖ Agreste: região intermediária entre áreas de clima úmido (Zona da Mata) e seco (Zona do Sertão) que ora apresenta similaridade com uma ou com outra região;
- ❖ Zona da Mata: com precipitação total média variando entre 1.000 mm, nas regiões serranas, a 2.000 mm quando se toma a direção litorânea;
- ❖ Meio Norte: faixa de transição entre o Sertão e Amazônia, com precipitação total média podendo variar entre 1.500 mm e 2.000 mm.

Definição de Anos Secos e Anos Úmidos

Conforme já mencionado, em anos de estiagem, os reservatórios de pequeno porte do Semiárido se apresentam secos; neste cenário, a população recorre a fontes hídricas de maior porte para abastecimento doméstico e dessedentação dos rebanhos, caracterizando um deslocamento espacial dos mananciais utilizados para suprimento a essas demandas.

Assim, a determinação de anos secos, em que essa situação ocorre, foi necessária para o cálculo das demandas hídricas no contexto das simulações do balanço hídrico.

Os procedimentos adotados para definição dos anos secos, para consequente obtenção da série de demandas, foram os seguintes:

- ❖ Divisão dos reservatórios de cada bacia em grupos, com base na sua localização nas regiões climatológicas do Sertão, Agreste, Zona da Mata e Meio Norte;
- ❖ Análise das séries históricas de vazões naturais, para cada grupo de reservatórios, visando definir os meses que caracterizam o período úmido, ou seja, os meses nos quais há afluência de vazões aos reservatórios;
- ❖ Cálculo da série histórica de volumes afluentes aos reservatórios de um mesmo grupo no período úmido;
- ❖ Ordenação dos volumes obtidos em ordem crescente. Os anos em que os volumes foram inferiores ou iguais ao percentil de 25%, foram considerados como anos secos.

Demandas Associadas aos Reservatórios

Os estudos de demandas consideraram que as demandas hídricas para abastecimento da população urbana e rural e para dessedentação animal, cujo atendimento é prioritário em relação aos demais usos da água, possuem variação de ano seco para ano úmido decorrente da sua alocação espacial a diferentes mananciais.

Portanto, para tais demandas, a série adotada nas simulações do balanço hídrico foi obtida utilizando a definição de anos secos e anos úmidos, descrita no tópico anterior.

Para os usos de irrigação e abastecimento industrial, as demandas foram consideradas constantes de ano para ano, independentemente das condições hidrológicas, sendo o seu atendimento (ou não) avaliado mediante as simulações de balanço hídrico.

Perdas Físicas nos Trechos de Jusante dos Reservatórios

Os valores adotados para o coeficiente de perda "p" foram os seguintes:

- ❖ Cursos d'água em substrato cristalino e trechos de rios perenes/perenizados em substrato sedimentar: 0,6% km⁻¹;
- ❖ Cursos d'água intermitentes sobre substrato sedimentar: 2,3% km⁻¹.

Com base nesses coeficientes e na extensão dos trechos de rios, foram calculados os percentuais de perda por trecho modelado, inseridos no modelo Acquanet. Quando o trecho modelado se situava em mais de um tipo de substrato, foi calculado um coeficiente de perdas médio do trecho, ponderado pela extensão dos segmentos do trecho localizados em cada substrato.

4.4.1.3 Realização das Simulações de Balanço Hídrico

Os seguintes dados de entrada foram utilizados para as simulações:

- ❖ Série de vazões naturais afluentes aos reservatórios, obtidas pelo MODHAC;
- ❖ Vetores de evaporação e precipitação incidentes sobre a área dos lagos;
- ❖ Dados técnicos dos reservatórios, tais como volumes máximos, volumes mínimos e curva cota x área x volume;
- ❖ Séries de demandas de anos secos e anos úmidos;
- ❖ Vazões de retorno das demandas e de diluição de efluentes;
- ❖ Perdas em trânsito;
- ❖ Definição das prioridades de atendimento às demandas, conforme esquemas abaixo:

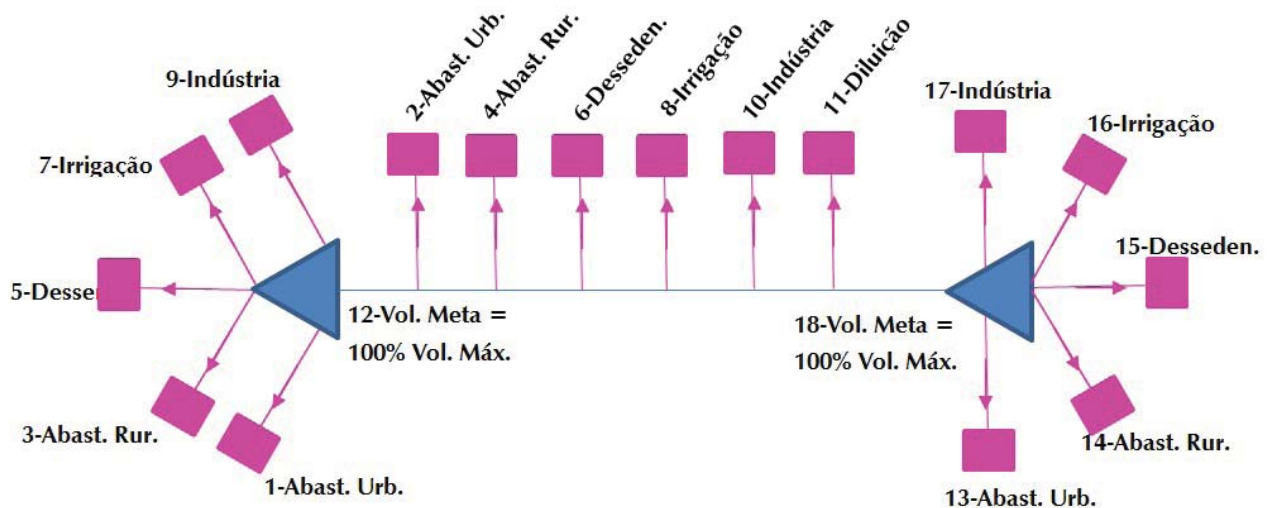


Figura 3.20 - Prioridades para Atendimento às Demandas dos Reservatórios e dos Trechos de Jusante Perenes

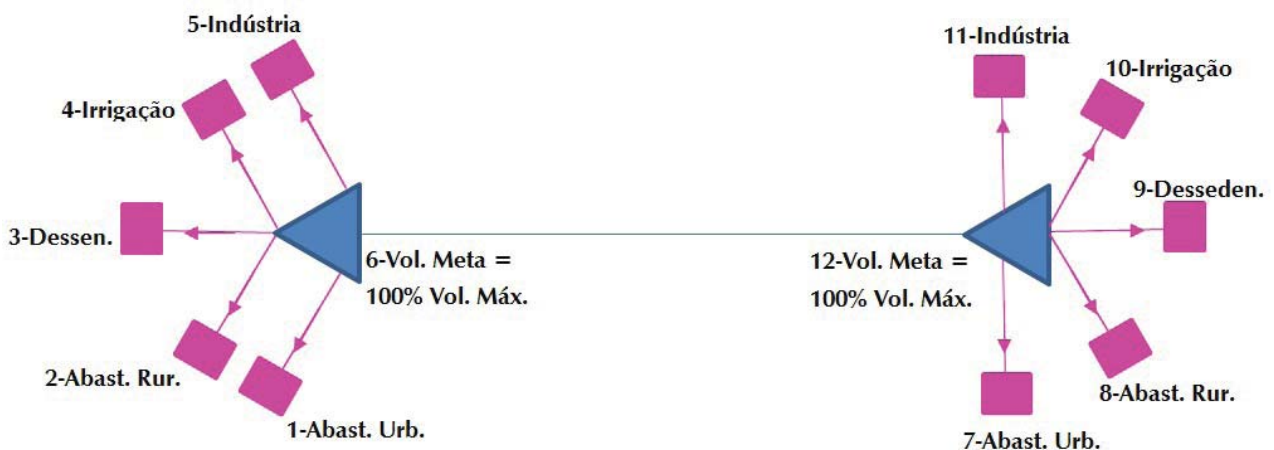


Figura 3.21 - Prioridades para Atendimento às Demandas dos Reservatórios e dos Trechos de Jusante Intermitentes

Uma vez definidos os dados de entrada para aplicação do AcquaNet, foram elaboradas as redes de fluxo dos sistemas de reservatórios, tal como exemplificado na Figura 3.22, para os reservatórios da bacia do rio Paraíba.

No AcquaNet, a operação dos reservatórios é realizada a partir do conceito de volume meta (fração do volume máximo), ao qual se atribui uma prioridade. Desta forma, sempre que o volume armazenado for menor que o volume meta, o reservatório armazenará água desde que as outras prioridades da rede sejam menores. O volume armazenado acima do nível meta é livre para atender a quaisquer demandas por menores que sejam suas prioridades.

Para as simulações realizadas no presente estudo, o volume meta considerado foi igual a 100% da capacidade do reservatório, mas sua prioridade foi definida com sendo menor que a das demandas a serem atendidas. Portanto, o reservatório, primeiramente, atenderá às demandas e, sequencialmente, verificará a possibilidade de armazenar água. E sempre que houver excesso hídrico, ele será totalmente armazenado, garantindo uma situação mais favorável aos períodos seguintes.

