



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA**

**EULINA MARIA DE MOURA**

**AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E DA DEMANDA  
HÍDRICA NO TRECHO DO RIO PIRANHAS-AÇU ENTRE OS  
AÇUDES COREMAS-MÃE D'ÁGUA E ARMANDO RIBEIRO  
GONÇALVES**

**Natal  
2007**

EULINA MARIA DE MOURA

**AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E DA DEMANDA  
HÍDRICA NO TRECHO DO RIO PIRANHAS-AÇU ENTRE OS  
AÇUDES COREMAS-MÃE D'ÁGUA E ARMANDO RIBEIRO  
GONÇALVES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Marozzi Righetto

Natal  
2007

Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Central  
Zila Mamede. Divisão de Serviços Técnicos

Silva, xxxxxxxxxxxx .

Estudo da dinâmica superficial e geotécnico das falésias do município de Tibau do Sul - Litoral oriental do RN / William de Souza e Silva. - Natal, 2003.

150 p. : il.

Orientador : xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária.

EULINA MARIA DE MOURA

**AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E DA DEMANDA  
HÍDRICA NO TRECHO DO RIO PIRANHAS-AÇU ENTRE OS  
AÇUDES COREMAS-MÃE D'AGUA E ARMANDO RIBEIRO  
GONÇALVES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Dr. Antônio Marozzi Righetto – Orientador

---

Dr. Arthur Mattos– Examinador UFRN

---

Dr. Alain Marie B. Passerat de Silans– Examinador Externo UFPB

Natal, 26 de março de 2007

## Agradecimentos

*Era uma vez uma menina muito tímida e acanhada que ingressara na universidade logo no curso de Engenharia Civil, onde 95% da turma era composta por meninos; logo, ela se tornou mais tímida e mais acanhada.*

*Sem saber direito o que queria, ela descobriu duas coisas muito rapidamente: uma - que adorava cálculo I, II, III...; duas – que a amizade com meninos podia ser muito boa, sincera e até fraterna. E quantos irmãos ela fez! Ferdnando, Do Bú, Daniel, Nacib, Petrovick, Paulinho, Jan, Manassés, Zé Roberto...*

*Foi então que no quarto período entrou na sala de aula um professor francês, sério, que prendeu a atenção de todos com seu dom de ensinar com clareza, precisão e muita sabedoria. A disciplina era Mecânica dos Fluidos.*

*Não sei se foi encanto, se foi profunda admiração ou uma terna paixão. Sei que ela está aqui hoje porque um dia disse para si mesma: “Eu quero ser igual a esse homem, saber tudo o que ele sabe!”, envolta por um estado de graça, de alegria e paz, diante de um homem que passou a ser mais que um professor. Professor Alain era, e é, um ídolo e um anjo para ela!*

*Se esse momento foi o despertar da sua vocação, foi observando-o que a descobriu. E daquela disciplina em diante seu nome não era mais Eulina, pois a partir dali todos a chamavam de “Eulhin” (modo como prof Alain a chamava devido ao seu sotaque francês, e que se tornou seu apelido por muito tempo!).*

*Quanta felicidade Eulhin sentiu quando conseguiu uma bolsa de Iniciação Científica no LARHENA- Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental, para trabalhar ao lado do prof Tarciso Cabral e prof Alain, em um projeto que de fato forma gerações de novos pesquisadores!*

*O convívio com as pessoas do LARHENA a transformou! A menina acanhada se transformou na menina ainda tímida mas decidida a se dedicar à pesquisa, e com responsabilidades; e depois se transformou na menina corajosa e confiante que apresentou trabalho em um Simpósio!*

*Carinho especial e agradecimentos aos seus amigos do LARHENA: Laíse e Chico, o casal mais querido daquele laboratório; os companheiros de pesquisa de campo, ou melhor, de aventuras: Cristiano, Alyne, Gustavo, Seu Edílson e Vitorino, pessoas que lhe passaram muito conhecimento, o qual teve o prazer de transmitir para outros nesse projeto tão apaixonante que foi o IBESA e agora, BEER; a dupla mais simpática e doce do LARHENA: Louvânia e Maurício; ao companheiro de curso, de estudo, de batalha e de vitórias, Ferdnando; aos professores amigos: Celso e Hamilcar; ao seu primeiro orientador, prof<sup>o</sup> Tarciso Cabral, que acreditou nela desde o primeiro momento; e a secretária mais sorridente e alegre, Dona Joana!*

*Como um pai que permite que sua filha saia do lar para crescer e amadurecer longe de seus olhos mas carregando seus ensinamentos, professor Alain a deixou ir para outro lar, o LARHISA- Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, entregando-a à professor Righetto, que a recebeu com amabilidade e confiança.*

*É que grande surpresa Eulhin teve em seu mestrado! Com quantas pessoas lindas ela conviveu! Fez amigos verdadeiros, mediante um intercâmbio saudável de confiança, auxílios recíprocos e doações de sorrisos, alegria e amor!*

*Agradecimentos a todos os amigos que fez no LARHISA: Prisciliana, Fernanda e Anderson, amigos de conversa, de desabafos, de sorrisos e muita diversão; Thayse, Lícia, Cibele, Sayonara e Joelson, amigos receptivos, que a*

*acolheram e foram prestativos sempre; Victor, uma amizade muito valiosa e sincera; Marco Túlio, Diógenes, Daniel, Carlos Magno, Rafael, Licia Cristian, Ana Miriam, Eduardo e Gervásio, amigos atenciosos, parceiros de verdade, pessoas de bom coração cuja convivência é prazerosa; Seu Assis e Jair, sempre dispostos a ajudar; aos professores João Abner, Luiz Pereira, Lúcio, Cícero, André Galado, Marcos Lacerda, Olavo e Pilar, sempre tão gentis com ela, e unidos no desejo de ver o LARHISA prosperar; Leonor, a secretária mais engajada em proporcionar momentos de alegria e união através das festinhas tão importantes e tão divertidas.*

*Eulhin encontrou no LARHISA tesouros que nem esperava: amigos-irmãos, amigas verdadeiras que nunca tivera, e professores de grande iluminação interior, Professor Righetto e Professor Arthur, que ofertam para seus alunos, além da sabedoria: ajuda, ternura, carinho, afeto, muita paciência, atenção, alegria, estímulo e confiança.*

*São pessoas de alto valor moral, cuja amizade dignifica aquele com quem convive. E ao lado deles, ela ficou muito menos tímida, mais sensível, mais guerreira, mais feliz!*

*Agradecimentos especialíssimos ao prof Righetto e prof Arthur, dois anjos que Nossa Senhora colocou na vida dela e que não mais sairão do seu coração!*

*Agradecimentos também ao grupo de professores que compõem o REHISA- Rede de Hidrologia do Semi-Árido, com os quais ela teve o privilégio de aprender observando-os, ouvindo-os conversar, debater, em reuniões que fizeram-na progredir intelectualmente. Quão grande foi o prazer de dar sua pequena contribuição para a realização dos grandes planos, projetos e sonhos desses profissionais, e que se tornaram seus também!*

*E ainda, agradecimentos a todos os profissionais da área de Recursos Hídricos que a ajudaram e atenderam aos seus pedidos, contribuindo para o sucesso da sua dissertação. Agradecimentos a Joana D'arc, em nome da SERHID; a Laudízio e Guttemberg, em nome da AESA; a tio Ivanilson, em nome do DNOCS; e a Rubens Maciel, em nome da ANA.*

*Por fim, o que seria dessa menina sem a educação e os ensinamentos valiosos, o apoio e amor infindáveis dos três grandes amores da sua vida: painho (João Moura), mainha (Gracinha) e sua irmã Aline, os quais analisam toda essa evolução da menina e lhe dão forças através do amor e do carinho.*

*Seguindo as orientações deles na vida pessoal, as orientações dos seus queridos professores na vida profissional, e o seu coração, ela sabe que estará bem, fazendo seu caminho.*

Obrigada Deus por tudo isso!

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xii
<b>LISTA DE SIGLAS</b> .....	xiv
<b>RESUMO</b> .....	xv
<b>ABSTRACT</b> .....	xvi
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	5
2.1. AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E DAS DEMANDAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS NORDESTINAS .....	7
2.2. MODELAGEM HIDROLÓGICA E SIMULAÇÕES .....	10
2.3. ESTUDOS HIDROLÓGICOS ANTERIORES .....	13
<b>2.3.1. Bacia do Rio Piranhas-Açu</b> .....	13
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	20
3.1 ÁREA DE ESTUDO .....	20
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO PIRANHAS-AÇU .....	27
3.3 DESCRIÇÃO DO TRECHO EM ESTUDO .....	37
<b>3.3.1 Trecho 01: Do Lago do Reservatório Coremas-Mãe D'Água até à jusante da confluência dos rios Piancó e Piranhas</b> .....	40
<b>3.3.2 Trecho 02: Da confluência dos rios Piancó e Piranhas até a divisa dos Estados PB/RN</b> .....	46
<b>3.3.3 Trecho 03: Da divisa PB/RN até à montante do Lago do Reservatório Armando Ribeiro Gonçalves.</b> .....	49
<b>MÉTODOS</b> .....	57
I. Identificação das estações fluviométricas localizadas ao longo do curso do rio principal e de seus afluentes, bem como o levantamento das séries de vazões correspondentes; .....	57
II. Identificação dos postos pluviométricos inseridos nos limites da bacia e posterior preenchimento de suas falhas; .....	57
<b>O Modelo Chuva-Vazão MODHISA</b> .....	59
III. <i>Delimitação das Sub-Bacias para Aplicação do MODHISA</i> .....	62
IV. <i>Cálculo da Precipitação Média Mensal nas Sub-Bacias</i> .....	65

V. <i>Aplicação e Calibração do MODHISA nas Sub-Bacias</i> .....	66
VI. <i>Balanço hídrico nos açudes</i> .....	67
VII <i>Simulação</i> .....	70
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	74
4.1 Calibração do MODHISA .....	74
4.2 CURVAS DE GARANTIA.....	89
4.3 CURVAS DE PERMANÊNCIA.....	102
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b> 9
<b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	121

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01- Distribuição dos usuários cadastrados segundo suas finalidades .....	15
Figura 02- Localização da Bacia do Rio Piranhas-Açu. ....	20
Figura 03- Mapa dos municípios da Bacia do Rio Piranhas-Açu.....	21
Figura 04- Mapa da Bacia do Rio Piranhas-Açu inserida no Estado da Paraíba .....	23
Figura 05 – Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu inserida no Estado do Rio Grande do Norte .....	24
Figura 06- Vista do açude Coremas- Mãe D' água.....	25
Figura 07- Vertimento do Açude Mãe-D' água .....	26
Figura 08- Vista do açude Armando Ribeiro Gonçalves.....	27
Figura 09- Zonas de atuação média dos três principais sistemas meteorológicos que produzem a precipitação no nordeste brasileiro.....	28
Figura 10- Limites de atuação das famílias de curvas pluviométricas do estudo de Strang (1972) .....	29
Figura 11 – Localização das estações de medição das variáveis climatológicas.....	30
Figura 12- Divisão dos trechos.....	38
Figura 13- Hidrografia do trecho em estudo: principais afluentes, localização dos açudes relevantes e dos postos fluviométricos, os limites das sub-bacias e a divisão dos sub-trechos.....	389
Figura 14- Ponte sobre o rio Piancó.....	40
Figura 15- Demandas hídricas nos trecho do rio Piranhas-Açu .....	433
Figura 16- Rio Piranhas no município de Pombal .....	466
Figura 17- Seção de réguas no Rio Piranhas na divisa PB/RN.....	488
Figura 18- Rio Piranhas-Açu no município de Jardim de Piranhas- RN .....	499
Figura 19- Rede de postos pluviométricos da bacia do Rio Piranhas- Açú.....	588
Figura 20– Organograma de Cálculo do MODHISA.....	60
Figura 21- Bacias livres e fechadas consideradas na simulação.....	64
Figura 22- Resultado da geração dos Polígonos de Thiessen, na bacia do Rio Piranhas-Açu, pelo IDRISI.....	655
Figura 23- Comparação do volume simulado e observado do açude Bartolomeu I, considerando a demanda nula .....	699
Figura 24- Comparação do volume simulado e observado do açude Bartolomeu I, com a estimativa da demanda.....	70

Figura 25- Diagrama unifilar dos principais afluentes, açudes e postos fluviométricos do rio Piranhas-Açu no trecho entre os açudes Coremas Mãe-D'água e Armando Ribeiro Gonçalves .....	71
Figura 26- Calibração da bacia "livre" à jusante do açude São Gonçalo.....	766
Figura 27- Calibração da bacia do açude Bartolomeu I .....	777
Figura 28- Calibração da bacia do açude Engenheiro Ávidos.....	777
Figura 29- Calibração da bacia do açude São Gonçalo .....	788
Figura 30- Calibração da bacia do açude Lagoa do Arroz .....	788
Figura 31- Calibração da bacia do açude do Carneiro .....	799
Figura 32- Calibração da bacia do açude Engenheiro ArcoVerde.....	799
Figura 33- Calibração da bacia do açude Riacho dos Cavalos .....	80
Figura 34- Calibração da bacia do açude Capoeira .....	80
Figura 35- Calibração da bacia do açude Jatobá .....	81
Figura 36- Calibração da bacia do açude Farinha.....	81
Figura 37- Calibração da bacia do açude Sabugi.....	82
Figura 38- Calibração da bacia do açude São Mamede .....	82
Figura 39- Calibração da bacia do açude Itans .....	83
Figura 40- Calibração da bacia do açude Cruzeta .....	83
Figura 41- Calibração da bacia do açude Passagem das Trairas .....	84
Figura 42- Calibração da bacia do açude Marechal Dutra .....	84
Figura 43- Calibração da bacia do açude Várzea Grande .....	85
Figura 44- Calibração da bacia do açude Boqueirão .....	85
Figura 45- Calibração da bacia do posto Aparecida localizado no rio do Peixe .....	86
Figura 46- Calibração da bacia do posto Serra Negra do Norte localizado no rio Espinharas .....	86
Figura 47- Calibração da bacia do posto Jardim do Seridó localizado no rio Seridó.....	87
Figura 48- Calibração da bacia do posto Caicó localizado no rio Seridó .....	87
Figura 49- Calibração da bacia do posto São Fernando localizado no rio Seridó ...	888
Figura 50- Curva de garantia do açude Bartolomeu I.....	92
Figura 51- Curva de garantia do açude Engenheiro Ávidos .....	92
Figura 52- Curva de garantia do açude São Gonçalo .....	933
Figura 53- Curva de garantia do açude Lagoa do Arroz .....	944
Figura 54- Curva de garantia do açude Capoeira .....	944
Figura 55- Curva de garantia do açude Farinha.....	955

Figura 56- Curva de garantia do açude Jatobá .....	955
Figura 57- Curva de garantia do açude do Carneiro .....	966
Figura 58- Curva de garantia do açude Engenheiro Arcoverde .....	977
Figura 59- Curva de garantia do açude Riacho dos Cavalos .....	977
Figura 60- Curva de garantia do açude Cruzeta .....	999
Figura 61- Curva de garantia do açude Itans .....	999
Figura 62- Curva de garantia do açude Marechal Dutra .....	100
Figura 63- Curva de garantia do açude Passagem das Traíras.....	100
Figura 64- Curva de garantia do açude Sabugi.....	101
Figura 65- Curva de Permanência das vazões na seção de confluência do rio do Peixe com o rio Piranhas .....	1033
Figura 66- Curva de Permanência das vazões do posto Aparecida.....	1044
Figura 67- Curva de Permanência das vazões sintéticas geradas pelo MODHISA e pelo balanço hídrico dos açudes .....	1044
Figura 68- Curva de Permanência das vazões mensais do posto Pau Ferrado ...	1055
Figura 69- Curva de Permanência das vazões mensais observadas, afluentes ao rio Piancó, resultante da contribuição da bacia do Alto Piranhas e rio do Peixe.....	106
Figura 70- Curva de Permanência das vazões mensais sintéticas, e observadas nos postos.....	107
Figura 71- Curvas de permanência das vazões mensais na seção do rio Piranhas-Açu ao final do trecho 2.....	108
Figura 72- Curvas de permanência das vazões mensais na seção do rio Piranhas-Açu ao final do trecho 2.....	109
Figura 73- Curvas de permanência das vazões mensais na seção do posto de Serra Negra do Norte.....	110
Figura 74- Curva de permanência das vazões mensais na seção do posto Jardim de Piranhas, no rio Piranhas- Açu.....	111
Figuras 75 - Curvas de permanência das vazões mensais na seção do rio Piranhas-Açu no posto Jardim de Piranhas.....	112
Figuras 76 - Curvas de permanência das vazões mensais na seção do rio Seridó no posto São Fernando.....	113
Figuras 77 - Curvas de permanência das vazões mensais na seção do rio Piranhas-Açu no final do trecho 3.....	114
Figuras 78 - Curvas de permanência das vazões sintéticas mensais no trecho 3 ..	115

Figura 79- Curva de Garantia do açude Coremas-Mãe D'água.....	116
Figura 80- Hidrograma das vazões médias mensais na seção do Posto Pau Ferrado.....	117
Figura 81- Hidrograma das vazões médias mensais na seção do Posto Sitio Vassouras.....	117
Figura 82- Hidrograma das vazões médias mensais na seção do Posto Jardim de Piranhas.....	118