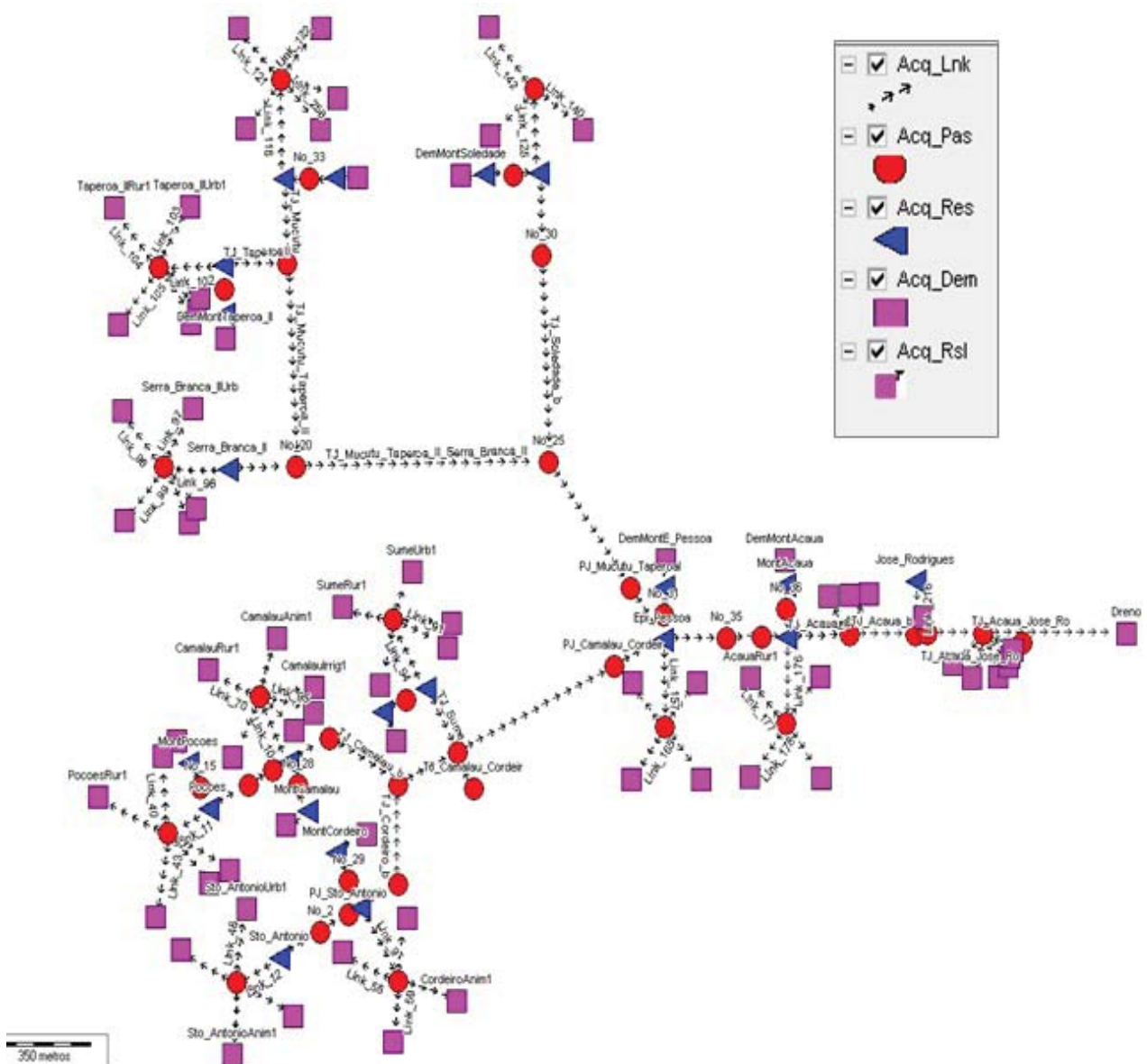


Figura 3.22 - Diagrama Unifilar da Bacia do Rio Paraíba para Aplicação do AcquaNet

4.4.2 Resultados Disponíveis

As Figuras 3.23 a 3.25 ilustram alguns resultados da etapa de balanço hídrico dos reservatórios, realizada com apoio do AcquaNet.

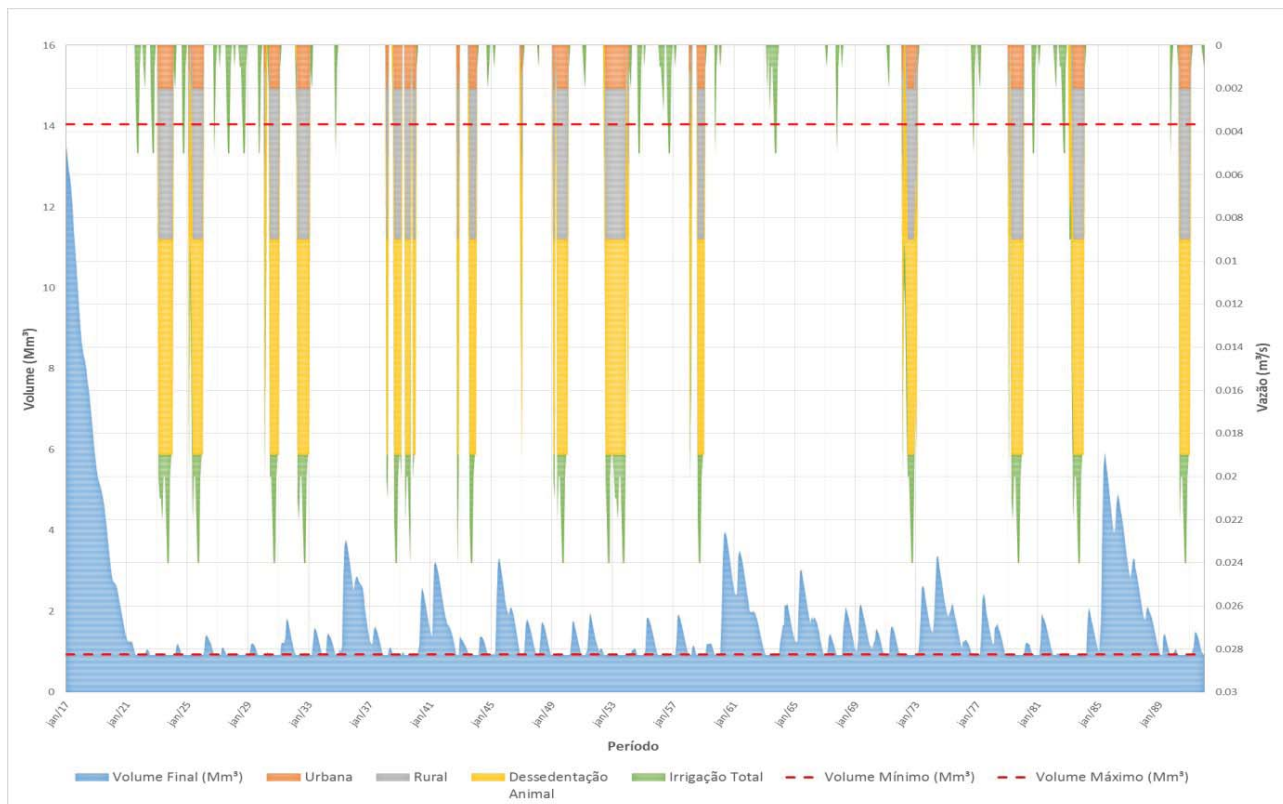


Figura 3.23 - Volume do Reservatório e Déficit de Atendimento às Demandas - Reservatório Serra Branca