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01- Demandas atuais e projetadas para o Sistema Coremas – Açú: Estado da Paraíba.....	16
Tabela 02- Demandas atuais e projetadas para o Sistema Coremas – Açú: Rio Grande do Norte.....	17
Tabela 03- Vazões máximas disponíveis segundo a Resolução ANA nº 687 .....	19
Tabela 04- Áreas das Sub-bacias do Rio Piranhas-Açú .....	22
Tabela 05- Valores médios de evapotranspiração potencial e precipitação (em mm) no período de 1961-1990 em São Gonçalo .....	31
Tabela 06- Valores médios de evapotranspiração potencial e precipitação no período de 1961-1990 em Serra Negra do Norte .....	32
Tabela 07- Valores médios de evapotranspiração potencial e precipitação no período de 1961-1990 em Cruzeta.....	32
Tabela 08- Valores médios de evapotranspiração potencial e precipitação no período de 1961-1990 em Florânea .....	33
Tabela 09- Valores médios de evapotranspiração potencial e precipitação no período de 1961-1990 em Macau .....	33
Tabela 10- Tabela resumo das características da bacia .....	35
Tabela 11 – Municípios localizados no trecho 01 .....	40
Tabela 12-Afluentes e Açudes do Trecho 01 .....	41
Tabela 13- Açudes da Bacia do Alto Piranhas .....	41
Tabela 14- Municípios da Bacia do Alto Piranhas.....	42
Tabela 15- Postos fluviométricos nos rios Piancó, Piranhas e Peixe .....	44
Tabela 16– Postos pluviométricos localizados na bacia de contribuição do rio .....	45
no trecho 01 .....	45
Tabela 17 – Postos pluviométricos da Bacia do Alto Piranhas.....	45
Tabela 18 – Postos pluviométricos da Bacia do Rio do Peixe.....	45
Tabela 19- Municípios localizados no trecho 02.....	46
Tabela 20-Afluentes e Açudes do Trecho 02 .....	47
Tabela 21- Postos Pluviométricos do trecho 02 .....	48
Tabela 22- Municípios localizados no trecho 03.....	50
Tabela 23- Municípios localizados na Bacia do Rio Espinharas .....	50
Tabela 24- Açudes da sub-bacia do Rio Espinharas.....	51

Tabela 25-Afluentes e açudes do Rio Piranhas –Açu no trecho 03 .....	51
Tabela 26- Postos pluviométricos localizados no trecho 03.....	52
Tabela 27- Postos pluviométricos da Bacia do Rio Espinharas .....	52
Tabela 28- Açudes da sub-bacia do Rio Seridó .....	53
Tabela 29- Municípios localizados na Bacia do Rio Seridó.....	54
Tabela 30- Postos pluviométricos da Bacia do Rio Seridó.....	55
Tabela 31- Estações fluviométricas no rio Seridó .....	56
Tabela 32 – Dados médios de evaporação (em mm).....	68
Tabela 33- Parâmetros do MODHISA para as bacias dos açudes localizados na sub-bacia do rio Seridó .....	74
Tabela 34- Parâmetros do MODHISA para as bacias dos açudes localizados na sub-bacia do rio Espinharas.....	74
Tabela 35- Parâmetros do MODHISA para as bacias dos açudes localizados na sub-bacia Médio Piranhas.....	75
Tabela 36- Parâmetros do MODHISA para as bacias dos açudes localizados na sub-bacia do Alto Piranhas e rio do Peixe.....	75
Tabela 37- Parâmetros do MODHISA para as bacias “livres”, monitoradas em seu exutório .....	75
Tabela 38- Vazões regularizadas pelos açudes da bacia do Alto Piranhas.....	93
Tabela 39- Vazões regularizadas pelos açudes da bacia do rio Espinharas .....	96
Tabela 40- Vazões regularizadas pelos açudes da bacia do Médio Piranhas .....	98
Tabela 41- Vazões regularizadas pelos açudes da bacia do rio Seridó .....	101
Tabela 42- Garantias das demandas futuras para cada trecho.....	1188

### LISTA DE SIGLAS

AAGISA-	Agencia de Águas, Irrigação e Saneamento da Paraíba
AESA-	Agência Executiva de gestão das Águas do Estado da Paraíba
ANA-	Agencia Nacional de Águas
ATECEL-	Associação Técnico-Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior
CPRM-	Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais
DNOCS-	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
EMPARN-	Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte
IBAMA-	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE-	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGARN-	Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte
INMET-	Instituto Nacional de Meteorologia
LARHENA-	Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental
LARHISA-	Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
LMRS-PB-	Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba
MODHAC-	Modelo Hidrológico Auto-Calibrável
MODHISA-	Modelo Hidrológico para o Semi-Árido
SCIENTEC	Associação para o Desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia
SERHID-	Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte
SEMARH-PB	Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais do Estado da Paraíba
SEMARH-RN	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

## RESUMO

A Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu é uma bacia Federal de 43.681,5 Km<sup>2</sup>, localizada no Semi-Árido nordestino, com 60% da sua área no Estado da Paraíba e 40% no Estado do Rio Grande do Norte. Seu curso d'água principal, o rio Piranhas-Açu, tem importância estratégica para o desenvolvimento desses dois Estados, pois é um manancial vital para inúmeras atividades sócio-econômicas realizadas ao longo do seu curso. O trecho compreendido entre o açude Coremas-Mãe D'água (PB) e o açude Armando Ribeiro Gonçalves (RN) possui diversos sistemas adutores, projetos de irrigação, e abastece várias cidades ribeirinhas. Todas essas atividades realizadas no trecho do rio vêm demandando elevado volume de água. Diante da importância desse manancial e da necessidade de implantação de uma gestão adequada, esse trabalho tem como objetivo realizar um levantamento minucioso e imparcial das condições reais de oferta de água desse trecho do rio Piranhas-Açu, através da modelagem hidrológica que incluirá a disposição dos principais açudes das bacias de contribuição do rio, e o balanço hídrico mensal destes. O modelo chuva-vazão aplicado nas sub-bacias foi o MODHISA- Modelo Hidrológico para o Semi-Árido, que é um modelo concentrado e de fácil aplicação. A simulação da transformação da precipitação média ocorrida nas sub-bacias em deflúvios afluentes ao rio Piranhas-Açu gerou 50 anos de dados sintéticos de vazão afluente aos principais açudes, para os quais foram construídas as curvas de garantia; e gerou 50 anos de dados de vazão sintética em pontos relevantes do rio Piranhas-Açu e de seus afluentes, possibilitando a construção das curvas de permanência das vazões ao longo do trecho estudado. Ao confrontar as vazões disponíveis com as demandas atuais e futuras de captação de água bruta do trecho, observou-se que as garantias de atendimento são elevadas, já que a porcentagem de permanência destas no trecho do rio é alta. Concluiu-se também que o MODHISA apresentou boa adequação às características hidrológicas das sub-bacias contribuintes do rio Piranhas-Açu e seus afluentes; tornando-se uma ferramenta de fácil aplicação e de bons resultados.

## ABSTRACT

Piranhas-Açu basin is a Federal watershed with a drainage area of 43.681,5 km<sup>2</sup>, sited at Brazilian northeast semi arid, with 60% of your area in Paraíba State and 40% in Rio Grande do Norte State. The main river, Piranhas-Açu, has strategic importance for development of these states, because it's an essential source for many socio-economics activities developed along watercourse. The river's reach between Coremas-Mãe D`água Dam and Armando Ribeiro Gonçalves Dam has many irrigation projects, and supply many riverside cities. All this activities practiced in this river's reach consumes high water volumes. Due the importance of this stream and the necessity of an adequate management, this work aims for an impartial and detailed evaluation of real water supply conditions in this river's reach, by the application of hydrological modeling, including the arrangement of main dams in tributaries, and storage reservoir water balance. The rainfall-discharge model's applied in each sub-basins it was selected the model MODHISA- Hydrological Model of Semi Arid, that is a concentrated model with easy application. The simulation produced 50 years of inflows into the reservoirs, for which, were constructed the guaranties curves; and produced 50 years of synthetic discharge data in relevant points on the river and on its affluents; so it was constructed the permanence curves. Confronting the available discharge with the current and futures volumes of raw water captured in this river's reach, it was verified that de demands have high guaranties. This work concluded that the MODHISA Model is suitable to reproduce the hydrologic characteristics of Piranhas-Açu sub-basins, and showing good results.

# 1 INTRODUÇÃO

O Nordeste brasileiro apresenta condições hídricas desfavoráveis que combinam: evapotranspiração potencial alta durante todo ano, precipitação mal distribuída, sub-solo desfavorável em muitas regiões (água salobra ou formação cristalina) e baixo desenvolvimento econômico social. A água é fator essencial de desenvolvimento rural em regiões de grande variabilidade sazonal desse recurso e em regiões secas como o Nordeste, onde a viabilidade do desenvolvimento econômico depende, muitas vezes, da disponibilidade de água. (TUCCI *et al*, 2000).

A presença da água é um fator condicionante porém não suficiente para o desenvolvimento. Na região de maior acúmulo de água do Estado da Paraíba, por exemplo, o nível educacional da população é alarmante, aliado à famílias numerosas, à falta de saneamento básico e à pobreza.

As regiões do Semi-Árido paraibano e potiguar apresentam um quadro bastante contraditório. É uma região com um dos maiores índices de açudagem do mundo, principalmente no Sertão e no Seridó, porém a política de construção de açudes para atenuar o problema da escassez de água não resolve, visto que estes não têm demonstrado capacidade de garantir o abastecimento humano prioritário nos períodos de grande estiagem e não consegue resolver a demanda difusa existente no semi-árido. Além disso, essa política torna-se mais ineficiente devido principalmente à falta de gestão.

Incoerentemente, falta gerenciamento da água justamente na região onde a população sofre com a escassez desse recurso. São freqüentes as imagens de açudes quase vazios, mas, ainda assim, com potentes bombas de sucção, captando grandes volumes de água para irrigação, mesmo quando a maior parte da população do entorno está sedenta e depende de carros e jegues-pipa, em clara violação da lógica, da ética e da legislação.

Olhando-se ao redor, vê-se uma vegetação completamente adaptada, que é a caatinga; mas a população, nem tanto. Esta convive com a fragilidade sócio-econômica, provocada pelo fenômeno das secas.

Muitos dos açudes construídos estão salinizados ou contaminados por esgotos, algas tóxicas e resíduos agrotóxicos, tornando a água imprópria para consumo

humano e animal. No entanto, a população precisa usar esta água imprópria pela mais absoluta falta de alternativa.

Em meio à seca, o semi-árido possui áreas naturais com características especiais, formadas por rios perenizados, solos sedimentares ou cristalinos profundos, relevo plano ou suavemente ondulado, onde a agricultura irrigada é praticada em alta escala. A irrigação é uma atividade de grande investimento dos governos Federal e Estadual devido aos inúmeros benefícios financeiros por ela gerados, como empregos diretos e indiretos com diminuição do êxodo rural. Porém o atendimento às altas demandas de água requeridas por essa atividade gera conflitos com o uso da água para consumo humano nos períodos de estiagem.

Nesse contexto, e englobando todos esses fatores citados está a Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu. Ela é uma bacia Federal de 43.681,5 Km<sup>2</sup>, localizada no Semi-Árido nordestino, com 60% da sua área no Estado da Paraíba e 40% no Estado do Rio Grande do Norte. Seu curso d'água principal, o rio Piranhas-Açu, tem importância estratégica para o desenvolvimento desses dois Estados, pois é um manancial vital para inúmeras atividades sócio-econômicas realizadas ao longo do seu curso.

Esta bacia possui pólos agroindustriais, como o Pólo Alto Piranhas, perímetros de irrigação de até 5000ha que demandam água a jusante do Reservatório Coremas-Mãe D'água, além de irrigações difusas distribuídas ao longo do curso do seu rio principal até o Reservatório Armando Ribeiro Gonçalves; adutoras que abastecem vários municípios do Sertão paraibano e do Seridó norte-riograndense (Sistema Adutor São Bento, Coremas-Sabugi, adutora Riacho dos Cavalos, Canal Coremas-Sousa, adutora Piranhas-Caicó); e é o manancial de abastecimento de diversas cidades ribeirinhas.

Todas essas atividades realizadas no trecho do rio compreendido entre os dois reservatórios vêm demandando elevado volume de água. Isso pôde ser observado pelo grande volume de solicitações de outorgas encaminhado à ANA em 2003, principalmente para os usos da irrigação e da carcinicultura (principal atividade a jusante da barragem Armando Ribeiro Gonçalves). Aliado a esse fato existe a problemática da contaminação do rio e de seus afluentes via esgotos e poluição agrotóxica.

A infra-estrutura hídrica implantada ainda é insuficiente para combater a escassez de água na bacia. Apesar dela conter os reservatórios de maior relevância

para os dois Estados, estes não são acompanhados de um gerenciamento e a rede de monitoramento instalada na bacia é inexpressiva e insuficiente.

Segundo estudos realizados pelos órgãos governamentais, os dois Estados juntos já consomem 64,3% da oferta de água do rio Piranhas-Açu, com o agravante da demanda projetada para os próximos 10 anos, no trecho compreendido entre os dois reservatórios, ser muito superior à disponibilidade hídrica destes. O açude Coremas-Mãe D'água, que pereniza o Rio Piranhas-Açu até o lago do açude Armando Ribeiro Gonçalves, está no limite de uso da sua capacidade hídrica nas condições atuais de demanda.

Diante desse quadro, o aporte hídrico desse manancial requer uma gestão adequada. Há necessidade de se desenvolver modelos hidrológicos, bem como um levantamento minucioso e imparcial das condições reais de oferta de água do rio Piranhas-Açu, até para confrontar essas informações com as dos relatórios dos órgãos governamentais.

Almeja-se, neste estudo, contribuir no que concerne à conservação e ao uso racional dos recursos hídricos dos dois Estado, especificamente na Bacia do Rio Piranhas-Açu. Espera-se, primeiramente, fazer uma caracterização completa do trecho do rio compreendido entre os reservatórios Coremas-Mãe D'água e Armando Ribeiro Gonçalves, com dados dos municípios aí localizados, da rede de monitoramento existente, com identificação das estações fluviométricas localizadas ao longo do curso do rio principal e de seus afluentes e levantamento das séries de vazões correspondentes, e também identificação dos postos pluviométricos inseridos no limite da bacia; descrever os usos da água, a demanda atual requerida, os projetos de irrigação e os sistemas adutores implantados e projetados nesse trecho do rio; e uma breve caracterização da bacia, destacando a climatologia, geologia, vegetação e a apresentação de algumas variáveis hidrológicas importantes no balanço hídrico.

Em seguida pretende-se construir um diagrama unifilar da rede fluvial da bacia, levando em conta a disposição dos açudes mais relevantes. E, diante disso, realizar a modelagem hidrológica, utilizando um modelo concentrado chuva-vazão (o MODHISA), que será calibrado, para gerar deflúvios naturais nas sub-bacias de contribuição do rio Piranhas-Açu, no trecho estudado.

O encadeamento dos deflúvios juntamente com o balanço hídrico dos açudes da rede fluvial permitirá avaliar a capacidade hídrica das bacias dos principais

afluentes do rio Piranhas-Açu e dos principais açudes localizados nelas, com a construção de suas curvas de garantia. Como também permitirá determinar a disponibilidade hídrica por trechos do rio, através da elaboração das curvas de permanência das vazões em seções relevantes, que serão instrumentos para a avaliação das retiradas de água suportadas pelo rio.

Os resultados obtidos no presente estudo acrescentarão informações sobre o rio Piranhas-Açu em vários aspectos, no âmbito do desenvolvimento de estratégias que assegurem o fornecimento de água a todas as atividades econômicas e de subsistência que captam água bruta dele.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O atual reconhecimento de que os recursos hídricos são esgotáveis está relacionado com a poluição das bacias hidrográficas, com o crescimento populacional, e com as novas necessidades de consumo do homem, que fazem com que a demanda pelo uso da água aumente, aliada a conflitos pelo uso da água com conseqüente diminuição da oferta em termos de qualidade e quantidade (CARVALHO *et al*, 2002).

Existem muitos outros fatores que, unidos a essa crescente demanda e contínua degradação, contribuem para que esse recurso vital não esteja de fato disponível e acessível à população, principalmente na Região Semi-Árida Nordestina. Um fator é o próprio padrão de distribuição espacial da água disponível, o qual não coincide com a distribuição dos locais onde existem necessidades de seu consumo. Outro fator é a falta de infra-estrutura para encaminhar a água para as localidades mais secas, e a precariedade na execução do gerenciamento da quantidade de água ofertada e dos seus usos.

Tendo em vista a importância do conhecimento das reais disponibilidades de água em micro ou macro-escala, inúmeros estudos já foram realizados no Brasil. Desse acervo disponível serão enumeradas algumas das experiências em estudos sobre a avaliação da demanda e da disponibilidade hídrica em bacias nordestinas, bem como a descrição sucinta das metodologias empregadas.

Antes disso, alguns conceitos importantes devem ser citados (TUCCI, 2004), a saber:

- **Potencialidade:** representada pela quantificação dos recursos hídricos, em seu estado natural, sem a intervenção do homem, e depende das características hidrológicas, geográficas, climáticas e fisiográficas.

- **Disponibilidade:** representa a parcela das potencialidades ativadas pela ação humana, para adequar as ofertas às necessidades das demandas.

- **Demanda hídrica:** necessidade de uso dos recursos hídricos. Quanto à forma de utilização, os usos são classificados em:

- **Consuntivos:** refere-se aos usos que retiram a água de sua fonte natural, diminuindo suas disponibilidades espacial e temporalmente. Como exemplos temos: irrigação, dessedentação, usos públicos, domésticos, agricultura, pecuária, industrial, termoeletricidade e transporte hidráulico.
- **Não-Consuntivo:** refere-se aos usos que retornam à fonte de suprimento praticamente a totalidade da água utilizada, podendo haver alguma modificação no seu padrão temporal de disponibilidade. Como exemplos temos: navegação, recreação, piscicultura, hidroeletricidade, mineração e transporte, diluição e depuração de efluentes.

Segundo Cruz (2001) existe ainda uma distinção entre o conceito de disponibilidade hídrica e disponibilidade hídrica para outorga. A primeira pode ser entendida como o total das vazões ao longo do ano, na medida em que parte é utilizada pela sociedade para o seu desenvolvimento e parte é mantida na bacia para conservação da integridade de seu sistema ambiental e para atendimento de usos que não necessitam extrair ou derivar de um curso natural, como a navegação e a recreação. Por outro lado, a disponibilidade hídrica para outorga é a informação básica de apoio à decisão sobre a outorga de direito de uso de recursos hídricos e não corresponde ao fluviograma, mas a uma parcela do mesmo vinculada a uma certa garantia, compatível com a responsabilidade intrínseca do poder outorgante frente aos direitos concedidos aos usuários junto com a outorga. Também, essa disponibilidade não se refere apenas à quantidade de água, mas a condições relativas aos parâmetros qualitativos que podem indicar maior ou menor capacidade de diluição de poluentes. Em outras palavras, muito embora possa haver uma vazão ou volume razoável para suprir as necessidades dos usuários, essa água pode estar comprometida com a qualidade, de modo que, dependendo do uso, essa quantidade não possa ser utilizada ou mesmo derivada sem que as condições de qualidade do manancial se agravem a níveis incompatíveis com a sustentabilidade.

## 2.1. AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E DAS DEMANDAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS NORDESTINAS

Para a região Nordeste, muitos trabalhos foram feitos com esse fim; como exemplo, no Estado de Alagoas, Cunha *et al* (2002) desenvolveram um estudo para quantificar a disponibilidade hídrica superficial a fio d'água e com regularização de vazão para o rio Coruripe, diante da problemática eminente do uso descontrolado da água por parte de vários usuários difusos e da intensificação da demanda para irrigação. A metodologia adotada nesse estudo foi, primeiramente, a identificação dos postos pluviométricos, fluviométricos e evaporimétricos na área da bacia e no seu entorno. Depois, tratamento dos dados através do preenchimento de falhas e análise de consistência dos dados de precipitação pelo método da regressão linear; e o traçado da curva de permanência da série histórica de vazões, a fim de quantificar a disponibilidade hídrica a fio d'água na seção de medição da estação fluviométrica. Para o estudo de regularização, foi utilizado o software CASCATA; e para a geração de vazões afluentes, o modelo chuva-vazão MODHAC- Modelo Hidrológico Auto-Calibrável (Lana & Schwarzbach, 1989).

No mesmo ano, Carvalho *et al* caracterizaram os recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio São Miguel, localizada no litoral sul do mesmo Estado, dada a importância em se conhecer a disponibilidade de água em diversas seções desse rio já que nesta bacia teve início um processo de conflito grave entre os usuários que utilizavam água para a irrigação da cana-de-açúcar, o turismo e a pesca. A metodologia empregada teve como base a divisão da bacia em estudo em 3 sub-bacias, e o uso de duas das ferramentas que integram o Sistema SAGBAH 2000 (Viegas Filho, J.S, 1999): o CHUVAZ – Modelo de Chuva-Vazão, e o MODHAC. Para cada sub-bacia foram construídos fluviogramas das vazões mensais simuladas e as curvas de permanência, proporcionando assim, o conhecimento da sazonalidade das vazões e a quantificação da disponibilidade hídrica da bacia do rio São Miguel.

Mais tarde, Araújo & Mattos (2004) estudaram a disponibilidade hídrica no Estado de Alagoas a partir de dados diários de precipitação de 34 postos distribuídos em todo Estado, os quais possuíam mais de 22 anos ininterruptos de dados históricos. Os valores médios das precipitações diárias foram ajustados a uma função gama incompleta e foi calculada a precipitação mínima esperada associada ao nível de 75% de probabilidade. Com o resultado desses cálculos, foi

subtraído o valor da evapotranspiração e achado o valor da disponibilidade hídrica, em milímetros, para o estado de Alagoas. Através do uso do SIG- Sistema de Informações Geográficas, foram gerados mapas geo-referenciados que representavam a distribuição espaço-temporal da disponibilidade de água retratada em isolinhas em decêndios durante o ano.

No Estado de Pernambuco, Moreira *et al* (2003) apresentaram estudos hidrológicos que contemplavam a climatologia e os recursos hídricos superficiais, em termos de disponibilidade destes em períodos de estiagem na Região Metropolitana de Recife (RMR). Para se realizar a regionalização de vazões e melhor caracterizar a disponibilidade hídrica, foram obtidos dados de vazão através de medições diretas realizadas em alguns pontos, bem como leitura dos níveis de água em locais onde havia estação fluviométrica e uso da respectiva curva-chave, além do balanço hídrico em alguns reservatórios. Foram plotadas as curvas de permanência de vazões nas estações próximas a RMR e, com base em levantamentos anteriores, foram definidas isolinhas de vazões específicas que representaram a disponibilidade hídrica com 70% de permanência na RMR.

Posteriormente, Silva *et al* (2004) apresentaram, de forma sucinta, as principais demandas hídricas no Estado de Pernambuco: abastecimento humano, abastecimento animal, abastecimento industrial, irrigação e aqüicultura, bem como os principais empreendimentos de infra-estrutura hídrica propostos para o estado por diversos órgãos como alternativas de aumento da oferta de água. Segundo os autores, a gestão da demanda hídrica é tão ou mais importante que a gestão da oferta hídrica.

No contexto de bacias de domínio Federal, Pante *et al* (2004) apresentaram estudos de disponibilidade hídrica para as bacias dos rios Poti e Longá, que abrangem parte dos Estados do Piauí e Ceará e é formada tanto por rios de domínio da União como de domínio estadual. A disponibilidade foi estimada para 3 cenários, a saber: bacia em condições naturais, bacia com a infra-estrutura hídrica atual e bacia com a infra-estrutura hídrica atual somada à infra-estrutura projetada. A metodologia abrange as seguintes etapas: levantamento de dados pluviométricos e fluviométricos disponíveis para as duas bacias; análise de consistência das séries de precipitação através da análise das isoietas médias anuais, e em uma segunda fase, análise da consistência a nível mensal por meio do Método do Vetor Regional; espacialização da chuva nas sub-bacias em nível mensal utilizando o Método de

Thiessen; geração das séries afluentes aos reservatórios pelo modelo chuva-deflúvio CN- 3S (Curve Number with Three Step Antecedent Precipitation), ajustado em alguns postos fluviométricos da região; e simulação da cascata de reservatórios para a estimativa das disponibilidades hídricas com o auxílio do modelo de rede de fluxo AcquaNet (USP, 2002), o qual, a partir da equação de balanço hídrico e restrições físicas e operativas dos reservatórios, simula o atendimento às demandas, fornecendo a garantia desse atendimento.

Ainda no Piauí, Leão *et al* (2004) avaliaram as principais demandas hídricas, atuais e futuras da bacia do rio Guaribas (um rio típico de regiões áridas e semi-áridas), no município de Bocaína, onde está localizada uma barragem que pereniza um trecho desse rio (assim como o açude Coremas- Mãe D'água que pereniza o rio Piranhas-Açu estudado). Um conflito instalado entre irrigantes, logo à jusante da barragem, e usuários localizados após a cidade de Picos gerou a necessidade da implantação de um modelo de gestão compartilhada dos recursos hídricos acumulados nessa barragem. Para tanto, foi simulado o comportamento do reservatório utilizando o modelo ACQUANET, buscando subsidiar as decisões sobre a alocação das águas acumuladas na busca do máximo atendimento das demandas num horizonte de médio prazo.

Nos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte foram realizados estudos para a obtenção da disponibilidade hídrica em algumas bacias, a saber: bacia do Rio do Peixe -PB (SILANS<sup>1</sup> *et al*, 2000), bacia do Rio Taperoá-PB (PAIVA *et al*, 1999), bacia do Rio Gramame-PB (SILANS<sup>2</sup> *et al*, 2000), bacia do Rio Espinharas-PB/RN (NASCIMENTO JÚNIOR *et al*, 2004), bacia do açude de Cruzeta- RN (RIGHETTO *et al*, 2002) entre outras.

Nota-se que a demanda pode ser estimada a partir de um eficiente cadastramento de usuários, dinâmico e contínuo no tempo. O cadastro se apresenta como a base mais importante para o planejamento da região, principalmente no que tange a gestão dos recursos hídricos. Já a disponibilidade na bacia de interesse é variável no tempo e no espaço e é estimada a partir da avaliação do regime hidrológico da bacia. Sua caracterização é feita através de índices obtidos por diferentes funções, como a curva de permanência ou curva de frequência de vazões mínimas, as quais são calculadas a partir de dados fluviométricos ou de estudos que utilizem modelos hidrológicos. Isto pressupõe o monitoramento contínuo das variáveis indicadoras da sua disponibilidade através de registros dos níveis da água

e das vazões ocorrentes nos rios, do registro das precipitações e do conhecimento das condições climáticas (CRUZ *et al*, 2003).

Como a metodologia de avaliação da disponibilidade hídrica é normalmente baseada na série de registros fluviométricos, ela tem sua aplicação prejudicada pela crônica deficiência na disponibilidade desses dados no Nordeste. Impõe-se então, a necessidade da geração de séries pseudo-históricas de vazões, através de modelo chuva-deflúvio, a partir dos registros de pluviometria (PANTE *et al*, 2004). A seguir serão expostas algumas aplicações de modelos chuva-vazão.

## 2.2. MODELAGEM HIDROLÓGICA E SIMULAÇÕES

A simulação é considerada a técnica mais flexível utilizada em recursos hídricos, sendo essa uma das suas principais vantagens, pois permite que todas as características de um sistema sejam representadas por uma descrição matemática. Ainda como vantagens das técnicas de simulação, está a possibilidade de ser aplicável a sistemas complexos e aceitar quaisquer equações de restrição (AZEVEDO *et al*, 1997).

A simulação apesar de não ser otimizante proporciona meios para o tratamento detalhado do comportamento de sistemas, podendo-se avaliá-lo com maior precisão e prever a sua resposta quando algumas variáveis são modificadas (MAUAD *et al*, 2003).

O planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos em bacias hidrográficas da região Nordeste do Brasil requerem informações sobre potencialidade e disponibilidade em pontos específicos da bacia hidrográfica onde existem açudes, pontos de captação ou outros interesses. A geração dessas informações deve ser feita utilizando um modelo de transformação da chuva em vazão (SILANS *et al*, 2000).

A disponibilidade atual de poucas séries históricas de longa duração de deflúvios naturais tem motivado o emprego generalizado desses modelos para a geração de séries de dados sintéticos das vazões afluentes dos principais rios da Região (RIGHETTO *et al*, 2002).

Os fatores relevantes para a escolha do modelo chuva-deflúvio são (PANTE *et al*, 2004):

- i) disponibilidade de dados fluviométricos compatíveis com as exigências de calibração e validação do modelo;
- ii) formulação conceitual compatível com as condições e regime hidroclimatológico da região;
- iii) experiência regional prévia na aplicação do modelo. É importante que o modelo escolhido disponha de um acervo de parâmetros na região que facilitem as calibrações, orientando a busca e limitando o universo de valores possíveis dos parâmetros;
- iv) grau de detalhe pretendido no conhecimento dos deflúvios para cada unidade hidrográfica. O modelo, preferivelmente, deve ter sido desenvolvido para bacias com as mesmas dimensões das que se pretende estudar;
- v) possibilidade de regionalização dos parâmetros do modelo hidrológico para as outras bacias sem dados fluviométricos.

A utilização de alguns modelos chuva-vazão em bacias hidrográficas do Nordeste já foram mostradas no item 2.1, entre elas, o uso do MODHAC- Modelo Hidrológico Auto Calibrável, um modelo determinístico desenvolvido por Lana & Schwarzbach (1989) para a reconstituição de deflúvios em todas as bacias hidrográficas do estado do Ceará, quando da realização do atual Plano Estadual de Recursos Hídricos.

O Plano Diretor de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte (SCIENTEC, 1998) também aplicou o MODHAC para a geração de séries temporais de deflúvios naturais nas sub-bacias que formam a Bacia Hidrográfica do rio Piranhas-Açu: Bacia do rio do Peixe, do rio Piancó, do Alto Piranhas, do Médio Piranhas, do Rio Espinharas e do Rio Seridó.

O MODHAC é um modelo matemático de simulação da fase terrestre do ciclo hidrológico, com calibração automática dos seus parâmetros. Conhecidas séries simultâneas das variáveis motoras deste processo, chuva e evapotranspiração potencial, o modelo computa o armazenamento e a abstração da água na bacia (abstração de água na bacia ocorre pela evaporação direta da chuva, pela evaporação ou evapotranspiração dos reservatórios superficial e sub-superficial, pelo escoamento superficial e pela infiltração profunda que representa a água que sai da bacia dirigindo-se a outras de maior ordem ou a aquíferos subterrâneos profundos). O armazenamento é simulado através de três reservatórios fictícios que

representam a água armazenada superficialmente, a água armazenada sub-superficialmente, e a água armazenada nas camadas inferiores do solo, incluindo o aquífero (CARVALHO *et al* 2002).

Este modelo concentrado, do tipo chuva-vazão, teve seu desenvolvimento para ser aplicado tanto em bacias do semi-árido Nordeste quanto em regiões de clima temperado úmido do Sul do Brasil. Desta forma, presume-se que esse modelo possa ser aplicado a bacias de características diversas, não importando os aspectos climáticos, pedológicos, topográficos, geológicos e de cobertura vegetal existentes (NASCIMENTO JÚNIOR, 2004).

Silans<sup>1</sup> *et al* (2000) descreveram o AÇUMOD, um modelo hidrológico distribuído, especificamente voltado para a região semi-árida, que efetua o balanço hídrico diário dos açudes implantados na rede de drenagem da bacia hidrográfica, e aplicaram-no na Bacia do Rio do Peixe, sub-bacia da Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu no Estado da Paraíba.

Os valores de entrada desse modelo são: precipitação diária em cada posto pluviométrico e evapotranspiração potencial nesses mesmos pontos. A discretização fisiográfica da bacia é realizada a partir de uma malha quadriculada retangular, a qual, inicialmente, cobre toda a área da bacia. Em cada uma destas quadrículas é realizada a simulação do ciclo hidrológico, através de um conjunto de 4 reservatórios: reservatório solo, reservatório de infiltração, reservatório de escoamento superficial e reservatório de escoamento subterrâneo. Em seguida, simula-se o movimento da água entre quadrículas até se chegar ao exutório da bacia. A simulação do ciclo hidrológico na bacia é realizada através de 3 funções: função de produção de água, função de transferência de água e função balanço hídrico dos açudes (NASCIMENTO JÚNIOR, 2004).

Outras aplicações bem sucedidas do AÇUMOD em bacias semi-áridas nordestinas foram na bacia do rio Taperoá-PB (PAIVA *et al*, 1999) e na bacia do rio Espiranhas- PB/RN ( NASCIMENTO JÚNIOR, 2004), além da bacia do rio Gramame-PB (SILANS<sup>2</sup> *et al*, 2000), sendo esta uma bacia litorânea.

Righetto *et al* (2002) apresentaram o MODHISA (Modelo Hidrológico para o Semi-Árido), um modelo hidrológico simples, determinístico, concentrado e de equacionamento explícito, usado na transformação chuva-vazão mensal, aplicável a pequenas, médias e grandes bacias hidrográficas do semi-árido nordestino que contém grande número de açudes. A eficiência desse modelo foi verificada ao

aplicá-lo na geração de dados de vazões afluentes ao açude Cruzeta/RN visando simular a operação desse açude. Concluiu-se que o MODHISA reproduziu de forma satisfatória tanto as maiores quanto as menores vazões, com ajuste melhor que as vazões geradas pelo modelo utilizado no Plano Estadual de Recursos Hídricos do RN, o SSARR( Stream Flow Synthesis and Reservoir Regulation). O MODHISA demonstrou capturar os aspectos hidrológicos relevantes à Região.

Outra aplicação eficiente do MODHISA foi demonstrada por Righetto *et al* (2003). Nesse estudo foi feita uma simulação operacional preliminar do reservatório Armando Ribeiro Gonçalves, no sentido de se verificar a magnitude da sinergia hídrica, ou seja, do seu ganho em volume de água para o atendimento da demanda diante da redução de perdas por evaporação e vertimento, em diferentes cenários de demanda. Discutiu-se neste estudo, a possibilidade de se maximizar a utilização das águas represadas diante da garantia de uma vazão firme afluente que permitiria o rebaixamento do espelho d'água no reservatório, ou seja, se eliminaria a preocupação de reter grande quantidade de água para o período de estiagem, reduzindo-se assim a área evaporante e aumentando o volume de espera para acumulação de água nos períodos chuvosos. Os resultados obtidos mostraram que para se ter um melhor aproveitamento dos volumes de água armazenados no açude, a sinergia hídrica somente ocorreria num cenário em que a demanda superaria a oferta hídrica.

Constatada a adequação desse modelo a bacias do semi-árido nordestino, o MODHISA será aplicado nas sub-bacias que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu no presente estudo. Um maior detalhamento e descrição do seu funcionamento serão apresentados na metodologia.

## 2.3. ESTUDOS HIDROLÓGICOS ANTERIORES

### 2.3.1. Bacia do Rio Piranhas-Açu

Além dos estudos realizados para a elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte (SERHID, 1998), a bacia do Rio Piranhas-Açu foi estudada nos Planos Diretores das suas sub-bacias (SCIENTEC, 1996 e 1997 & ATECEL, 2000) e no Plano Diretor de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte-Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu no Território Paraibano (SCIENTEC, 1998).