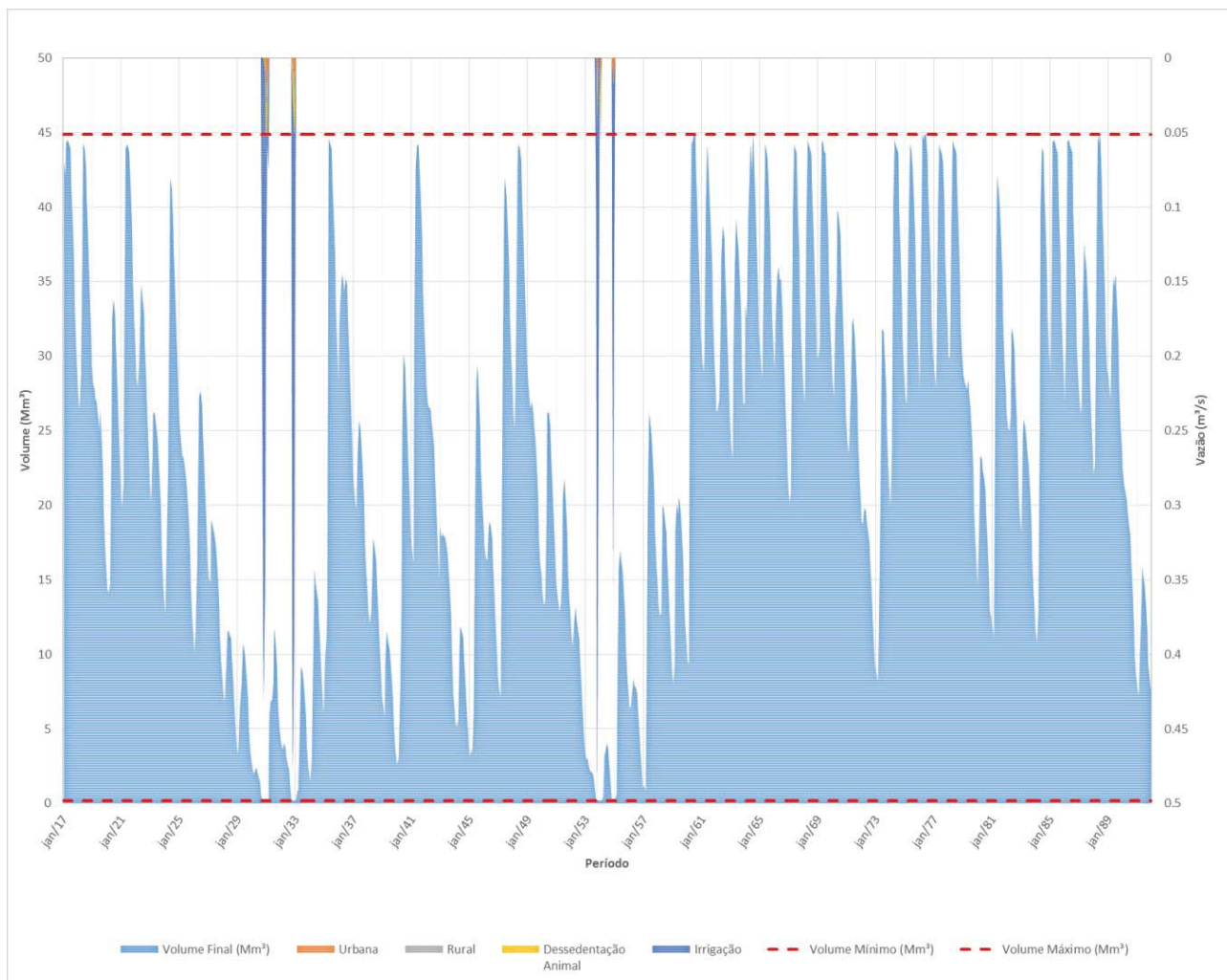


Figura 3.24 - Volume do Reservatório e Déficit de Atendimento às Demandas - Reservatório Sumé

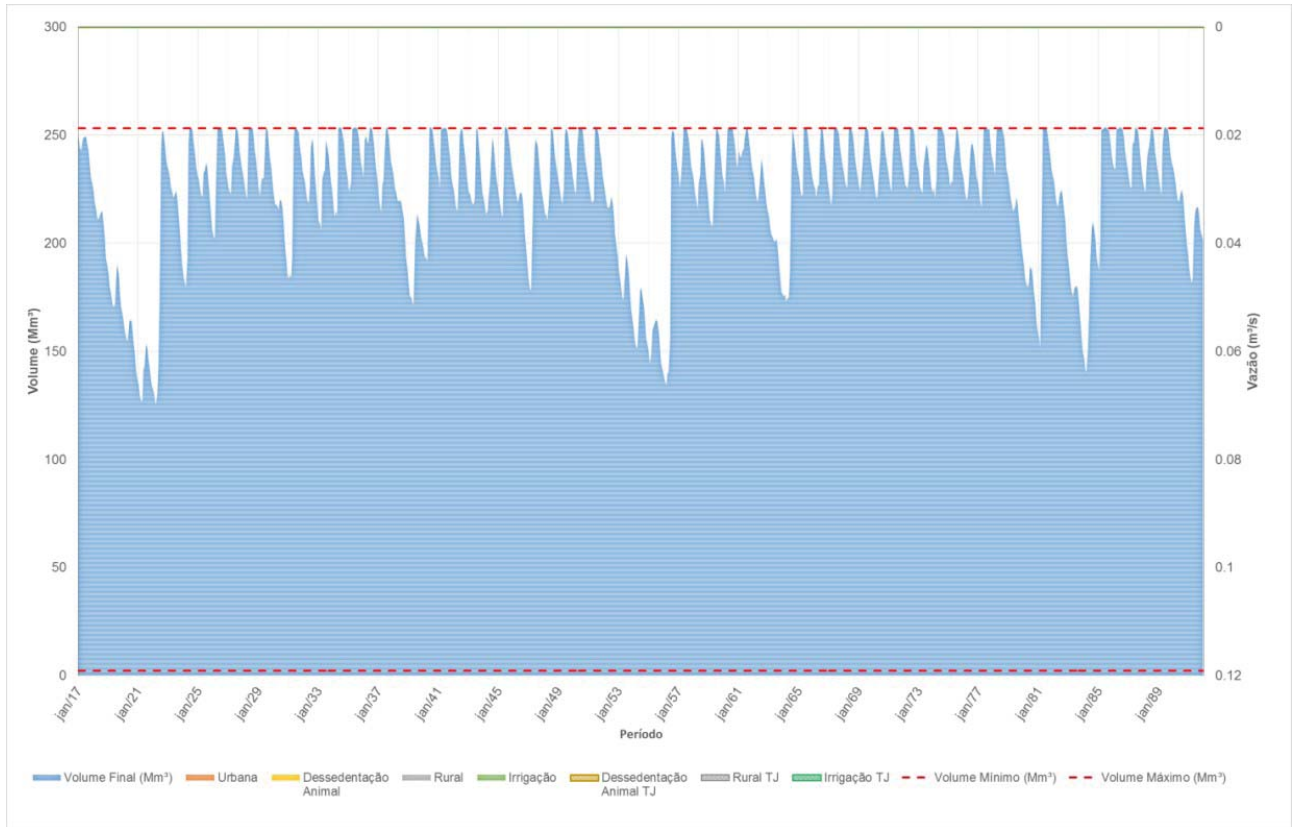


Figura 3.25 - Volume do Reservatório e Déficit de Atendimento às Demandas - Reservatório Acauã



4.5 Estabelecimento de Regras Operativas e Gestão do Risco

4.5.1 Metodologia Utilizada

4.5.1.1 Contextualização

As regras operativas dos 204 reservatórios, baseadas nas Curvas de Aversão ao Risco - CARs, foram definidas visando ao atendimento da maior quantidade de demandas possível. Desta forma, tais regras indicarão a necessidade de operação dos reservatórios/sistemas com restrições ao atendimento das demandas, fornecendo subsídios ao órgão gestor para uma maior eficiência e racionalidade nos processos de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos no Semiárido.

A CAR de um reservatório é obtida por um procedimento simples, baseado na solução da equação da continuidade, que ao longo de um intervalo de tempo Δt é dada por:

$$V_f = V_i + V_e - V_r - V_p$$

As grandezas envolvidas representam:

- ❖ V_i e V_f = volumes armazenados no reservatório respectivamente no início e no final de um intervalo de tempo;
- ❖ V_e = volume de água que entra no reservatório (afluência e precipitação);
- ❖ V_r = volume de água retirado para atendimento dos diversos usos;
- ❖ V_p = volume relacionado às perdas do reservatório (evaporação e infiltração).

Para determinação da CAR, a equação da continuidade é solucionada de maneira recursiva, partindo-se de um valor pré-fixado para o volume com que se deseja chegar ao final do horizonte de simulação, considerando-se níveis preestabelecidos das demandas e afluições. Desta forma, a partir da equação da continuidade, determinam-se os volumes iniciais que o reservatório deveria ter no início do horizonte para satisfazer às condições especificadas.

As CARs são de extrema importância no planejamento da operação de um reservatório, tanto na condição normal como nas situações de escassez hídrica e/ou conflitos pelos diferentes usos da água, considerando a necessidade de preservação de armazenamentos mínimos de segurança, de modo a garantir a controlabilidade do sistema hídrico.

A comparação das CARs com a situação atual do reservatório (nível/ volume acumulado) permite auxiliar nas decisões quanto à sua operação. Assim, quando os volumes efetivamente armazenados (pontos em vermelho no gráfico) forem superiores à CAR, existe um saldo positivo de água no sistema. Neste caso, o operador poderá escolher entre terminar o ano com um volume armazenado superior ao valor previamente definido ou liberar maior volume de água para atendimento das demandas.