Recentemente essa bacia está sendo o alvo dos estudos da ANA no processo de Articulação Institucional que teve continuidade através da elaboração do Convênio de Integração entre a ANA; o Estado da Paraíba, com a interveniência da Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais (SEMARH) e da Agência de Águas, Irrigação e Saneamento (AAGISA); o Estado do Rio Grande do Norte, com a interveniência da Secretaria dos Recursos Hídricos (SERHID, atual SEMARH) e do Instituto de Gestão das Águas (IGARN); e o DNOCS, com a finalidade de promover a gestão integrada, regularização e ordenamento dos usos dos recursos hídricos na Bacia do Rio Piranhas-Açu, notadamente no eixo que vai do Açude Coremas-Mãe D'Água até a foz do rio Piranhas-Açu, na cidade de Macau, denominado Sistema Coremas-Açu.

O Sistema Coremas-Açu foi dividido em seis sub-trechos (trechos 1 a 3 na Paraíba; trechos 4 a 6 no Rio Grande do Norte):

**Trecho 1:** Entorno do *Lago do Reservatório Coremas-Mãe D'Água*.

**Trecho 2:** Compreendido entre o Reservatório Coremas-Mãe D'Água e a confluência dos Rios Piancó e Piranhas.

**Trecho 3:** *Confluência dos rios Piancó e Piranhas até a divisa PB/RN.*

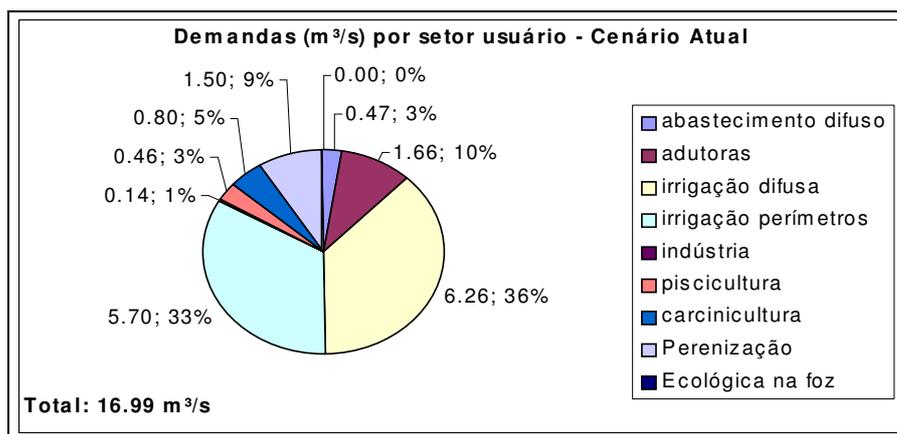
**Trecho 4:** *Divisa PB/RN até o Reservatório Armando Ribeiro Gonçalves.*

**Trecho 5:** Entorno do *Lago do Reservatório Armando Ribeiro Gonçalves*.

**Trecho 6:** *Reservatório Armando Ribeiro Gonçalves até a foz do rio.*

No âmbito das ações estabelecidas nesse Convênio, foi realizado em 2003 o cadastramento dos usuários da Bacia Piranhas-Açu no Estado da Paraíba e no Rio Grande do Norte. Nos meses de novembro e dezembro de 2005, foi realizada a Campanha de Regularização dos Usuários de água do Rio Piranhas-Açu para atualização do cadastramento e emissão do certificado de outorga aos usuários.

Foram cadastrados 1.634 usuários no Estado da Paraíba e 1.044 no Rio Grande do Norte (total de 2.678 usuários), os quais totalizaram uma vazão captada de 16,99 m<sup>3</sup>/s (BRAGA *et al*, 2004). O gráfico a seguir expõe o resultado final quanto ao uso da água nos dois Estados.



**Figura 01- Distribuição dos usuários cadastrados segundo suas finalidades**

De acordo com estudos elaborados pelos órgãos governamentais, os dois Estados juntos já consomem 64,3% da oferta de água dos dois reservatórios (uso atual na Paraíba de 4,134 m<sup>3</sup>/s e do Rio Grande do Norte, 13,423 m<sup>3</sup>/s), com o agravante de que a demanda projetada para 2015 no Sistema Coremas-Açu é de 55,596 m<sup>3</sup>/s (46,036 m<sup>3</sup>/s no RN e 9,56 m<sup>3</sup>/s na PB) ser muito superior à disponibilidade hídrica do sistema que é de 27,3 m<sup>3</sup>/s (7,9 m<sup>3</sup>/s é a vazão regularizável do Coremas-Mãe D'Água, apresentada no Plano Estadual de Recursos Hídricos, com 95% de garantia; e 19,4 m<sup>3</sup>/s é a vazão regularizada da Barragem Armando Ribeiro Gonçalves, com 90% de garantia, fundamentada no Estudo da Transposição das Águas do Rio São Francisco).

As **Tabelas 1 e 2** apresentam as demandas atuais, e projetadas para 2010 e 2015, por trecho e por finalidade.

**Tabela 01- Demandas atuais e projetadas para o Sistema Coremas – Açú: Estado da Paraíba**

Trecho	Finalidade	Demandas (m <sup>3</sup> /s)		
		Cenário 1 (atual)	Cenário 6 (ano 2010)	Cenário 5 (ano 2015)
<b>Açude Coremas - Mãe D' Água</b>	Abastecimento difuso	0.008	0.010	0.010
	Adutoras	0.047	0.099	0.099
	Irrigação difusa (atual)	0.096	0.096	0.096
	Irrigação em perímetros	1.000	1.875	4.000
	Indústria	0.000	0.000	0.000
	Piscicultura	0.013	0.013	0.013
	Carcinicultura	0.000	0.000	0.000
	<b>Total</b>	<b>1.164</b>	<b>2.093</b>	<b>4.218</b>
<b>Rio Piancó</b>	Abastecimento difuso	0.008	0.024	0.024
	Adutoras	0.445	0.717	0.717
	Irrigação difusa (atual)	0.702	0.900	1.143
	Irrigação em perímetros	0.000	0.500	0.500
	Indústria	0.000	0.000	0.000
	Piscicultura	0.001	0.020	0.040
	Carcinicultura	0.000	0.000	0.000
	<b>Total</b>	<b>1.156</b>	<b>2.161</b>	<b>2.424</b>
<b>Rio Piranhas</b>	Abastecimento difuso	0.019	0.024	0.024
	Adutoras	0.170	0.254	0.254
	Irrigação difusa (atual)	1.599	1.839	2.605
	Irrigação em perímetros	0.000	0.000	0.000
	Indústria	0.004	0.004	0.005
	Piscicultura	0.022	0.025	0.030
	Carcinicultura	0.000	0.000	0.000
	<b>Total</b>	<b>1.814</b>	<b>2.146</b>	<b>2.918</b>
<b>Total na Paraíba</b>		<b>4.134</b>	<b>6.400</b>	<b>9.560</b>

Fonte: BRAGA *et al* (2004)

**Tabela 02- Demandas atuais e projetadas para o Sistema Coremas – Açú: Rio Grande do Norte**

Trecho	Finalidade	Demandas, m <sup>3</sup> /s		
		Cenário 1 (atual)	Cenário 6 (ano 2010)	Cenário 5 (ano 2015)
<b>Montante da ARG</b>	Abastecimento difuso	0,115	0.115	0,200
	Adutoras	0,155	0.155	0,405
	Irrigação difusa (atual)	0,817	0.817	1,225
	Irrigação em perímetros	0,000	0.000	3,000
	Indústria	0,005	0.005	0,008
	Piscicultura	0,001	0.001	0,025
	Carcinicultura	0,000	0.000	0,000
	Turismo e Lazer	0,001	0.001	0,002
	<b>Total</b>	<b>1,094</b>	<b>1.094</b>	<b>1,865</b>
<b>ARG</b>	Abastecimento difuso	0,027	0.149	0,043
	Adutoras	0,130	0.328	0,445
	Irrigação difusa (atual)	0,076	0.076	0,076
	Irrigação em perímetros	0,000	0.920	7,440
	Indústria	0,001	0.002	0,002
	Piscicultura	0,000	0.000	0,000
	Carcinicultura	0,000	0.000	0,000
	<b>Total</b>	<b>0,234</b>	<b>1.475</b>	<b>8,006</b>
<b>Jusante da ARG</b>	Abastecimento difuso	0,288	0.360	0,378
	Adutoras	0,666	0.708	0,717
	Irrigação difusa (atual)	1,715	2.000	7,500
	Irrigação em perímetros	4,704	6.523	8,500
	Indústria	0,127	0.250	0,425
	Piscicultura	0,286	0.298	0,286
	Carcinicultura	0,805	4.400	8,054
	Perenização Piató/Panon	1,500	1.336	1,500
	Canal do Pataxó (abast. e irrig. difuso)	2,005	0.050	2,005
	Canal do Pataxó (irrigação difusa)	0,000	1.000	1,800
	Vazão ecológica - Foz	0,000	1.000	2,000
<b>Total</b>	<b>12,096</b>	<b>17.925</b>	<b>33,165</b>	
<b>Total no Rio Grande do Norte</b>	<b>13,423</b>	<b>20.494</b>	<b>46,036</b>	

A etapa regulatória foi concluída com a emissão da Resolução ANA nº 687, de 03 de dezembro de 2004, que dispõe sobre o Marco Regulatório decenal, sujeito a avaliações bienais, para a gestão do Sistema Coremas-Açú. Ela estabelece que a vazão máxima disponível para captação pelo conjunto dos usuários de água do Sistema será de 26,30 m<sup>3</sup>/s, já descontada da vazão ecológica de 1,00 m<sup>3</sup>/s no final do Trecho 6, e determina as vazões discriminadas por trecho e por finalidade de uso, além dos limites de vazão máxima disponível para o Estado da Paraíba (6,4 m<sup>3</sup>/s) e para o Rio Grande do Norte (20,9 m<sup>3</sup>/s). Ademais, essa Resolução define

que a ANA deverá delegar para os Estados competência para emitir outorgas no Sistema Coremas-Açu nas áreas de abrangência de seus territórios, que será emitida uma única outorga para cada trecho e que as outorgas terão validade de até dez anos e serão reavaliadas a cada biênio.

A Resolução estabelece ainda que as vazões de captação e derivação inferiores a 0,50 l/s serão consideradas insignificantes, portanto dispensadas de outorga, e que a vazão mínima no rio Piranhas na divisa geográfica dos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte será de 1,50 m<sup>3</sup>/s nos cinco primeiros anos de vigência da Resolução, e de 1,00 m<sup>3</sup>/s a partir do sexto ano, de acordo com as necessidades hídricas do Estado do Rio Grande do Norte no Trecho nº 4. Além disso, a Resolução avança no que respeita a critérios para o monitoramento qualitativo e quantitativo dos recursos hídricos e, para efeitos de fiscalização, define onze seções de monitoramento no Sistema. Define também regras operativas para a geração de energia de usina hidrelétrica existente e valores de consumo per-capita para o abastecimento público e a adequação das demandas de água para a finalidade carcinicultora e índices de eficiência mínima para os projetos de irrigação.

Um recente estudo realizado por Lima *et al* (2005) criticou o não envolvimento da parte à montante do Reservatório Coremas-Mãe D'água na elaboração do Marco Regulatório, visto que as intervenções possíveis a montante desse sistema, tais como: conclusão ou construção de reservatórios, implantação de perímetros irrigados e a operação dos 24 reservatórios de montante interferirão na sua disponibilidade hídrica e, conseqüentemente, no atendimento às demandas de jusante. O estudo mostrou que é inadequada a utilização da vazão regularizável com garantia de 100% como parâmetro de planejamento de uso dos recursos hídricos deste sistema, e que o mesmo se encontra no limite de uso da sua capacidade hídrica nas condições atuais de demanda.

A seguir é mostrado um quadro com as vazões máximas de captação estabelecidas na Resolução da ANA:

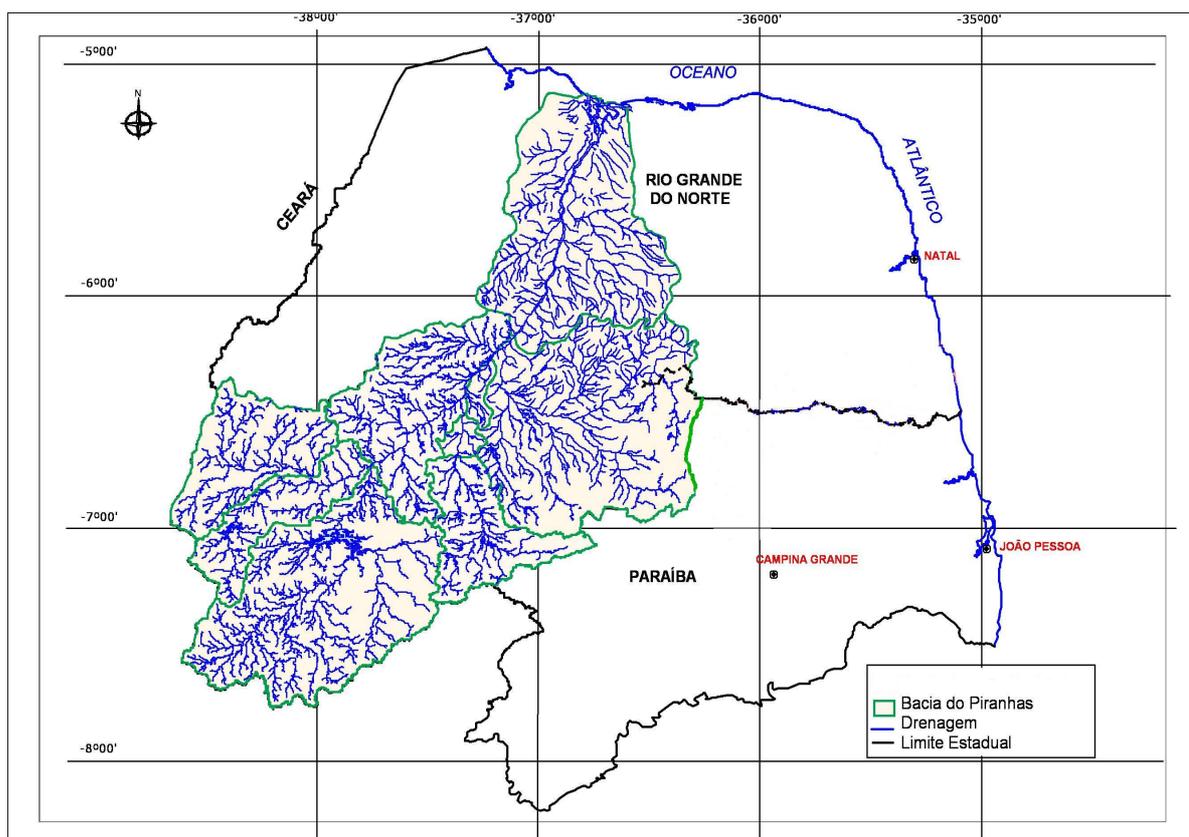
Tabela 03- Vazões máximas disponíveis segundo a Resolução ANA nº 687

TRECHO	FINALIDADE	Vazão máxima disponível (m <sup>3</sup> /s)	TRECHO	FINALIDADE	Vazão máxima disponível (m <sup>3</sup> /s)
<b>Coremas (nº 1)</b>	Abastecimento difuso	0,010	<b>Rio Piranhas – RN (nº 4)</b>	Abastecimento difuso	0,115
	Adutoras	0,099		Adutoras	0,155
	Irrigação difusa	0,096		Irrigação difusa	1,214
	Irrigação em perímetros	1,875		Irrigação em perímetros	0,000
	Indústria	0,000		Indústria	0,005
	Piscicultura	0,013		Piscicultura	0,010
	Carcinicultura	0,000		Carcinicultura	0,000
	Total Trecho 1	2,093		Turismo e Lazer	0,001
<b>Rio Piancó (nº 2)</b>	Abastecimento difuso	0,024	Total Trecho 4	1,500	
	Adutoras	0,717	<b>Armando Ribeiro Gonçalves (nº 5)</b>	Abastecimento difuso	0,149
	Irrigação difusa	0,900		Adutoras	0,328
	Irrigação em perímetros	0,500		Irrigação difusa	0,066
	Indústria	0,000		Irrigação em perímetros	0,920
	Piscicultura	0,020		Indústria	0,002
	Carcinicultura	0,000		Piscicultura	0,010
	Total Trecho 2	2,161		Carcinicultura	0,000
<b>Rio Piranhas – PB (nº 3)</b>	Abastecimento difuso	0,024		Total Trecho 5	1,475
	Adutoras	0,254	<b>Rio Açu (nº 6)</b>	Abastecimento difuso	0,360
	Irrigação difusa	1,839		Adutoras	0,708
	Irrigação em perímetros	0,000		Irrigação difusa (atual)	2,000
	Indústria	0,004		Irrigação em perímetros	6,523
	Piscicultura	0,025		Indústria	0,250
	Carcinicultura	0,000		Piscicultura	0,298
	Total Trecho 3	2,146		Carcinicultura	4,400
Total Paraíba		6,400		Perenização Piató/Panon	1,336
			Canal do Pataxó (abastecimento)	0,050	
			Canal do Pataxó (irrigação difusa)	1,000	
			Ecológica - Foz	1,000	
			Total Trecho 6	17,925	
			Total Rio Grande do Norte	20,900	
			<b>Total do Sistema Coremas-Açu</b>	<b>27,300</b>	