4.5.1.2 Ferramenta Computacional Utilizada

Para obtenção das famílias de Curva de Aversão ao Risco, foi utilizada uma ferramenta de simulação desenvolvida pela ENGEORPS, especificamente para o presente estudo, com base em planilha Excel e macros programadas em linguagem Excel VBA (Visual Basic for Applications), de modo a automatizar o procedimento. Esta ferramenta baseia-se na seguinte metodologia, aplicada para cada combinação de [cenário de demanda] x [cenário hidrológico]:

- ❖ A equação da continuidade é solucionada de maneira recursiva a partir de planilha Excel, partindo-se do valor pré-fixado para a reserva estratégica, ou seja, para o volume com que se deseja chegar ao final do horizonte de simulação, considerando-se os diferentes cenários preestabelecidos das demandas. Desta forma, a partir da equação da continuidade, determinam-se os volumes que o reservatório deveria ter em cada mês do horizonte para satisfazer às condições especificadas;
- ❖ O mês de início do horizonte de simulação é ajustado para o reservatório selecionado, de modo que o mês de término da CAR coincida com o indicado pelo usuário (considerou-se o final do período seco como mês de término da CAR);

❖ É realizada a simulação integrada do sistema de reservatórios, ou seja, a topologia do sistema é considerada, de modo que os eventuais volumes defluentes de uma barragem constituem volumes afluentes aos reservatórios localizados a jusante (descontadas as demandas e perdas em trânsito ao longo do trecho). Assim, considera-se como vazão afluente a soma das seguintes parcelas:

- ♦ A série pseudo-histórica de vazões naturais incrementais estabelecida no Bloco 6, descontada a série de vazões afluentes ao reservatório virtual (que representa a demanda dos reservatórios localizados a montante dos reservatórios em estudo);
- ♦ A série de vazões resultante das simulações de balanço hídrico (Bloco 7) em cada link da rede do AcquaNet que tenha como nó final o reservatório onde se está calculando a CAR. Considera-se o resultado “vazão ótima nos links” obtido do balanço hídrico do AcquaNet.

❖ Dessa forma, na definição da CAR, para reservatórios localizados em série que não operam em conjunto e a transferência de vazões é resultante apenas de vertimentos, a interação entre ambos é feita através do cômputo das vazões transferidas de montante para jusante no AcquaNet. Deste modo, para o reservatório de jusante, as vazões afluentes são lidas pela ferramenta diretamente do arquivo AcquaNet.

❖ Quando se trata de reservatórios em série que operam em conjunto, a interação entre ambos é feita de duas formas:

- ♦ Para o reservatório de jusante, as vazões transferidas são lidas pela ferramenta diretamente do arquivo AcquaNet (vazões afluentes).
- ♦ Para que as vazões transferidas sejam consideradas como aflúências ao reservatório de jusante também no cenário de aflúência nula, a transferência deve ser representada no AcquaNet através de um lançamento direto no reservatório, cujo link deve ser nomeado de forma que contenha o termo “transf”.

A Figura 3.26 exemplifica a representação no AcquaNet da transferência de vazões do reservatório Fogareiro para o reservatório Quixeramobim, localizados na bacia do rio Jaguaribe (nó e link destacados em verde na figura).

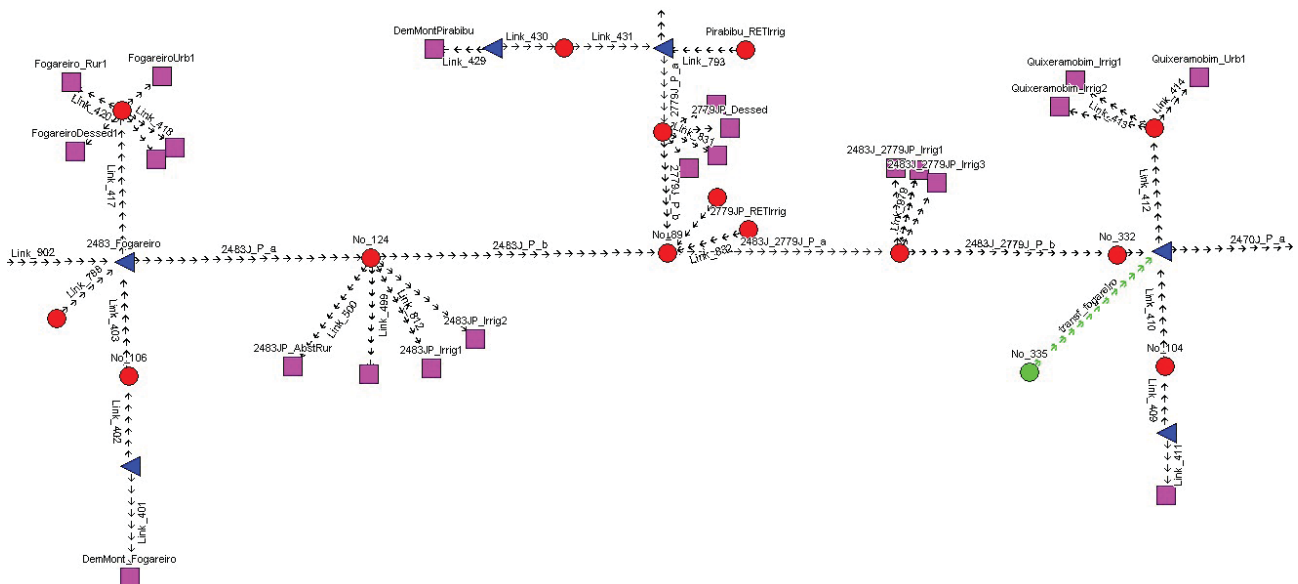


Figura 3.26 - Representação de Transferência no AcquaNet

- ♦ Para o reservatório de montante, a transferência de vazões é considerada como “uma demanda extra” a ser adicionada às demandas já atribuídas ao reservatório e ao seu trecho de jusante. Este acréscimo é inserido nos cenários de demandas do reservatório de montante.

4.5.1.3 Premissas para as Simulações

Com base nas práticas já adotadas pela ANA na alocação negociada com os usuários da água no Semiárido, adotou-se no presente estudo um horizonte de simulação composto por dois períodos de estiagem e um período úmido consecutivos. Desta forma, o horizonte de simulação da CAR possui duração média de 18 meses, sofrendo pequenas variações de acordo com a localização de cada reservatório em termos de região hidroclimatológica, que define a duração dos períodos hidrológicos secos e úmidos.

No que se refere à definição das perdas em trânsito, foram adotados os mesmos pressupostos e critérios definidos para a etapa de balanço hídrico, já descritos.

Quanto aos cenários hidrológicos, além do cenário de afluência nula, foram igualmente adotados cenários definidos pela permanência dos volumes necessários, em cada mês do horizonte da CAR, para atendimento às demandas.

Os cenários de demandas hídricas considerados na elaboração das CARs foram os seguintes:

❖ **Cenário 1: atendimento às demandas prioritárias**

Neste cenário, as retiradas de água do reservatório são realizadas exclusivamente para o atendimento das demandas prioritárias, ou seja, para as demandas de abastecimento humano urbano, abastecimento humano rural e dessedentação animal associadas tanto ao corpo do reservatório como ao trecho de rio a jusante do mesmo.

❖ **Cenário 2: atendimento às demandas totais**

Neste cenário, as retiradas de água do reservatório são realizadas para o atendimento de todas as demandas identificadas para abastecimento humano urbano e diluição de efluentes domésticos, abastecimento humano rural, dessedentação animal, irrigação e a abastecimento e diluição de efluentes industriais associadas tanto ao corpo do reservatório como ao trecho de rio a jusante do mesmo.

❖ **Cenário 3: atendimento restritivo**

Corresponde ao cenário em que se visa ao atendimento das demandas prioritárias e das demandas de abastecimento industrial em sua totalidade, restringindo-se o atendimento das demandas de irrigação apenas às culturas perenes. Desta forma, neste cenário, a irrigação de culturas temporárias e as vazões de diluição não são atendidas.

❖ **Cenário 4: atendimento potencializado**

Este cenário contabiliza o potencial aumento das demandas de diluição de efluentes domésticos, irrigação, abastecimento e diluição de efluentes industriais, atualmente associadas a trechos de rios intermitentes, em decorrência da possível disponibilização de água para perenização desses trechos, a partir das novas regras operativas a serem estabelecidas.

4.5.1.4 Realização das Simulações

A ferramenta desenvolvida pela ENGEORPS incorpora todas as funcionalidades necessárias para implementação da metodologia adotada para elaboração das Curvas de Aversão ao Risco, no tocante ao cálculo dos diversos cenários hidrológicos e cenários de demandas, à simulação de reservatórios com trechos perenes comuns a jusante, à operação integrada de reservatórios através de canais de interligação naturais ou artificiais e à transferência de vazões entre reservatórios, de montante para jusante.

Além disso, a ferramenta trabalha de forma integrada ao modelo AcquaNet e ao Banco de Dados do Projeto, dos quais efetua diretamente a leitura de seus dados de entrada, de forma automatizada, através de conexão ODBC. O usuário pode trabalhar com os dados obtidos nesses bancos ou editá-los na própria planilha Excel, caso deseje efetuar simulações ou estudos de casos diversos.

A ferramenta possibilita, assim, simulações em bacias complexas, nas quais trechos de rios perenes/perenizados recebem a contribuição de mais de um reservatório e/ou nas quais reservatórios operam em conjunto, ocorrendo a transferência de águas a partir de reservatório(s) de montante quando o reservatório de jusante não é capaz de suprir suas demandas por si só.

Ressalta-se, que na metodologia aqui descrita, as CARs continuam a ser obtidas considerando como afluências a cada reservatório os resultados do balanço hídrico realizado com o AcquaNet/Módulo Alocação de Água, que permanece sendo ferramenta fundamental no estabelecimento de diretrizes e na definição das regras operativas a serem utilizadas na gestão dos 204 reservatórios do Semiárido objeto do presente estudo.

Os dados necessários para obtenção das CARs, com apoio da ferramenta computacional elaborada pela ENGE-CORPS e de acordo com as premissas adotadas, bem como a fonte de cada informação, estão resumidos no Quadro 3.14.

Quadro 3.12 - Dados de Entrada para Obtenção das Curvas de Aversão ao Risco dos Reservatórios

| Código ANA | Reservatório |
|--|--|
| Reservatório em Análise | Definido pelo usuário através da interface da ferramenta Excel, estando disponíveis para análise os reservatórios em estudo inseridos no arquivo AcquaNet selecionado. |
| Curva Cota-Área-Volume | Leitura automática a partir do Banco de Dados do projeto, em função do reservatório selecionado. Estes valores poderão ser alterados pelo usuário antes de realizar o cálculo da CAR. |
| Volumes Característicos (mínimo e máximo operacional) | Leitura automática a partir do Banco de Dados do projeto, em função do reservatório selecionado. Estes valores poderão ser alterados pelo usuário antes de realizar o cálculo da CAR. |
| Vetor de Evaporação Líquida | Leitura automática a partir do Banco de Dados do projeto, em função do reservatório selecionado. Estes valores poderão ser alterados pelo usuário antes de realizar o cálculo da CAR. |
| Características do Ano Hidrológico (meses de início e de fim dos períodos úmido e seco) | Leitura automática do Banco de Dados do projeto, em função do reservatório selecionado. Estes valores poderão ser alterados pelo usuário antes de realizar o cálculo da CAR. |
| Vazões dos Cenários de Demanda | Os valores padrão são calculados pela ferramenta Excel através do botão "Compor Cenários de Demandas", a partir de leitura automática do Banco de Dados do projeto dos vetores de demandas hídricas, dos vetores de retornos das demandas e das perdas em trânsito do(s) seu(s) trecho(s) de jusante. Estes valores poderão ser alterados pelo usuário antes de realizar o cálculo da CAR. |
| Cenários Hidrológicos | Os cenários padrões sugeridos pela ferramenta são o de afluência nula e os referentes aos volumes com permanência 80%, 90% e 100%. Estes valores poderão ser alterados pelo usuário antes de realizar o cálculo da CAR. O cálculo dos cenários de permanência de volumes é feito utilizando-se a série de vazões afluentes. |
| Vazões Afluentes (Vazão Incremental + Vazão advinda das Defluências dos Reservatórios de Montante) | Leitura automática do arquivo AcquaNet indicado, em função do reservatório selecionado. |
| Vetores de Demandas Hídricas | Leitura automática a partir do Banco de Dados do projeto, em função do reservatório selecionado. Dado intermediário utilizado no cálculo dos cenários de demanda. |
| Vetores de Retornos das Demandas Hídricas | Leitura automática a partir do Banco de Dados do projeto, em função do reservatório selecionado. Dado intermediário utilizado no cálculo dos cenários de demanda. |
| Perdas em Trânsito | Leitura automática a partir do Banco de Dados do projeto, em função do reservatório selecionado. Dado intermediário utilizado no cálculo dos cenários de demanda. |

Continua

Continuação

| Código ANA | Reservatório |
|-----------------------------|---|
| Horizonte de Simulação | O valor padrão sugerido pela ferramenta é igual a um ciclo de descarga, ou seja, 2 períodos de estiagem e 1 período úmido, consecutivos, em função das práticas já adotadas pela ANA na alocação negociada com os usuários da água no Semiárido. Este parâmetro poderá ser alterado pelo usuário antes de realizar o cálculo da CAR. |
| Mês de Término da Simulação | O preenchimento padrão sugerido pela ferramenta é "Mês Fim Período Seco", em função das práticas já adotadas pela ANA na alocação negociada com os usuários da água no Semiárido. Este parâmetro poderá ser alterado pelo usuário antes de realizar o cálculo da CAR. |
| Reserva Estratégica | O valor padrão sugerido pela ferramenta é igual a 0% do Volume Útil. Este parâmetro poderá ser alterado pelo usuário antes de realizar o cálculo da CAR. |

4.5.2 Resultados Disponíveis

As Curvas de Aversão ao Risco obtidas com a aplicação da metodologia antes descrita podem ser representadas pelo gráfico da Figura 3.27, que ilustra, para um açude fictício, as curvas referentes aos cenários "Demandas Totais" (atendimento à demanda total existente), "Demandas Restritivas" (atendimento total à demanda dos usos prioritários e parcial da demanda dos usos não prioritários) e "Demandas Prioritárias" (atendimento somente à demanda dos usos prioritários), bem como a evolução dos volumes observados no reservatório. Neste caso, o volume do reservatório ao final do período úmido situado entre as curvas "Demandas Totais" e "Demandas Restritivas" indica a necessidade de se restringir os usos "normalmente" permitidos, a fim de compensar a baixa recarga ocorrida neste período.

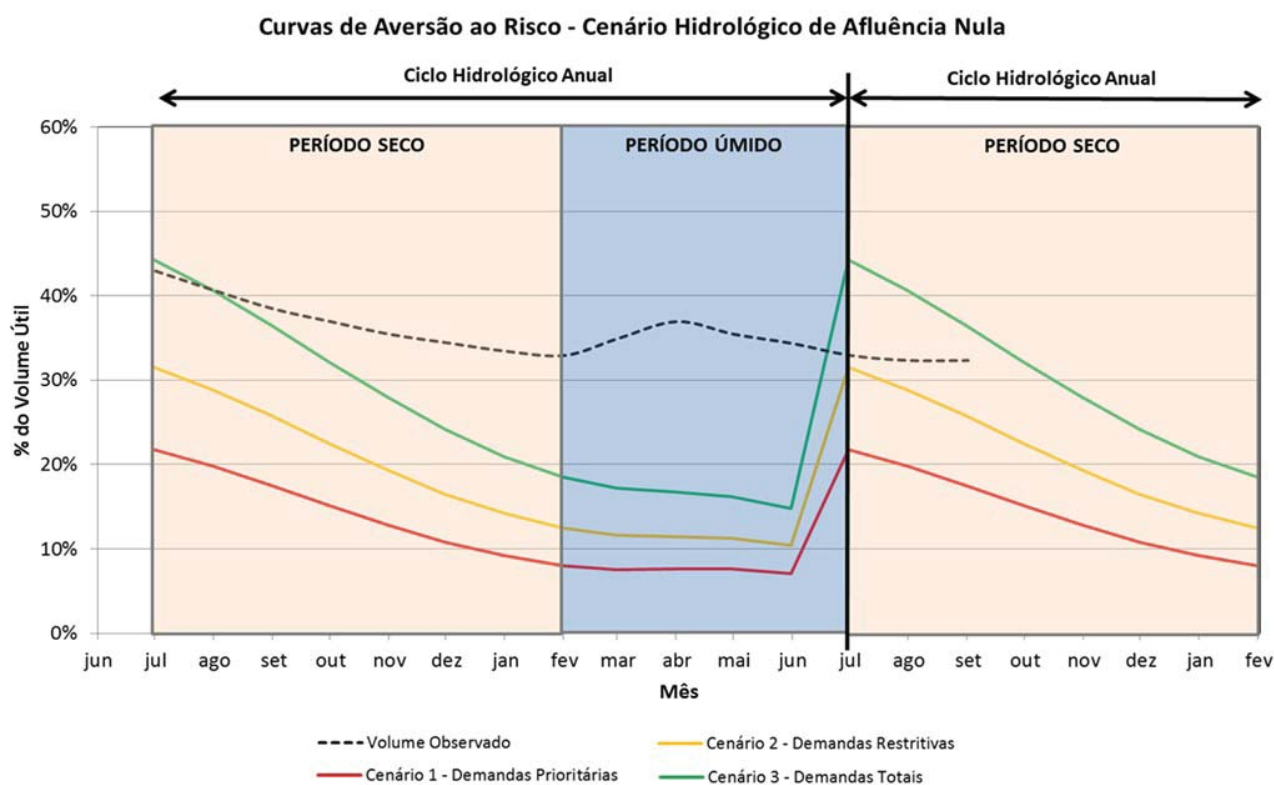
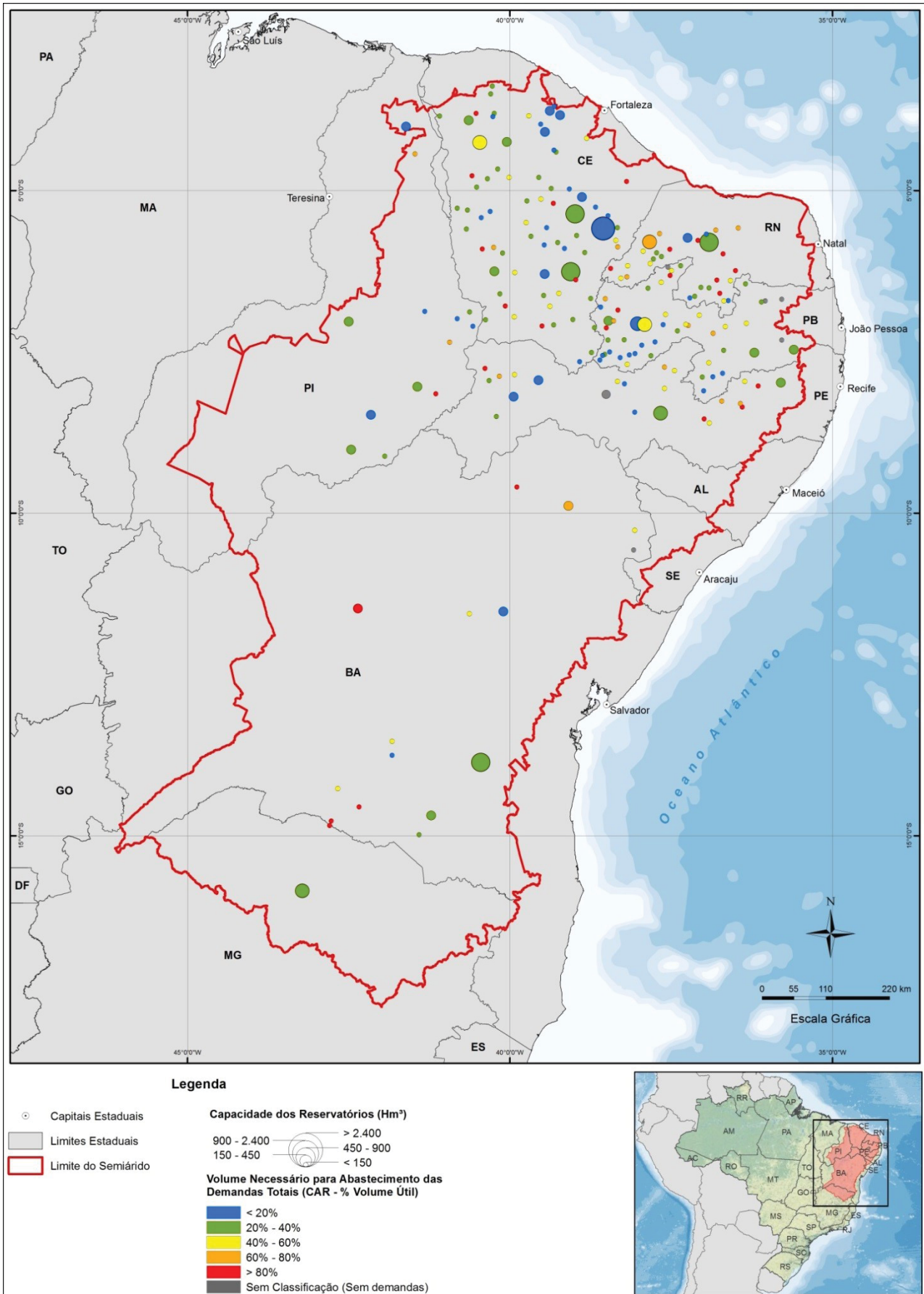