### 3 MATERIAL E METODOS

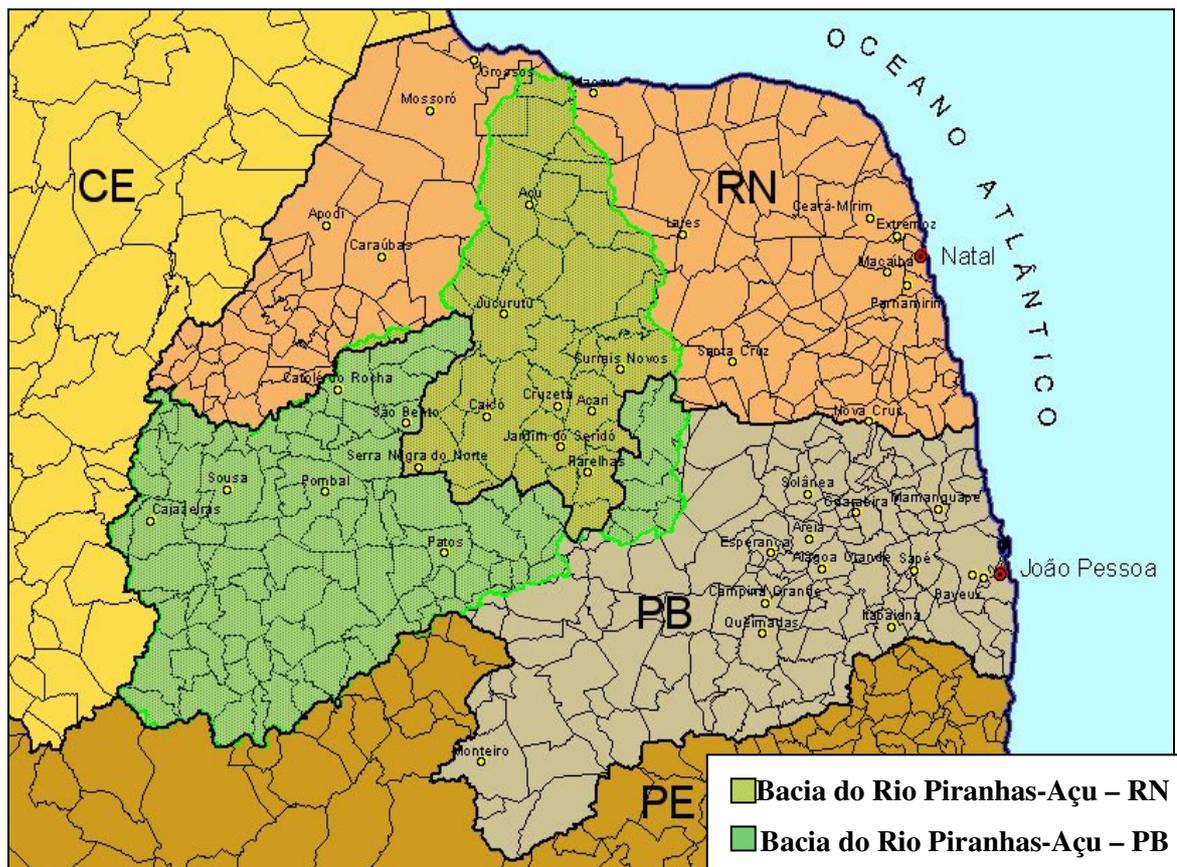
#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu, totalmente inserida no semi-árido nordestino, localiza-se entre as latitudes  $-5^{\circ}25'17''$  e  $-7^{\circ}52'14''$  e entre as longitudes  $-36^{\circ}8'4.6''$  e  $-38^{\circ}47'32.6''$  (**Figura 02**). Possui área total de drenagem de 43.681,5 Km<sup>2</sup>, sendo 26.183 Km<sup>2</sup> no Estado da Paraíba, correspondendo a 60% da área, e 17.498,50 Km<sup>2</sup> no Estado do Rio Grande do Norte, correspondendo a 40% da área. Contempla 147 municípios, sendo 45 municípios no Estado do Rio Grande do Norte e 102 no Estado da Paraíba (**Figura 03**), e conta com uma população total de 1.363.802 habitantes, tendo 914.343 habitantes (67%) no Estado da Paraíba e 449.459 habitantes (33%) no Rio Grande do Norte (BRAGA *et al*, 2004).



Fonte: AAGISA- Agencia de Águas, Irrigação e Saneamento da Paraíba

**Figura 02- Localização da Bacia do Rio Piranhas-Açu.**



**Figura 03- Mapa dos municípios da Bacia do Rio Piranhas-Açu**

O rio Piranhas nasce no município de Bonito de Santa Fé (PB), localizado nos divisores de água que correspondem aos limites geográficos dos Estados da Paraíba e do Ceará.

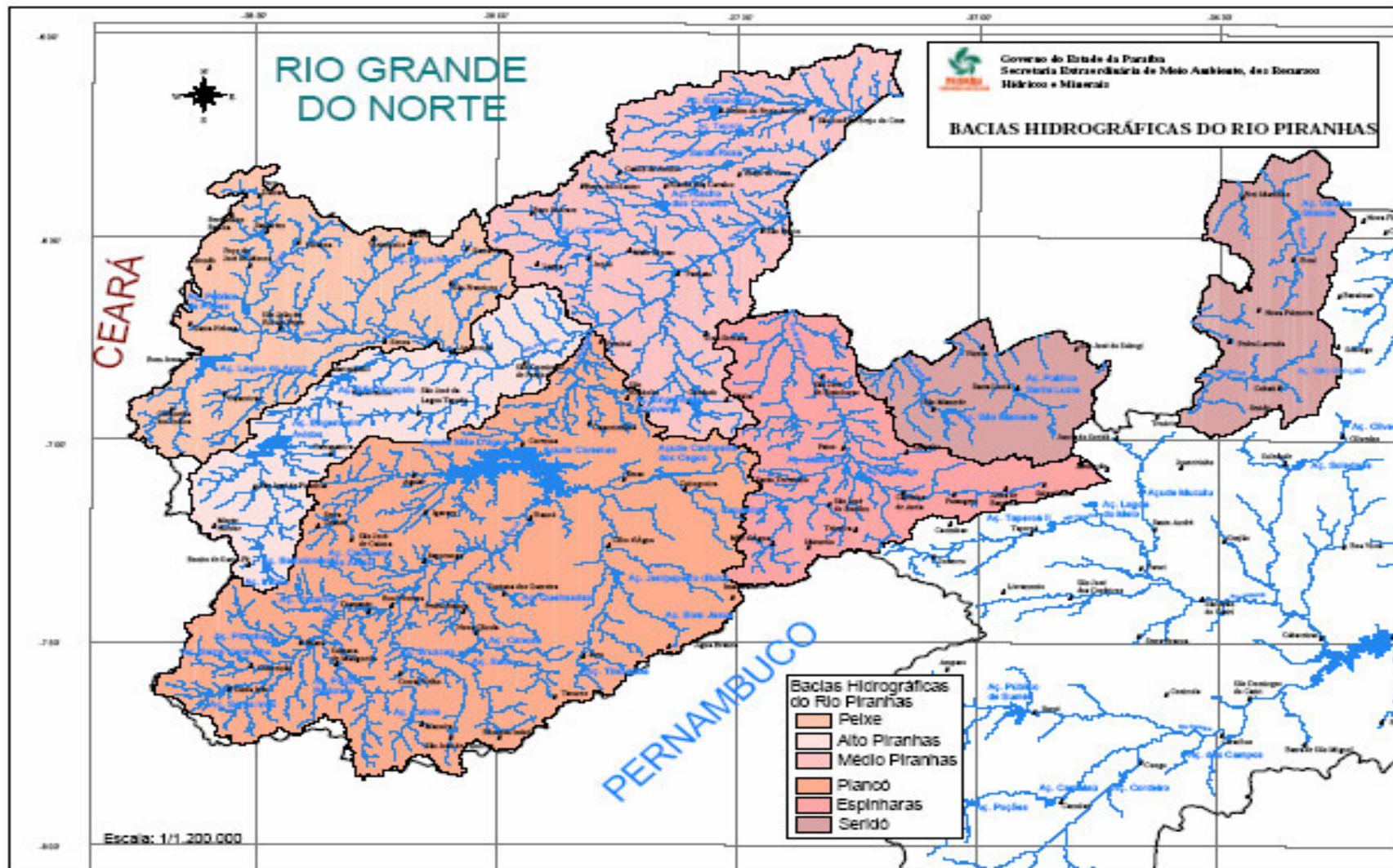
No Estado da Paraíba, ele forma um sistema hidrográfico constituído pelos seus alto e médio cursos e pelas sub-bacias dos rios do Peixe, Piancó, Espinharas e Seridó, seus principais afluentes. A área de cada sub-bacia que compõe a Bacia do Rio Piranhas-Açu é mostrada na **Tabela 04** abaixo.

**Tabela 04- Áreas das Sub-bacias do Rio Piranhas-Açu**

<b>Sub-bacia</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>
Alto Piranhas	2.568
Espinharas	3.502
Peixe	3.730
Baixo Açu	5.457
Médio Piranhas	9.169
Piancó	9.245
Seridó	10.010
<b>TOTAL</b>	<b>43.681</b>

Fonte: SERHID e Mapa SCIENTEC 1997

O Rio Piranhas entra no Rio Grande do Norte pelo município de Jardim de Piranhas, passando a receber as águas do rio Espinharas e do rio Seridó (rios Federais, cujas nascentes se localizam no Estado da Paraíba). Ele cruza a região central do Estado do RN, desaguando no seu litoral norte, na foz localizada em Macau. Nas **Figuras 04 e 05** constam a localização e hidrografia da bacia, em suas porções inseridas nos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, respectivamente.



Fonte: SEMARH – Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos da Paraíba

**Figura 04- Mapa da Bacia do Rio Piranhas-Açu inserida no Estado da Paraíba**



inaugurado o maior açude de todos, o açude do município de Assu-RN, que recebeu o nome do Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, com capacidade de 2,4 bilhões de m<sup>3</sup>.

Já a Barragem do Açude Mãe D'água é do tipo submersível em concreto ciclópico com perfil Creager, com volume máximo de 638,7 milhões de m<sup>3</sup>. Sua locação teve início quando a barragem do Açude Coremas chegava ao término, em meados de outubro de 1941, com sua definitiva conclusão em 21 de dezembro de 1957.

As bacias hidrográficas dos açudes Coremas e Mãe D' água são ligadas por um canal vertedor, formando então um conjunto ligado para efeito de sangria, ou seja, um lago único com uma superfície líquida de 9.794 hectares, na cota de repleção máxima. Calculou-se a seção do canal de ligação de maneira a dar vazão nas condições mais desfavoráveis, a uma descarga máxima de reforço do Coremas para o Mãe-D'água de 12 m<sup>3</sup>/s. Quando se encontra cheio, todo o sistema Coremas-Mãe D' água durante os bons invernos, como os de 1967 e 1985, a queda d'água proporciona um majestoso espetáculo visual, um fator de grande potencialidade turística a ser explorado. Existe ainda um túnel ligando as duas serras do boqueirão, dentro da própria barragem (SILVA FILHO, 2005).



Fonte: AESA

**Figura 06- Vista do açude Coremas- Mãe D' água**



Fonte: AESA

### **Figura 07- Vertimento do Açude Mãe-D' água**

A maior enchente desse reservatório ocorreu entre os meses de abril, maio e junho, no inverno de 1967, quando causou medo e apreensão a todos os habitantes de Coremas-PB, e outras cidades ribeirinhas ao longo dos rios Piancó, e Piranhas-Açu, com um volume de água próximo a cobrir toda extensão do seu coroamento. Já as piores estiagens foram as registradas no começo da década de 80, principalmente nos anos de 1983/84, chegando a ponto de esvaziar profundamente o reservatório, tornando-se visíveis inúmeras ilhas, cacimbões e casas velhas de fazendas inundadas. As principais causas desse esvaziamento foram: longa estiagem, grande evaporação e as retiradas de água durante todo período seco, principalmente para contribuir na construção e depois inauguração da Barragem Armando Ribeiro Gonçalves (SILVA FILHO, 2005).

O sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água possui capacidade de armazenamento de 1,350 bilhões de m<sup>3</sup>, garante o abastecimento urbano e rural de várias localidades, pereniza o rio Piancó, possibilitando o desenvolvimento agrícola desta região, além de perenizar 160 Km no trecho do rio Piranhas até o lago da barragem Armando Ribeiro Gonçalves-RN.

Este último, maior reservatório de água do Estado do Rio Grande do Norte, regulariza cerca de 100 km do rio Piranhas-Açu até a sua foz, permitindo o desenvolvimento da potencialidade agrícola de toda região denominada Baixo-Açu,

além de garantir o abastecimento de vários municípios e comunidades rurais, utilizando diversos sistemas adutores.