Figura 3.27 - Exemplificação de Curvas de Aversão ao Risco para Operação de Reservatório

As Figuras 3.28 e 3.29 ilustram alguns resultados de elaboração de regras operativas e gestão de risco dos reservatórios estudados, para o cenário hidrológico de afluência nula e, respectivamente, cenários de demandas totais e de demandas prioritárias.



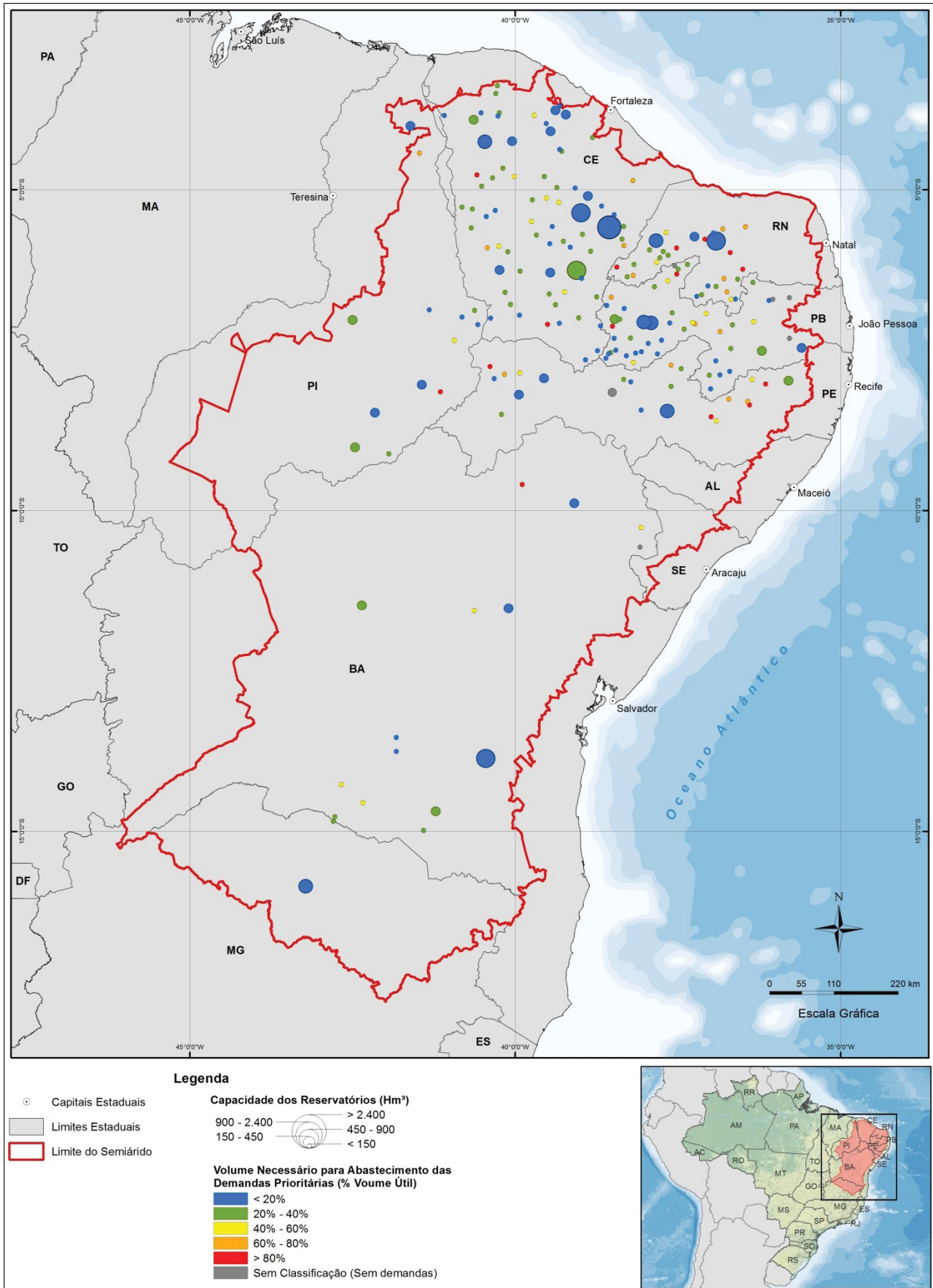


Figura 3.29 - Volumes Necessários para Abastecimento das Demandas Prioritárias - Cenário de Afluência Nula

4.5.2.1 Avaliação da Intensidade de Uso dos Reservatórios

O conceito de Intensidade de Uso dos reservatórios visa avaliar o comprometimento dos recursos hídricos de cada açude, baseando-se em uma avaliação conjunta dos resultados obtidos nas seguintes fases dos trabalhos:

- ❖ Simulações de balanço hídrico, realizadas mediante utilização do Sistema de Suporte à Decisão AcquaNet;
- ❖ Definição de regras operativas através da construção de Curvas de Aversão ao Risco (cenário de afluência nula).

Para cada açude, foi realizada uma análise da CAR, comparando-se o volume necessário, no início do período seco, para abastecimento das demandas totais a ele associadas (ou potenciais, quando existentes) à capacidade média de recuperação do reservatório. Quando o volume necessário para abastecimento das demandas era inferior à capacidade de recuperação, considerou-se que o reservatório ainda possui margem para abastecimento de novas demandas. Paralelamente, foram analisados os resultados das simulações de balanço hídrico, de modo a evitar a associação de novas demandas a reservatórios que já apresentam déficits frequentes na situação de operação atual.

Os reservatórios foram então classificados em três faixas de Intensidade de Uso:

| Intensidade de Uso | Descrição |
|--------------------|---|
| Baixa | Reservatórios com capacidade para abastecer novas demandas. |
| Média | Reservatórios capazes de atender as suas demandas atuais e/ou propostas pelo estudo, porém sem margem para o abastecimento de novas demandas. |
| Alta | Reservatórios que apresentam dificuldade para atender as suas demandas atuais. |

A Figura 3.30 apresenta a Intensidade de Uso para todos os 204 reservatórios.