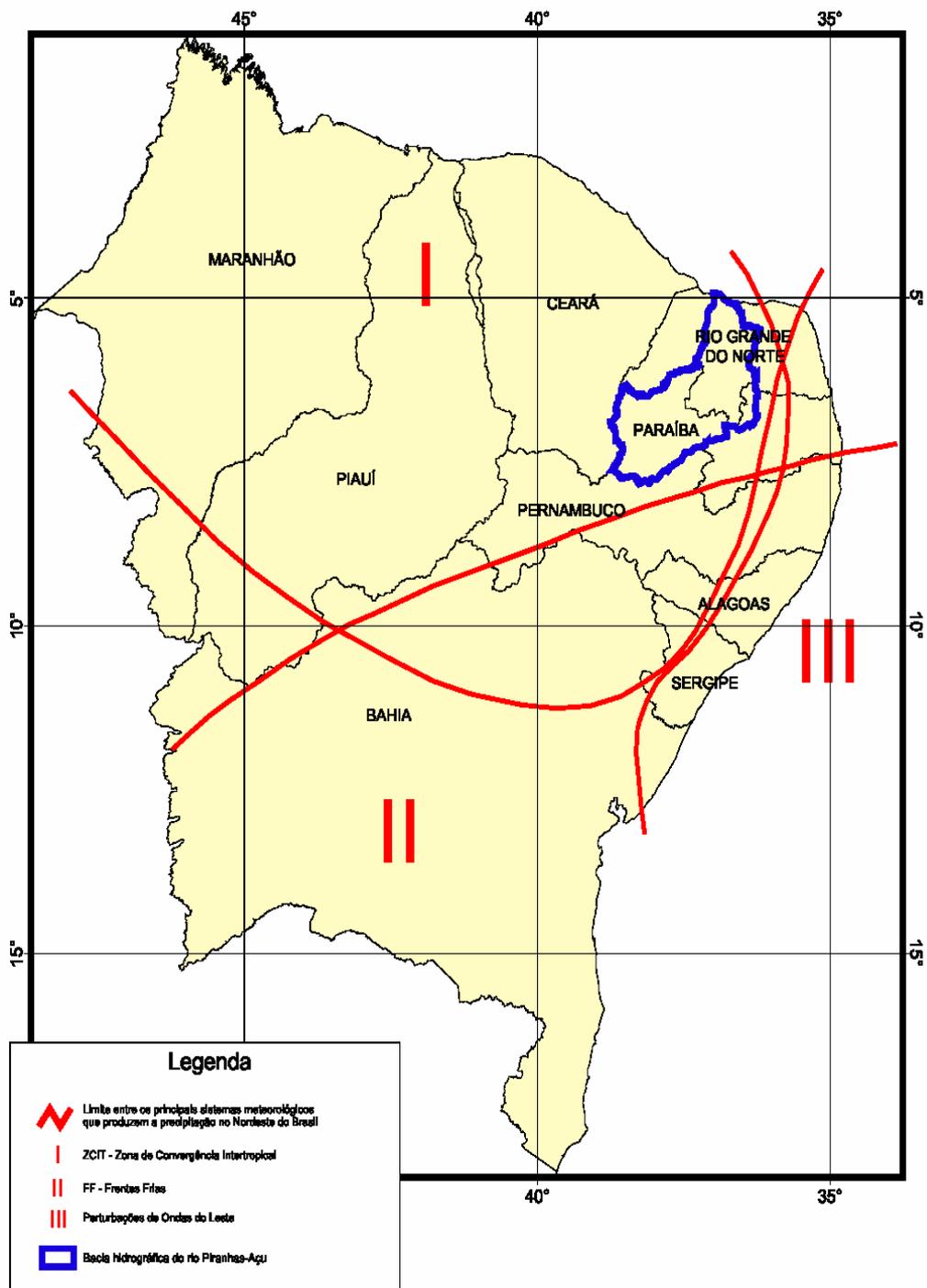
Fonte:DNOCS

**Figura 08- Vista do açude Armando Ribeiro Gonçalves**

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO PIRANHAS-AÇU

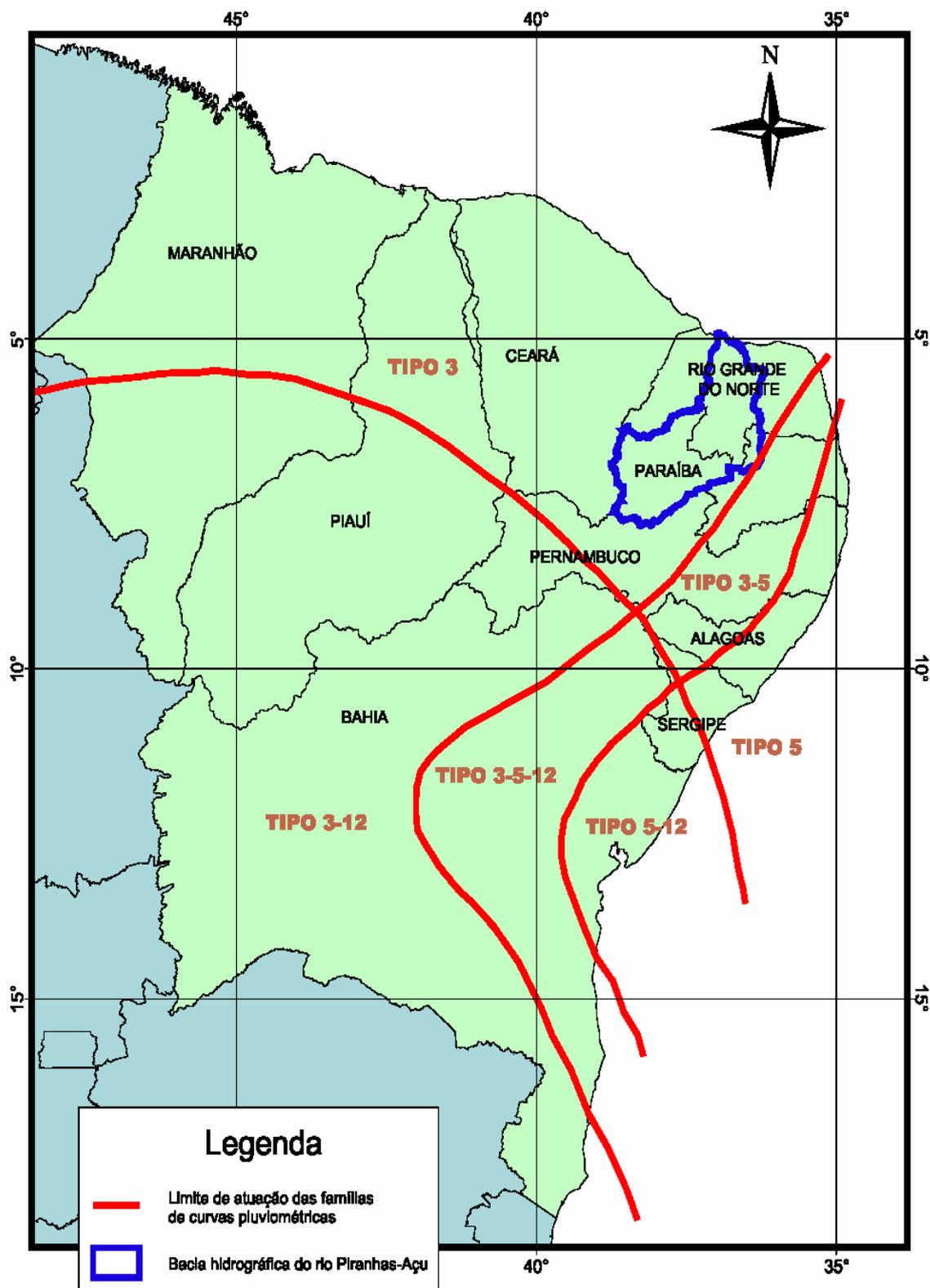
A bacia do rio Piranhas-Açu está localizada numa região sobre a influência marcante da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (**Figura 09**), um dos fenômenos meteorológicos condicionantes do clima e do regime de chuvas. O deslocamento da ZCIT para o hemisfério sul é o fator principal da ocorrência de chuvas nos meses de fevereiro, março e abril, no Nordeste, e esse deslocamento é influenciado por fenômenos climáticos como o El Niño e a La Niña. As chuvas ocorridas nos outros meses são decorrentes principalmente dos movimentos das massas de ar do Atlântico.

Um estudo climatológico realizado por Strang (1972), sobre a pluviometria no Nordeste Brasileiro, classificou a pluviosidade deste em seis famílias de curvas de acordo com as máximas anuais. A bacia do rio Piranhas-Açu se enquadra na família de curvas Tipo 3 (**Figura 10**), que se caracteriza por apresentar um só máximo anual ocorrendo no mês de março ou abril, havendo um acentuado declínio nos meses colaterais, visto que mais de 60% do total precipitado anual ocorre entre os meses de fevereiro e abril. A denominação Tipo 3 vem do fato das chuvas no mês de março predominarem.



Fonte: SERHID (2005)

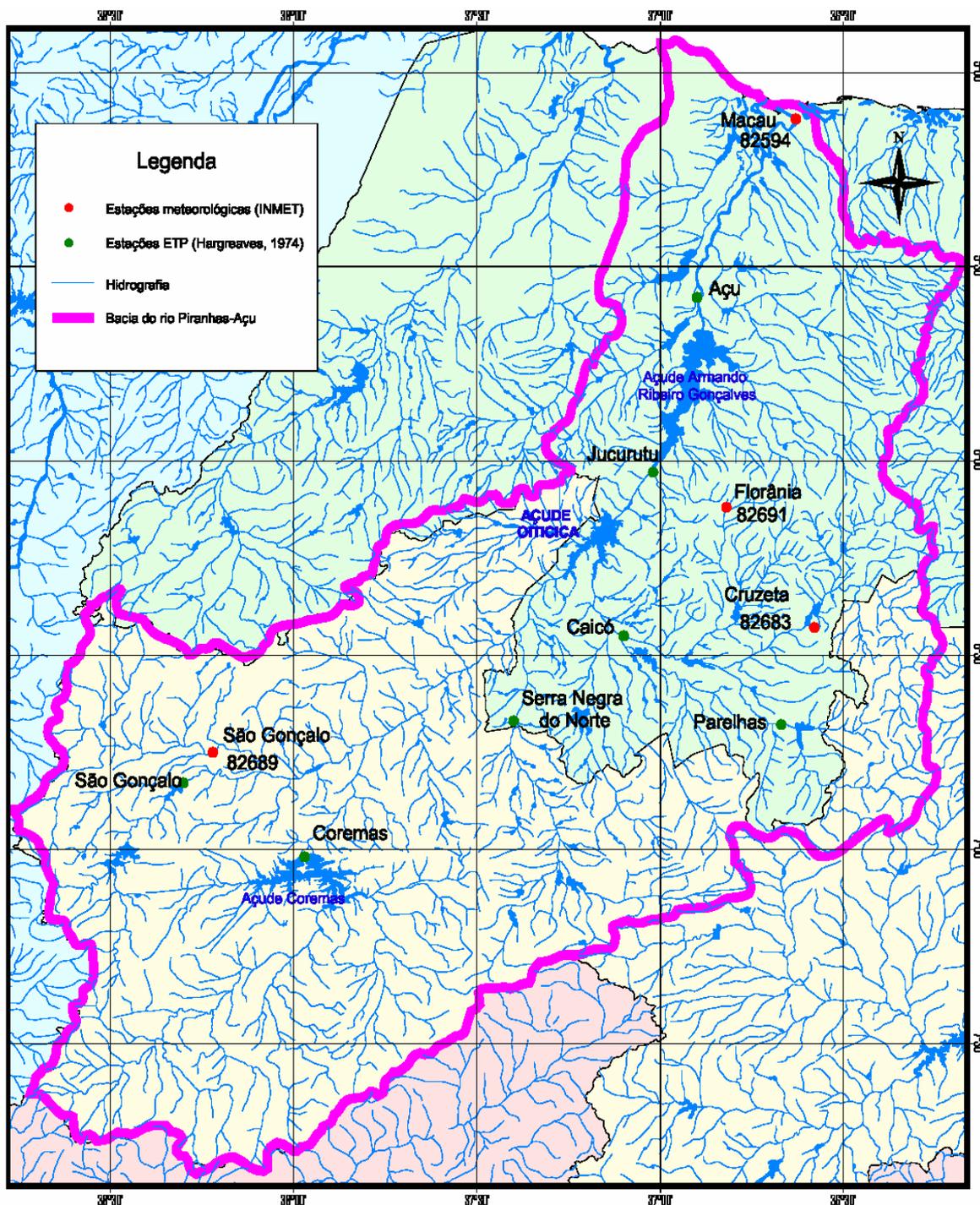
**Figura 09- Zonas de atuação média dos três principais sistemas meteorológicos que produzem a precipitação no nordeste brasileiro**



Fonte: SERHID (2005)

**Figura 10- Limites de atuação das famílias de curvas pluviométricas do estudo de Strang (1972)**

As variáveis climáticas da bacia Piranhas-Açu são medidas em quatro estações meteorológicas do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, localizadas conforme a figura abaixo:



Fonte: SERHID-RN (2005)

**Figura 11 – Localização das estações de medição das variáveis climatológicas**

Nota-se a carência de estações meteorológicas, principalmente na sub-bacia do rio Piancó, onde existia a estação de Coremas, porém ela foi desativada juntamente com a estação de Patos, na sub-bacia do rio Espinharas. Nesta última, existem ainda estações meteorológicas convencional e automática no município de Serra Negra do Norte, instaladas na Estação Ecológica do Seridó (coordenadas 6°34'42"S e 37°15'56" W). A estação convencional é de responsabilidade do IBAMA; e a automática faz parte do projeto de pesquisa do Laboratório de Recursos Hídricos da UFRN (LARHISA).

Na **Figura 11** estão localizados também sete locais que dispõem de dados de evapotranspiração potencial baseados no estudo de Hargreaves (1974). Este autor tabulou a ETP para todo o semi-árido nordestino.

Uma exemplificação da magnitude de diferença entre os valores de precipitação e evapotranspiração potencial em nível mensal, nas sub-bacias que compõem a bacia do rio Piranhas-Açu é mostrada nas **Tabelas 05 a 09**, a seguir. Cada posto escolhido é representativo de uma sub-bacia, assim: São Gonçalo é representativo da bacia do Alto Piranhas e Peixe; Serra Negra do Norte, da bacia do Espinharas; Cruzeta, da bacia do Seridó; Florânea, da bacia do Médio Piranhas; e Macau da bacia do Baixo- Açu.

**Tabela 05- Valores médios de evapotranspiração potencial e precipitação (em mm) no período de 1961-1990 em São Gonçalo**

Meses	Evapotranspiração potencial	Precipitação	Diferença (P- ETP)
Janeiro	197	120	-77
Fevereiro	152	183,7	31,7
Março	135	248,6	113,6
Abril	129	178,2	49,2
Maiο	125	72,5	-52,5
Junho	121	48,8	-72,2
Julho	136	23,3	-112,7
Agosto	164	21,6	-142,4
Setembro	181	14,1	-166,9
Outubro	200	20,3	-179,7
Novembro	196	23	-173
Dezembro	206	49,2	-156,8
<b>TOTAL</b>	<b>1.942</b>	<b>1.000,3</b>	<b>-941,7</b>

**Tabela 06- Valores médios de evapotranspiração potencial e precipitação no período de 1961-1990 em Serra Negra do Norte**

<b>Meses</b>	<b>Evapotranspiração potencial</b>	<b>Precipitação</b>	<b>Diferença (P- ETP)</b>
Janeiro	178	81,3	-96,7
Fevereiro	155	131,5	-23,5
Março	138	254	116
Abril	122	228,7	106,7
Maiο	116	94,1	-21,9
Junho	117	36,2	-80,8
Julho	121	26,5	-94,5
Agosto	142	6	-136
Setembro	162	2,1	-159,9
Outubro	187	2,3	-184,7
Novembro	181	10,6	-170,4
Dezembro	192	24	-168
<b>TOTAL</b>	<b>1.811</b>	<b>897,2</b>	<b>-912</b>

**Tabela 07- Valores médios de evapotranspiração potencial e precipitação no período de 1961-1990 em Cruzeta**

<b>Meses</b>	<b>Evapotranspiração potencial</b>	<b>Precipitação</b>	<b>Diferença (P- ETP)</b>
Janeiro	178	57,4	-120,6
Fevereiro	155	108,5	-46,5
Março	139	168,4	29,4
Abril	122	180,4	58,4
Maiο	116	67,6	-48,4
Junho	117	26,5	-90,5
Julho	121	32,1	-88,9
Agosto	142	8	-134
Setembro	162	3,6	-158,4
Outubro	187	3,1	-183,9
Novembro	181	5,8	-175,2
Dezembro	192	26,7	-165,3
<b>TOTAL</b>	<b>1.812</b>	<b>688,1</b>	<b>-1.123,9</b>

**Tabela 08- Valores médios de evapotranspiração potencial e precipitação no período de 1961-1990 em Florânea**

<b>Meses</b>	<b>Evapotranspiração potencial</b>	<b>Precipitação</b>	<b>Diferença (P- ETP)</b>
Janeiro	192	74,4	-117,6
Fevereiro	159	110,8	-48,2
Março	148	196,6	48,6
Abril	129	154,7	25,7
Maiο	122	33,1	-88,9
Junho	121	32,8	-88,2
Julho	129	33,4	-95,6
Agosto	159	13	-146
Setembro	177	16,9	-160,1
Outubro	193	19,7	-173,3
Novembro	192	11,7	-180,3
Dezembro	198	31,2	-166,8
<b>TOTAL</b>	<b>1.919</b>	<b>728,3</b>	<b>-1.190,7</b>

**Tabela 09- Valores médios de evapotranspiração potencial e precipitação no período de 1961-1990 em Macau**

<b>Meses</b>	<b>Evapotranspiração potencial</b>	<b>Precipitação</b>	<b>Diferença (P- ETP)</b>
Janeiro	187	31,7	-155,3
Fevereiro	154	66,9	-87,1
Março	147	136,7	-10,3
Abril	126	169,4	43,4
Maiο	127	100,7	-26,3
Junho	127	36,5	-90,5
Julho	138	29,2	-108,8
Agosto	136	7,9	-128,1
Setembro	175	5,1	-169,9
Outubro	176	1	-175
Novembro	174	3,4	-170,6
Dezembro	178	11,2	-166,8
<b>TOTAL</b>	<b>1.845</b>	<b>599,7</b>	<b>-1.245,3</b>

Observa-se a variabilidade espacial dessas duas variáveis que afetam diretamente no balanço hídrico da bacia.

No período exemplificado, o maior déficit hídrico anual encontra-se na estação de Macau (foz do rio Piranhas-Açu); e o menor déficit, na estação de Serra Negra do Norte, representativa da bacia do rio Espinharas.

Os números mostrados ratificam a grande variabilidade intra-anual da precipitação em todas as sub-bacias, com destaque para a de Serra Negra do Norte que apresentou tanto o mês de maior déficit hídrico (outubro, “-184,7mm”) contrapondo com o mês de maior superávit (março, “116mm”).

As demais características relevantes da bacia do Rio Piranhas- Açu foram sintetizadas, e estão expostas na tabela a seguir, elaborada com base nas informações do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba, e do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte, e nos dados do INMET- Instituto Nacional de Meteorologia retirados do Relatório Final de Consolidação para a Implantação da Barragem de Oiticica (SERHID, 2005).

Tabela 10- Tabela resumo das características da bacia

C L I M A T O L O G I A	Clima	Paraíba	Rio Grande do Norte
		<p>Predomina clima tipo BSw'h', conforme a classificação de Köeppen, caracterizado por um clima muito quente e semi-árido, com a estação chuvosa se atrasando para o outono. Já as regiões sul e sudoeste da sub-bacia do Rio do Peixe e na cabeceira da sub-bacia do Piancó, o clima classifica-se como Aw', isto é, clima tropical úmido com inverno seco.</p>	<p>Predominância do clima tipo BSw'h'.</p>
	Precipitação	<p>Médias pluviométricas anuais em torno de 800 mm para as sub-bacias dos rios Espinharas, Piancó, e alto e médio curso do rio Piranhas. Na sub-bacia do rio Seridó as pluviometrias médias anuais são na faixa de 400 a 600 mm.</p> <p>Apresenta forte variabilidade intra-anual, sendo os meses de fevereiro, março e abril os mais chuvosos, concentrando 60 a 80% do total anual precipitado (válido também para o RN).</p>	<p>Médias anuais de longo período situam-se entre 500 e 600mm, com tendência de crescimento da foz para montante. Na região de Jucurutu há núcleos com mais de 700 mm. O Seridó norte-riograndense possui precipitação média anual inferior a 600mm (nos períodos secos), e a região da borda leste da bacia do Baixo Açu tem precipitações anuais inferiores aos 500 mm.</p>
	Temperatura	<p>Temperaturas médias mensais variando de 23,4<sup>o</sup> a 27,9<sup>o</sup>; com máximas mensais de 35,7<sup>o</sup> em dezembro, e mínimas de 19,3<sup>o</sup>, em julho e agosto.</p>	<p>Temperaturas médias mensais variando em torno de 24,5<sup>o</sup> a 29,8<sup>o</sup>; com máxima mensal de 35<sup>o</sup> em Cruzeta, no mês de novembro; e mínima de 19,1<sup>o</sup> em Florânea, no mês de agosto.</p>
	Umidade Relativa	<p>Média anual de 61%. Observa-se que o mês mais úmido é abril, quando a umidade atinge média de 74%. O mês mais seco é outubro, período em que a umidade média atinge 51%.</p>	<p>Média anual variando de 63,2% em Cruzeta a 70,8% em Macau. O mês mais úmido é abril, quando a umidade atinge média de 76%, em Macau; O mês mais seco é novembro, em Macau e Florânea, onde a umidade média é de 69 e 55 %, respectivamente; já em Cruzeta, é setembro, com umidade média é de 54%.</p>

	<b>Paraíba</b>	<b>Rio Grande do Norte</b>
<b>Velocidade do Vento</b>	O valor médio anual é de 2 m/s, variando de 1,4 m/s em fevereiro, março e abril, até 2,6 m/s em setembro.	O valor médio anual é de 5,5 m/s, em Macau; 3,1 m/s em Cruzeta, e 3,9 m/s em Florânea. Chegando a atingir valores de 6,9 m/s em Macau, nos meses de setembro e outubro; e 5,4 m/s em Florânea, em agosto e setembro. Já em Cruzeta, ele não passa de 3,5 m/s.
<b>Evaporação (medida em tanque classe A)</b>	Variando entre 2.200 (em Triunfo) a 3.400 mm (em Patos) por ano. Valores anuais superiores a 3.000mm também são registrados no médio curso do rio Piranhas e na sub-bacia do rio Seridó.	Variando entre 2.300 (em Macau) a 2.800 mm (em Cruzeta) por ano. A sub-bacia do Seridó é a que apresenta os maiores valores.
<b>Geologia</b>	Predominância de terrenos cristalinos e sedimentares. Os terrenos cristalinos pertencem aos Grupos São José e Seridó; e os terrenos sedimentares são constituídos por: depósitos Quaternários (aluviões de areia ocupando o vale do rio); Terciários (arenitos finos a médios ou conglomeráticos com intercalações de siltitos e argilitos do Grupo Barreiras e da Formação Serra do Martins); e Sedimentos Mesozóicos (Grupo Apodi, Grupo Areia Branca e Grupo Rio do Peixe).	Predominam rochas cristalinas pré-cambrianas, nas porções centro-sul e sudeste. Na parte norte da bacia ocorrem calcários da Formação Jandaíra e arenitos da Formação Açú e Grupo Barreiras. E os sedimentos quaternários constituem o Vale do Açú.
<b>Vegetação</b>	A vegetação natural é do tipo xerófila (plantas adaptadas às secas, que trocam folhas por espinhos, têm raízes profundas e armazenam água), pertencente ao bioma caatinga (ecossistema complexo que cobre quase todo o nordeste brasileiro, de aparência árida, com solos quase descobertos e arbustos isolados, mas de grande capacidade de adaptação dos seres vivos); mais especificamente a caatinga hiperxerófila.	Na área da bacia inserida no RN, 57,9% compreende vegetação do tipo caatinga herbácea-arbustiva e 4,2% de caatinga arbórea.

*Obs: Os dados de temperatura, umidade relativa e velocidade do vento são do INMET. Provêm da estação de São Gonçalo, para o Estado da Paraíba, referentes ao período de 1961-1990; e das estações de Cruzeta, Florânea e Macau, para o RN, também referentes ao período de 1961-1990.*

### 3.3 DESCRIÇÃO DO TRECHO EM ESTUDO

Para a presente pesquisa, o trecho compreendido entre os reservatórios Coremas Mãe-D' água e Armando Ribeiro Gonçalves foi dividido em sub-trechos, a fim de facilitar a sua descrição e o processo de análise da disponibilidade hídrica e da demanda, objetivos desse estudo. Os sub-trechos considerados foram:

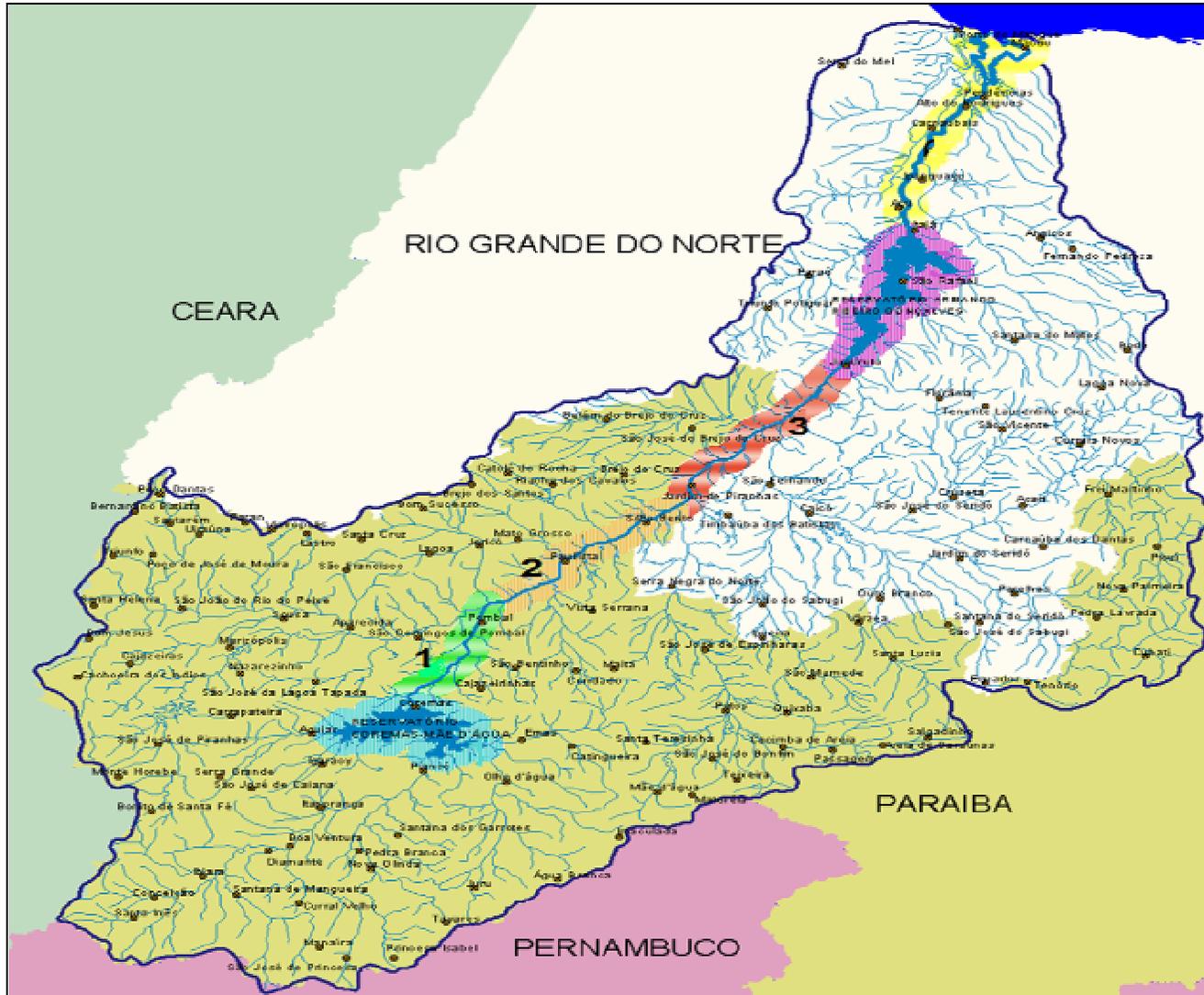
**Trecho 1:** *Do Lago do Reservatório Coremas-Mãe D'Água até a jusante da confluência dos rios Piancó e Piranhas;*

**Trecho 2:** *Da confluência dos rios Piancó e Piranhas até a divisa dos Estados PB/RN;*

**Trecho 3:** *Da divisa PB/RN até o Lago do Reservatório Armando Ribeiro Gonçalves.*

A **Figura 12**, a seguir, apresenta a bacia do rio Piranhas- Açú, destacando: os sub-trechos, a hidrografia, a localização das cidades, e os limites dos Estados.

E a **Figura 13** mostra mais detalhadamente a hidrografia da bacia no trecho entre os açudes Coremas-Mãe D'Água e Armando Ribeiro Gonçalves, destacando: os principais afluentes, a localização dos açudes mais relevantes, os postos fluviométricos, os limites das sub-bacias do rio Piancó, Peixe, Espinharas, Seridó, Médio e Alto Piranhas, e também a divisão dos sub-trechos. Esse mapa ajudará na compreensão e acompanhamento da descrição dos trechos adiante.



Fonte: Modificado do mapa da divisão dos trechos do Marco Regulatório (Sistema Coremas-Açu) - ANA

**Figura 12- Divisão dos trechos**



### 3.3.1 Trecho 01: Do Lago do Reservatório Coremas-Mãe D'Água até à jusante da confluência dos rios Piancó e Piranhas

Diferentemente dos demais, esse primeiro trecho localiza-se ao longo do Rio Piancó, logo a jusante do Açude Coremas-Mãe D' água até imediatamente a jusante da confluência daquele rio com o Rio Piranhas, na cidade de Pombal –PB.



**Figura 14- Ponte sobre o rio Piancó**

Nesse trecho encontram-se cidades do Sertão Paraibano inseridas na microrregião de Sousa e Piancó, que estão enumeradas na tabela abaixo, juntamente com sua área e o número de habitantes.

**Tabela 11 – Municípios localizados no trecho 01**

NOME	Área (km <sup>2</sup> )	População		
		Total	Urbana	Rural
Cajazeirinhas	287,89	2848	737	2111
Coremas	379,49	15130	10571	4559
Pombal	888,81	31954	23614	834
São Bentinho	195,96	3589	2228	1361
Total		53521		

Fonte: IBGE- Censo 2000

Os afluentes do Rio Piancó, a montante da confluência com o Rio Piranhas, são pequenos riachos temporários que contém também açudes de pequeno porte, são eles:

**Tabela 12-Afluentes e Açudes do Trecho 01**

Rio	Afluentes	Açudes
Piencó	Riacho Sem Nome	Açude Malhada de areia
Piencó	Riacho Madruga	Açude Expedito Sales
Piencó	Riacho do Meio	Açude Logradouro dos Bezerras
Piencó	Riacho Miguel	Açude Dinaldo Almeida e Açude Parede de Barro
Piencó	Riacho Várzea de Boi	Açude Peões

Fonte: AESA

Logo, a contribuição lateral para o Rio Piencó, nesse trecho, é ínfima; afóra a do Rio Piranhas, seu maior afluente. Nesta porção, o Rio Piranhas compõe a sub-bacia do Alto Piranhas, que possui alta açudagem, com destaque para os açudes listados na tabela a seguir.

**Tabela 13- Açudes da Bacia do Alto Piranhas**

Sub-bacia	Rio	Açudes	Cidade	Capacidade (m <sup>3</sup> )
Alto Piranhas	Rio Piranhas	Bartolomeu I	Bonito de Santa Fé	17.570.556
		Açude Novo	Monte Herebe	382.700
		São José	São José de Piranhas	3.051.125
		Engenheiro Ávidos	Cajazeiras	255.000.000
		Bom Jesus	Carrapeteira	343.800
		Jenipapeiro I	S, Jose da Lagoa tapada	1.948.300
		São Gonçalo	São Gonçalo	44.600.000

Fonte: AESA

É na Bacia do Alto Piranhas que nasce o Rio Piranhas (ver **Figura 13**). Este recebe as águas do Rio do Peixe, constituindo uma bacia com terras de boa qualidade para a agricultura, o que as tornam uma das mais promissoras para a exploração da agricultura irrigada na Paraíba. A região do Alto Piranhas juntamente com outras cidades da bacia do Médio Piranhas e do Rio do Peixe forma o Pólo Alto Piranhas que possui uma boa infra-estrutura de irrigação, mão-de-obra abundante, capacidade empreendedora dos produtores, a mobilização associativa das comunidades e o apoio político (MARQUES, *et al*, 1997). Os municípios localizados na bacia do Alto Piranhas são mostrados na **Tabela 14** a seguir:

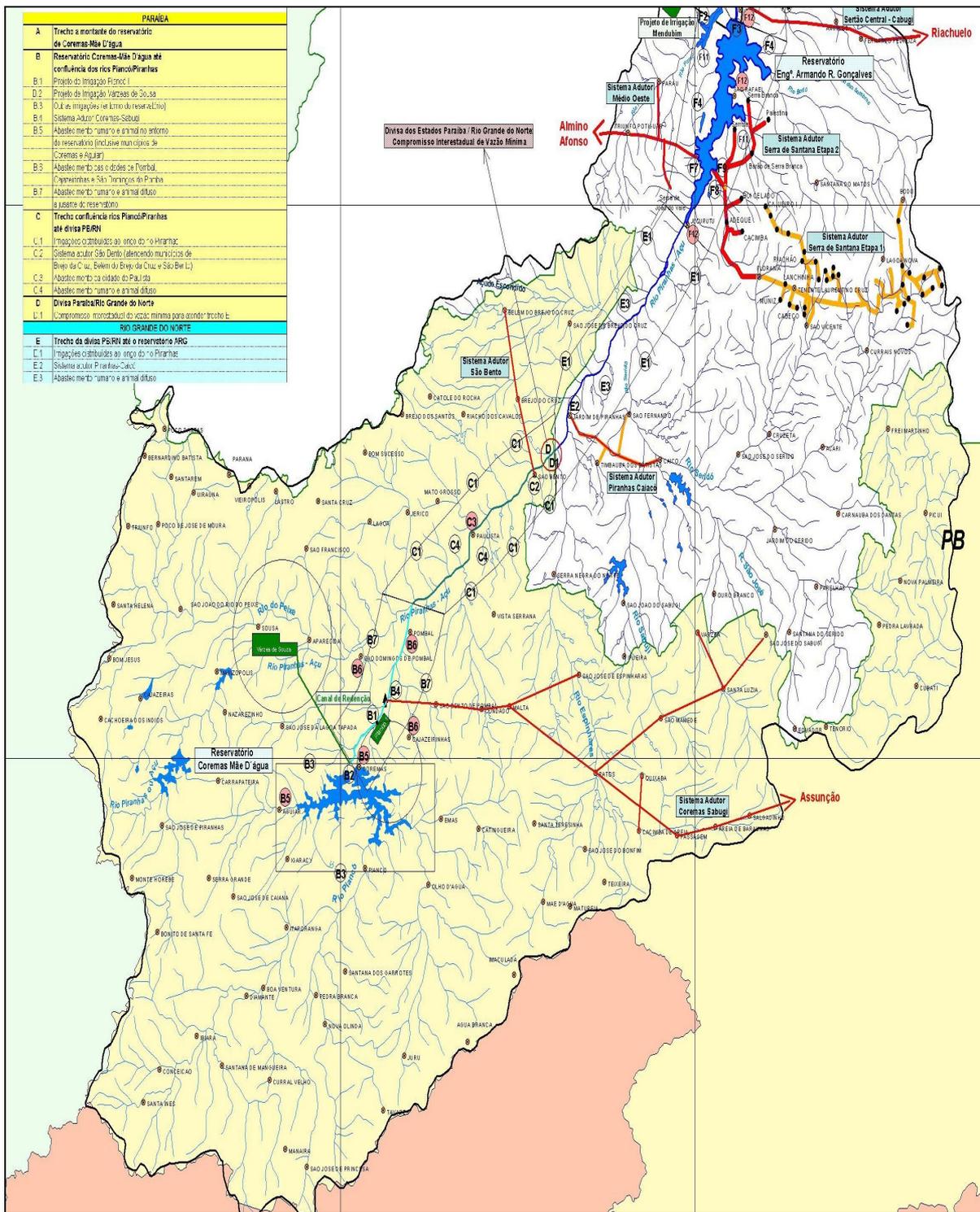
**Tabela 14- Municípios da Bacia do Alto Piranhas**

Municípios	Área (km <sup>2</sup> )	População		
		Total	Urbana	Rural
São Domingos de Pombal	169,10	2498	910	1588
Aparecida	229,15	5894	2963	2931
São José da Lagoa Tapada	304,42	7184	2978	4206
Nazarezinho	173,24	7272	2727	4545
Marizópolis	63,61	5618	4866	752
Carrapateira	72,78	2160	1466	694
São José de Piranhas	677,29	17876	8111	9765
Monte Horebe	116,17	4112	2156	1956
Bonito de Santa Fé	228,33	9230	4950	4280
Total		61844		

Fonte: IBGE- Censo 2000

A maior demanda de água nesse trecho do rio Piancó é destinada, portanto, à irrigação. Dois projetos de irrigação estão em operação nesse trecho; captando água do Rio Piancó, são eles: Projeto Piancó I, que beneficia as cidades de Pombal, Cajazeirinhas e Coremas, abrange uma área de 543 ha; e o Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa, que beneficia os municípios de Sousa e Aparecida, possuindo uma infra-estrutura hídrica destinada a levar água do açude Coremas-Mãe D' água (captando água em Coremas), através de canais, túneis e sifões, numa extensão de 37 km, até as várzeas de Sousa, com capacidade para transportar uma vazão de 4 m<sup>3</sup>/s pelo Canal da Redenção, suficiente para irrigar até 5.000 ha.

Esta e as demais formas de uso da água bruta captada no rio Piranhas-Açu são mostradas no mapa da **Figura 15**, da Agência Nacional de Águas.



Fonte: ANA - Agência Nacional de Águas

**Figura 15- Demandas hídricas nos trecho do rio Piranhas-Açu**

Outra obra relevante existente é o Sistema Adutor Coremas – Sabugi que atende às cidades de São Domingos de Pombal, Condado, Malta, São José do Espinharas, Patos, Quixabá, Cacimba de Areia, Passagem, Areia de Baraúnas, São Mamede, Salgadinho, Santa Luzia, Várzea e São José do Sabugi. A captação de água bruta no Rio Piancó, bem como nos seus afluentes nesse trecho, destina-se ainda ao abastecimento das cidades de Pombal, Cajazeirinhas e São Domingos de Pombal, além do abastecimento humano e animal difuso.