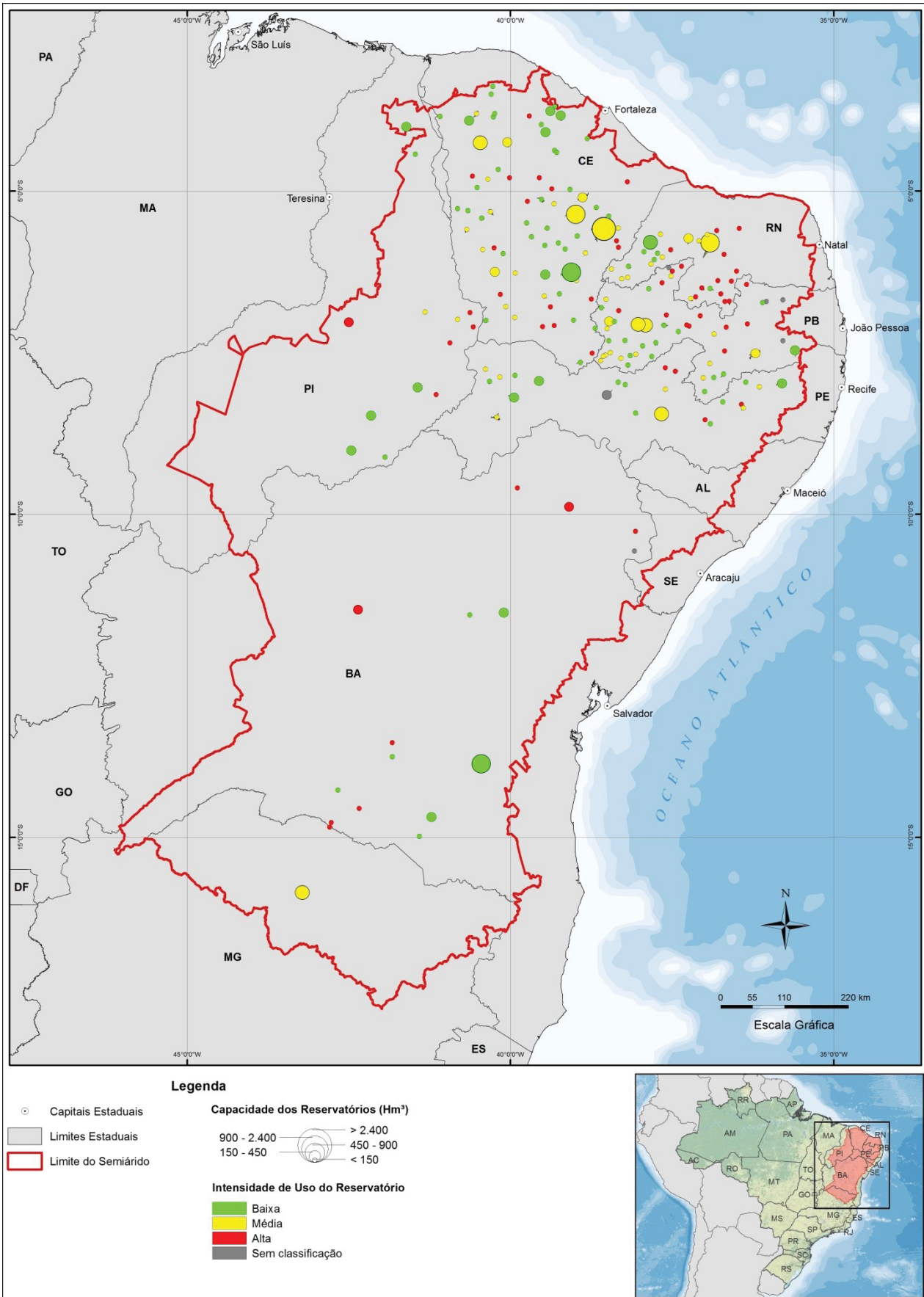


Figura 3.30 - Intensidade de Uso dos 204 Reservatórios

4.6 Recomendações para Adequação do Monitoramento Hidrometeorológico e Cadastral

Considerando o conteúdo das Fichas Técnicas de todos os 204 reservatórios e, principalmente, os resultados dos levantamentos de campo - que apontaram diversos problemas a serem corrigidos nas estruturas dos barramentos e nos respectivos dispositivos de acompanhamento hidrometeorológico em face do seu estado atual de conservação - foram apresentadas diretrizes de monitoramento e controle a serem mantidas, que possibilitem a implantação das regras operativas e de gestão de risco definidas pelo presente estudo, com eficiência e segurança.

Na esfera de monitoramento hidrometeorológico, tais diretrizes abrangem os seguintes aspectos principais:

- ❖ Elaboração de um programa de monitoramento hidrometeorológico das seguintes variáveis:
 - ◆ Volume acumulado: recomenda-se que nos açudes que não possuam réguas para leitura de nível se faça sua instalação e se implantem as rotinas com uma leitura diária de nível a serem realizadas sempre no mesmo horário.
 - ◆ Afluências ao reservatório: os postos fluviométricos, a serem instalados no rio principal e/ou seus tributários, deverão ser preferencialmente constituídos de lances de régua implantados nas margens dos cursos d'água, com sua operação feita por leiturista da região.

Recomenda-se a realização de no mínimo quatro campanhas anuais de medição de descarga para a determinação da curva cota x vazão do posto fluviométrico. Considerando que no Semiárido os rios são geralmente intermitentes, estas campanhas deverão ser realizadas no período de chuvas. Em rios perenes, deve ser considerada uma campanha adicional no período seco.

- ◆ Defluências do reservatório: recomenda-se que todas as tomadas d'água, sejam elas com função de liberação para jusante ou de abastecimento de demandas, sejam dotadas de medidores de vazão e/ou volume de água retirado do reservatório.

Ademais, deve-se proceder ao registro das vazões vertidas, sendo necessário para tal o conhecimento do NA do reservatório e da curva cota x vazão do vertedouro.

Destaca-se ainda que, nos reservatórios em que esteja prevista a adução de água a partir da calha do rio a jusante, recomenda-se a instalação de postos fluviométricos em trechos distanciados e com vazão constante para cálculo das perdas em trânsito.

- ◆ Precipitação e evaporação no lago: quanto às variáveis meteorológicas, recomenda-se a instalação de um pluviômetro na seção de barramento, com leitura e registro diário.

Com respeito à evaporação, por ser uma variável mais homogênea regionalmente e devido às dificuldades de medição, recomenda-se a obtenção de seus valores em posto meteorológico da região.

Para barramentos de maior porte, deve ser considerada a instalação de um Tanque Classe "A" e um evaporímetro Pichet, ou mesmo, de uma estação meteorológica completa.

A coleta e disponibilização dessas variáveis visam ao conhecimento do estado do reservatório e da disponibilização de água que está sendo realizada, dando transparência ao processo. Possibilita também a tomada de decisões de planejamento do uso do reservatório, à luz das regras operacionais definidas e acordadas entre os interessados, com base nos estudos operacionais realizados.

- ❖ Indicação e descrição, caso a caso, dos equipamentos a serem instalados para monitoramento dos reservatórios e monitoramento hidrometeorológico, com estimativa de custos.
- ❖ Elaboração de um programa de monitoramento e controle das estruturas e equipamentos.

No que diz respeito ao monitoramento cadastral, destacam-se as seguintes diretrizes:

- ❖ Identificação do projeto do reservatório e elaboração do cadastro das obras, com destaque para as estruturas do vertedouro, tomada d'água e bacia hidráulica;
- ❖ Identificação e análise do registro das informações disponíveis sobre a operação e manutenção dos açudes;
- ❖ Elaboração de Planos de Segurança das Barragens atendendo à Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens, e sua integração às ações de monitoramen-

to propostas.

Foram elaboradas fichas individuais para cada reservatório, contendo o detalhamento do diagnóstico da situação atual e relacionando todos os ajustes necessários e as recomendações propostas para atendimento às diretrizes antes citadas. Essas fichas estão disponíveis nos Relatórios Parciais RP09 A, B e C.

4.7 Elaboração do Banco de Dados do Projeto

O Banco de Dados do Projeto reúne e consolida as informações existentes acerca das características cadastrais, hidrológicas e de demandas associadas aos 204 reservatórios que foram objeto de estudo.

A estruturação e carga do Banco de Dados ocorreu simultaneamente ao desenvolvimento de todas as atividades, com o objetivo de sistematizar e organizar o conjunto completo de dados e informações levantados e os resultados obtidos.

O Banco de Dados do projeto foi desenvolvido no PostgreSQL 9.5.3 Encoding "UTF8", com a extensão PostGIS 2.2.2. O sistema de referência das informações utilizado foi o EPSG 4674 – SIRGAS 2000.

As tabelas e atributos do banco foram nomeados de acordo com as Regras e Padrões para Nomenclatura de Objetos, Versão 2.09, Rev. 16, 01/03/2011, adotadas pela ANA.

O modelo lógico de dados da versão final do Banco de Dados do Projeto foi elaborado no programa StarUML (versão 2.7.0) com a extensão OMT-G para elaboração de banco de dados geográficos. Esse modelo inclui as bases de dados georreferenciadas (shapes de municípios, unidades de federação, hidrografia, espelhos d'água etc.), bem como todos os demais dados e resultados que foram levantados ou produzidos no âmbito dos trabalhos.

O dicionário de dados da versão final do Banco de Dados foi elaborado com base nos relatórios gerados pelo programa pgAdmin III para as tabelas existentes no Banco.

O Banco de Dados inclui também:

- ❖ O arquivo de instalação da ferramenta LabSid AcquaNet 2013, versão 1.45, de 21/12/2015, utilizada no presente trabalho, e o respectivo Manual de Utilização;
- ❖ A ferramenta CAR-EGC em arquivo de extensão ".xslm" (Pasta de Trabalho habilitada para Macro do Excel), versão 2.0, de setembro/2016, utilizada no presente trabalho, e o respectivo Manual de Utilização.





5 Considerações Finais

5 Considerações Finais

Os estudos desenvolvidos constituem, inegavelmente, um acervo completo, abrangente e atual sobre os grandes sistemas do Semiárido brasileiro que contemplam os 204 reservatórios analisados, armazenado em um banco de dados disponível para consulta, manipulação e atualizações, sempre que necessário, incluindo os arquivos do Sistema de Apoio à Decisão AcquaNet e da ferramenta computacional desenvolvida especificamente para o projeto. Dentre os reservatórios estudados, 120 foram objeto de coleta de dados primários em campo, constituindo amostra representativa e suficiente para caracterizar, de uma maneira geral, a infraestrutura de reservação de água existente em toda a região Semiárida. A similaridade das situações encontradas nesta amostra permite afirmar, em resumo, que essa infraestrutura demanda ações de fundamental relevância para que permita dar plenos subsídios às ações de gestão de recursos hídricos na região, em especial à alocação de água, quais sejam:

- ❖ Implantação de um amplo programa de recuperação das obras e equipamentos das barragens para que possam garantir as condições de segurança e funcionamento das suas estruturas de descarga, indispensáveis ao processo de operação integrada que se almeja. A substituição, modernização e implantação de equipamentos das tomadas d'água, de medição de vazões e volumes e de monitoramento dos maciços, se fazem necessárias para grande parte, se não a maioria das barragens, especialmente aquelas implantadas mais remotamente;
- ❖ Estabelecimento de um processo de manutenção sistemática das estruturas implantadas;
- ❖ Alocação de equipes e capacitação de gestores locais dos açudes.

O período de levantamento de campo para caracterização dos reservatórios foi coincidente com a extensão da seca de quatro anos consecutivos ocorrente no Nordeste. Dessa forma, pode-se constatar a situação de desabastecimento total ou parcial de grande parte das cidades e distritos situados nas vizinhanças dos reservatórios. Essa condição, inclusive, dificultou a obtenção de dados sobre demandas hídricas, bem como de dados sobre os reservatórios visitados, que se encontravam operando, a maioria deles, abaixo do volume mínimo operacional, com trechos de jusante secos. Exemplificando: a ausência da prática de irrigação já há alguns anos em algumas áreas da região de estudo, devido à falta de água, dificultou a estimativa das demandas correspondentes, levando à necessidade de serem inferidos dados, nem sempre com a precisão desejada. Adicionalmente, durante as visitas, verificou-se que parte dos reservatórios visitados não garante o abastecimento humano das cidades e distritos dependentes de suas águas. Tal fato fica mais evidente em situações de secas interanuais, como a verificada recentemente na região.

Por outro lado, a realização dos estudos e levantamentos de campo em período hidrológico de estiagem prolongada possibilitou o conhecimento in loco das condições críticas do Semiárido nesses períodos, e as consequências da escassez de recursos hídricos para a manutenção do abastecimento de água à população e para o suprimento hídrico às atividades econômicas, o que contribuiu para valorizar e qualificar os objetivos dos estudos realizados. Destaca-se, entretanto, que para efeitos das estimativas de disponibilidades hídricas, a atual escassez hídrica não influenciou os resultados obtidos, já que se fez uso de séries extensas de precipitações nas bacias contribuintes aos reservatórios, definindo-se, por conseguinte, séries extensas de afluências aos reservatórios, que, em todos os casos, superaram 75 anos, com as séries mais longas abrangendo o período de 1913-2013 (em 131 reservatórios do estudo) e as menos extensas contemplando o período de 1917-1991 (reservatórios da bacia do rio Paraíba).

Ainda no que diz respeito às disponibilidades hídricas naturais do Semiárido, e como é de amplo conhecimento, a combinação entre aspectos de natureza geológica, tais como a ocorrência de substrato cristalino, e de natureza climatológica constitui forte determinante do comportamento fluvial regional, fazendo emergir a intermitência como a característica mais marcante dos rios nos domínios interioranos. Atuando no mesmo sentido, encontram-se as elevadas taxas de evaporação observadas na região, não sendo raras taxas totais anuais superiores a 2.000 mm. A influência da magnitude desses valores sobre a eficiência das barragens locais é tal que se pode chegar a até cerca de 1/3 da vazão média afluyente sendo anualmente consumida pela exposição dos espelhos d'água, penalizando fortemente a decisão de manutenção da água nos reservatórios para enfrentamento dos períodos de estiagem, tanto na escala temporal intra como interanual.

Tal cenário justifica ainda mais fortemente a inserção, dentre os objetivos dos estudos, do estabelecimento das Curvas de Aversão ao Risco – CAR – de todos os reservatórios, o que contribuirá para orientar a alocação de água entre os diferentes usuários, em períodos hidrológicos distintos, incluindo períodos de estiagem - tais como o que caracterizou o Semiárido justamente durante o desenvolvimento dos estudos -, que resultam em aflúncias nulas, quando prover o uso múltiplo das águas na região passa a requerer decisões complexas e onerosas.

Neste contexto, para cada açude, foi realizada uma análise conjunta dos resultados obtidos nas simulações de balanço hídrico e das CARs construídas para o cenário de aflúncia nula. Os reservatórios foram então classificados em faixas de Intensidade de Uso, visando avaliar o comprometimento de seus recursos hídricos e definir novas regras operativas. Como resultado desta análise, concluiu-se que, dos 204 reservatórios simulados, apenas 85 possuem capacidade para abastecer novas demandas. Os 119 reservatórios restantes operam no limite de sua capacidade ou já apresentam déficits frequentes no atendimento as suas demandas atuais.

Adicionalmente, é importante salientar que, apesar de constituírem recurso importante na gestão dos recursos hídricos e nas alocações de água dos reservatórios, as Curvas de Aversão ao Risco não devem ser analisadas de forma isolada quando da autorização de novos usos nos reservatórios e/ou respectivos trechos de jusante, haja vista que a CAR considera a utilização plena do volume útil do reservatório no horizonte de simulação escolhido, na expectativa de que ocorra uma recuperação deste volume no período úmido seguinte. Como essa recuperação é fortemente influenciada pelo regime hidrológico local, deverá haver, no caso concreto, um balanço favorável entre as vazões afluentes ao reservatório e a evaporação líquida na área do lago, que seja suficiente para promover o enchimento do açude até o nível necessário/desejado. Destaca-se ainda que, enquanto a CAR considera um horizonte médio de simulação de 18 meses, as estiagens podem prolongar-se por períodos mais extensos, como comprova o atual cenário de estiagem, que se estende desde o ano de 2010 até o presente ano de 2016.

A partir dos resultados gerados pelo presente estudo, cabem algumas recomendações, contemplando estudos adicionais e monitoramentos:

- ❖ Levantamento das condições de assoreamento atual e progressivo de todos os reservatórios, o que resulta na redução dos seus volumes úteis, contribuindo para restringir o seu potencial de abastecimento às demandas a eles associadas;
- ❖ Avaliação da qualidade das águas dos reservatórios, sujeitos a processos de salinização e eutrofização que inviabilizam seu uso para suprimento a diversas demandas, tal como constatado pelo presente estudo;
- ❖ Mapeamento e acompanhamento do uso e ocupação do solo na bacia de drenagem dos reservatórios e nas suas Áreas de Preservação Permanente, algumas hoje ocupadas de forma desordenada e em completa desobediência às prescrições legais;
- ❖ Implementação de ações de controle ambiental que possibilitem das áreas de preservação no entorno dos reservatórios e ao longo dos cursos fluviais a montante e jusante;
- ❖ Avaliação contínua das séries de dados pluviométricos e fluviométricos que deram suporte aos estudos realizados, de modo que esses registros sejam atualizados permanentemente e possam ser utilizados em estudos futuros similares;
- ❖ Realização de estudo complementar, mediante reavaliação dos reservatórios que receberão transposição de águas a partir do Projeto de Integração do Rio São Francisco com o Nordeste Setentrional, uma vez que a oferta hídrica desses açudes será ampliada, alterando sua capacidade para atendimento às demandas situadas nas respectivas áreas de influência.

Finalmente, cabe ressaltar que os estudos desenvolvidos pela ANA abrangeram mais de 80% do volume hídrico armazenado no Semiárido, sendo facilmente extensível aos demais reservatórios que não foram abordados, de modo a abranger a totalidade da reserva hídrica dessa região.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-8210-048-6



9 788582 100486



MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