A rede de monitoramento é escassa, contendo os seguintes postos fluviométricos nos rios Piancó, Piranhas e Peixe:

**Tabela 15- Postos fluviométricos nos rios Piancó, Piranhas e Peixe**

Código	Posto	Rio	Cidade	Respon sável	Medida	Série Histórica	Latitude	Longitude
37380000	Pau Ferrado	Piancó	Pombal	ANA/ CPRM	vazão	1966-2006	-6:57:57	-37:55:27
37237000	São Domingos do Pombal	Piranhas	Pombal	ANA/ CPRM	cotas	2000-2005	-6:48:8	-37:56:5
37410000	Sítio Vassouras	Piranhas	Pombal	ANA/ CPRM	vazão	1962-2006	-6:43:43	-37:47:40
37220000	Várzea Grande	Piranhas	S,J,Rio do Peixe	ANA/ CPRM	vazão	1962-2006	-6:55:9	-38:22:51
37260000	Antenor Navarro	Peixe	S,J,Rio do Peixe	ANA/ CPRM	vazão	1963-2006	-6:44:7	-38:26:53
37290000	Aparecida	Peixe	Sousa	ANA/ CPRM	vazão	1984-2005	-6:47:7	-38:5:13

Fonte: Hidroweb- ANA

Em cada cidade localizada nesse primeiro trecho encontra-se um posto pluviométrico, cujas séries históricas foram levantadas, e preenchidas suas falhas entre os anos de 1994 e 2004, totalizando 10 anos de dados. Da mesma forma, os postos pluviométricos localizados na Bacia do Alto Piranhas e do Rio do Peixe também foram analisados. Esses postos estão enumerados nas **Tabelas 16,17 e 18**.

**Tabela 16– Postos pluviométricos localizados na bacia de contribuição do rio no trecho 01**

<b>Município</b>	<b>Posto</b>	<b>Latitude (graus)</b>	<b>Longitude (graus)</b>
Pombal	Pombal	-6,77	-37,80
São Bentinho	São Bentinho	-6,88	-37,72
Cajazeirinhas	Cajazeirinhas	-6,96	-37,79
Coremas	Coremas, Ac,	-7,02	-37,94

Fonte: LMRS-PB

**Tabela 17 – Postos pluviométricos da Bacia do Alto Piranhas**

<b>Município</b>	<b>Posto</b>	<b>Latitude (graus)</b>	<b>Longitude (graus)</b>
Aparecida	Aparecida	-6,79	-38,08
São José da Lagoa Tapada	São José da Lagoa Tapada	-6,94	-38,16
Nazarezinho	Nazarezinho	-6,92	-38,32
Carrapateira	Carrapateira	-7,04	-38,35
São José de Piranhas	Arapuá, St,	-7,12	-38,62
São José de Piranhas	São José de Piranhas	-7,12	-38,50
Monte Horebe	Monte Horebe	-7,20	-38,57
Bonito de Santa Fé	Bonito de Santa Fé	-7,31	-38,51

Fonte: LMRS-PB

**Tabela 18 – Postos pluviométricos da Bacia do Rio do Peixe**

<b>Município</b>	<b>Posto</b>	<b>Latitude (graus)</b>	<b>Longitude (graus)</b>
Aparecida	Aparecida	-6,79	-38,08
Sousa	Sousa	-6,77	-38,22
Sousa	São Vicente	-6,61	-38,33
S, João do Rio do Peixe	Açude Pilões	-6,70	-38,52
S, João do Rio do Peixe	Antenor Navarro	-6,73	-38,45
Santa Cruz	Santa Cruz	-6,53	-38,06
Cachoeira dos Índios	Cachoeira dos Índios	-6,93	-38,68
Cachoeira dos Índios	Balanços	-6,99	-38,75
Santa Helena	Santa Helena	-6,73	-38,64
Triunfo	Barra do Juá	-6,51	-38,54
Triunfo	Triunfo	-6,58	-38,60
Cajazeiras	Ac, Lagoa do Arroz	-6,80	-38,57
Cajazeiras	Cajazeiras	-6,89	-38,84
Lastro	Lastro	-6,52	-38,18
São Francisco	São Francisco	-6,62	-38,09
Bom Jesus	Bom Jesus	-6,82	-38,65
Uiraúna	Uiraúna	-6,52	-38,41

Fonte: LMRS-PB

### 3.3.2 Trecho 02: *Da confluência dos rios Piancó e Piranhas até a divisa dos Estados PB/RN*

Esse trecho se inicia a partir do ponto em que o Rio Piancó passa a receber o nome do seu maior afluente, o Rio Piranhas, no município de Pombal- PB.



**Figura 16- Rio Piranhas no município de Pombal**

Desse ponto até a divisa, os seus afluentes margeiam algumas cidades do Sertão Paraibano localizadas na Microrregião de Catolé do Rocha e Sousa, são elas:

**Tabela 19- Municípios localizados no trecho 02**

NOME	Área (km²)	População		
		Total	Urbana	Rural
Bom Sucesso	184,10	5285	1558	3727
Lagoa	177,90	4844	1742	3102
Jericó	179,31	7416	4198	3218
Paulista	576,88	11266	4442	6824
Mato Grosso	83,52	2427	879	1548
Vista Serrana	61,36	3121	122	1901
Condado	280,91	6495	4126	2369
Malta	156,24	5692	4719	973
Riacho dos Cavalos	264,03	8064	2833	5231
Brejo dos Santos	93,85	5948	4056	1892
Católé do Rocha	552,10	26641	18336	8305
São Bento	248,20	26225	20277	5948
Total		113424		

Fonte: IBGE- Censo 2000

Totalmente inseridos na sub-bacia do Médio Piranhas, os afluentes do Rio Piranhas nesse trecho são, na sua maioria, pequenos riachos, com exceção dos Riachos São Bento, Caiçara e Riacho dos Cavalos, que contém os açudes Do Carneiro, Engenho Arco Verde e Riacho dos Cavalos, respectivamente (ver **Figura 13**); cujas capacidades são mostradas no tabela 20 abaixo juntamente com os outros afluentes do Rio Piranhas, enumerados desde a confluência com o Rio Piancó até a divisa dos Estados, nesta ordem:

**Tabela 20-Afluentes e Açudes do Trecho 02**

Sub-Bacia	Rio	Afluentes	Açudes	Capacidade (m <sup>3</sup> )
Médio-Piranhas	Piranhas	Riacho São Bento	Açude do Carneiro	31.285.875
		Riacho dois irmãos		
		Riacho Jenipapo		
		Riacho Forquilha		
		Córrego do Preto		
		Riacho Jurema		
		Riacho do Moleque		
		Riacho de água fria		
		Riacho da Caiçara	Engenho Arco Verde	30.593.400
		Riacho Barro vermelho		
		Riacho do Junco		
		Riacho Sonharão		
		Riacho Malhada da besta		
		Riacho Mato Grosso		
		Riacho Mulungu		
		Riacho do Couro		
		Boa Vista		
		Riacho Salgadinho		
		Riacho dos Cavalos	Riacho dos Cavalos	17,699,000
		Riacho Talismã		
Riacho do Agreste				

Fonte:AESA

As demandas de água predominantes nesse trecho são irrigações distribuídas ao longo do rio (cerca de 1000ha de área irrigada), abastecimento humano e animal difuso, e abastecimento urbano através do Sistema Adutor São Bento que atende aos municípios de Brejo da Cruz, Belém do Brejo da Cruz e São Bento, captando água do Rio Piranhas neste último município (ver **Figura 14**); e a adutora Riacho dos Cavalos que abastece Catolé do Rocha e Riacho dos Cavalos captando água na divisa dos municípios Paulista e Riacho dos Cavalos.

Os postos pluviométricos instalados dentro dos limites dos municípios localizados nessa parte da bacia do Médio-Piranhas estão enumerados na tabela a seguir:

**Tabela 21- Postos Pluviométricos do trecho 02**

Município	Posto	Latitude (graus)	Longitude (graus)
Bom Sucesso	Bom Sucesso	-6,44	-37,92
Jericó	Jericó	-6,56	-37,8
Lagoa	Lagoa	-6,58	-37,91
Paulista	Paulista	-6,59	-37,62
Malta	Malta	-6,90	-37,52
Condado	Condado	-6,92	-37,59
Vista Serrana	Desterro de Malta	-6,73	-37,56
Brejo dos Santos	Brejo dos Santos	-6,38	-37,82
Riacho dos Cavalos	Riacho dos Cavalos	-6,43	-37,65
São Bento	São Bento	-6,50	-37,45
Catolé do Rocha	Escola tecnica	-6,35	-37,72
Catolé do Rocha	Catolé do Rocha	-6,34	-37,74

Fonte: LMRS-PB

Um dos principais pontos de medição de vazão do Rio Piranhas está na divisa dos Estados da Paraíba com o Rio Grande do Norte. Nesse ponto está localizado o Posto Limnimétrico de Barra de Cima (Latitude Sul 06° 26' 24,2", e Longitude Oeste 37° 23' 21,6") no Distrito de Barra de Cima, município de São Bento (**Figura 17**). A Resolução da ANA nº 687, de 03 de dezembro de 2004, estabeleceu que a vazão mínima no rio Piranhas na divisa geográfica dos estados nos cinco primeiros anos de vigência dessa Resolução seria de 1,50 m³/s, e de 1,00 m³/s a partir do sexto ano, de acordo com as necessidades hídricas do Estado do Rio Grande do Norte nos trechos seguintes a este.



Fonte:AAGISA,2004

**Figura 17- Seção de reguas no Rio Piranhas na divisa PB/RN**

Fora este, não há um posto fluviométrico com uma série longa de vazão nesse trecho, apenas foram instaladas réguas limétricas recentemente, nas proximidades da cidade ribeirinha de Paulista, cujos dados datam de 2004 (Posto Sítio Curralinho).

### **3.3.3 Trecho 03:** *Da divisa PB/RN até à montante do Lago do Reservatório Armando Ribeiro Gonçalves.*

Esse é o primeiro trecho a englobar a parte norte-riograndense da Bacia do Rio Piranhas-Açu. A partir desse trecho, o Rio Piranhas, como é mais conhecido na Paraíba, é chamado de Rio Açu pelos potiguares, passando a se chamar Piranhas-Açu.



Fonte: Margi Moss

**Figura 18- Rio Piranhas-Açu no município de Jardim de Piranhas- RN**

Seus principais afluentes nesse trecho são os Rios Espinharas e Seridó (ver **Figura 13**). As cidades que captam água do Rio Piranhas-Açu e de seus afluentes estão listadas na **Tabela 22** abaixo, com exceção das cidades localizadas na sub-bacia do Rio Espinharas que estão enumeradas no **Tabela 23** em seguida.

**Tabela 22- Municípios localizados no trecho 03**

Municípios	Estado	População		
		Total	Urbana	Rural
Jardim de Piranhas	RN	10.980	8650	2.330
Timbauba dos Batistas	RN	2.361	2028	333
Brejo de Cruz	PB	11.868	8062	3806
Belém do Brejo do Cruz	PB	7.011	4484	2527
São José do Brejo do Cruz	PB	1.532	713	819
Total		33.752		

Fonte: IBGE- Censo 2000

**Tabela 23- Municípios localizados na Bacia do Rio Espinharas**

Municípios	Estado	População		
		Total	Urbana	Rural
Areia de Baraúnas	PB	2.104	865	1.239
Cacimba de Areia	PB	3.577	1.289	2.288
Mãe d'Água	PB	3.459	1.302	2.157
Maturéia	PB	5.032	2.460	2.572
Passagem	PB	1.979	829	1.150
Patos	PB	91.761	87.949	3.812
Quixabá	PB	1.308	505	803
Salgadinho	PB	2.823	505	2.318
Santa Terezinha	PB	4.728	1.607	3.121
São José de Espinharas	PB	5.109	1.475	3.634
São José do Bonfim	PB	2.838	965	1.873
Teixeira	PB	11.953	7.948	4.005
Serra Negra do Norte	RN	7.543	2.909	4.634
Total		144.214		

Fonte: IBGE- Censo 2000

Afora os Rios Espinharas e Seridó, existem outros riachos contribuintes do Rio Piranhas-Açu, localizados na sub-bacia do Médio-Piranhas, com pequenos açudes existentes. A **Tabela 24** mostra os açudes da bacia do rio Espinharas com capacidades superiores a 1 milhão de m<sup>3</sup>; e a **Tabela 25** enumera os demais afluentes do Rio Piranhas-Açu nesse trecho 03, bem como seus açudes.

**Tabela 24- Açudes da sub-bacia do Rio Espinharas**

Sub-bacia	Açudes	Estado	Cidade	Capacidade (m <sup>3</sup> )
Espinharas	Barragem Dinamarca	RN	Serra Negra do Norte	6.000.000
	Bastiana	PB	Teixeira	1.271.560
	Capoeira	PB	Santa Terezinha	53.450.000
	Farinha	PB	Patos	25.738.500
	Jatobá I	PB	Patos	17.516.000
	Sabonete	PB	Teixeira	1.952.540
	Bastos	PB	Santa Terezinha	1.292.875
	Firmino	PB	Patos	6.063.600
	Jacu	PB	Patos	2.110.949
	São Francisco	PB	Teixeira	4.920.720

Fonte: Nascimento Junior, 2004

**Tabela 25-Afluentes e açudes do Rio Piranhas –Açu no trecho 03**

Sub-bacia	Rio	Afluentes	Açudes	Estado	Capacidade (m <sup>3</sup> )
Médio Piranhas	Piranhas-Açu	Riacho Poço da Onça	-	PB	-
		Riacho das Lajes	-	PB	-
		Riacho Escuro	Santa Rosa	PB	16.579.250
		Rio Baião	Escondido	PB	16.325.813

Fonte: AESA

O rio Seridó e sua bacia de drenagem serão comentados posteriormente devido à necessidade de um maior detalhamento.

A maior demanda de água nesse trecho, assim como nos outros, destina-se à irrigação difusa (cerca de 1000ha de área irrigada), que é empregada, quase que na sua totalidade, para a formação de forragens. As adutoras também demandam grande volume de água. Nesse trecho existe a adutora Piranhas-Caicó, com captação em Jardim de Piranhas, que abastece os municípios de Caicó, São Fernando e Timbaúba dos Batistas (ver **Figura 15**).

Com relação à rede de monitoramento, em Jardim de Piranhas- RN existe um posto fluviométrico localizado na ponte da cidade, com coordenadas geográficas Latitude Sul 6° 22' 39,3" e Longitude Oeste 37° 21' 18,7" (ver **Figura 13**). Esta seção de longa série histórica de vazão (1962-2006) é operada pela CPRM/ANA. Os postos pluviométricos estão distribuídos em toda a bacia do Rio Espinharas e nos outros municípios que fazem parte da bacia desse trecho do rio. As **Tabelas 26 e 27** a seguir enumeram esses postos:

**Tabela 26- Postos pluviométricos localizados no trecho 03**

<b>Município</b>	<b>Posto</b>	<b>Latitude (graus)</b>	<b>Longitude (graus)</b>
Jardim De Piranhas	Jardim De Piranhas	-6,38	-37,35
Timbauba Dos Batistas	Açude Lagoinha	-6,45	-37,30
Belém do Brejo do Cruz	Belém do Brejo do Cruz	-6,19	-37,54
São José do Brejo do Cruz	Espera	-6,19	-37,29
São José do Brejo do Cruz	São José do Brejo do Cruz	-6,21	-37,35
Brejo do Cruz	Brejo do Cruz	-6,35	-37,50
Catolé do Rocha	Catolé do Rocha	-6,34	-37,74

Fonte: LMRS- PB/ EMPARN

**Tabela 27- Postos pluviométricos da Bacia do Rio Espinharas**

<b>Município</b>	<b>Posto</b>	<b>Latitude (graus)</b>	<b>Longitude (graus)</b>
Cacimba de Areia	Cacimba de Areia	-7,13	-37,16
Mãe d'Água	Mãe d'Água	-7,26	-37,43
Passagem	Passagem	-7,14	-37,05
Patos	Embrapa	-7,00	-37,31
Quixabá	Quixabá	-7,03	-37,13
Salgadinho	Salgadinho	-7,10	-36,85
Santa Terezinha	Santa Terezinha	-7,08	-37,45
São José de Espinharas	São José de Espinharas	-6,85	-37,33
São José do Bonfim	São José do Bonfim	-7,16	-37,31
Teixeira	Teixeira	-7,22	-37,25
Serra Negra do Norte	Serra Negra do Norte	-6,70	-37,40

Fonte: LMRS- PB/ EMPARN

A Bacia do Rio Espinharas é de fundamental importância do ponto de vista do abastecimento humano, sendo responsável pelo abastecimento de 160.000 habitantes, incluindo a cidade de Patos, que é uma das principais cidades do estado da Paraíba. A rede fluviométrica da bacia do rio Espinharas é composta por duas estações: uma no município de Serra Negra do Norte-RN, com série histórica diária de 1921 a 2006 e outra no município de Patos-PB, com série histórica mensal de 1985 a 2001 (NASCIMENTO JÚNIOR, 2004).

A bacia formada pelo Rio Seridó é a de maior relevância nesse último trecho. Nessa região, a escassez crônica de recursos hídricos tem sido um dos principais fatores limitativos do desenvolvimento, apesar da grande infra-estrutura hídrica de acumulação construída nos últimos 100 anos. É uma das regiões com um dos

maiores índices de açudagem do mundo (MEDEIROS, 2005). Alguns desses açudes estão enumerados a seguir, juntamente com suas capacidades de acumulação:

**Tabela 28- Açudes da sub-bacia do Rio Seridó**

Sub-bacia	Açudes	Estado	Cidade	Capacidade (m <sup>3</sup> )
Seridó	São José	PB	São José do Sabugi	330.600
	Várzea	PB	Várzea	1.132.975
	Tamanduá I	PB	Nova Palmeira	1.261.125
	Caldeirão	PB	Pedra Lavrada	1.277.250
	Tamanduá II	PB	Pedra Lavrada	1.319.380
	Felismina de Queiroz	PB	Seridó	2.060.000
	Caraibeiras	PB	Picuí	2.709.260
	Santa Luzia	PB	Santa Luzia	11.960.000
	São Mamede	PB	São Mamede	16.000.000
	Várzea Grande	PB	Picuí	21.532.659
	Vida Nova	RN	Timbaúba dos Batistas	1.760.000
	Mundo Novo	RN	Caicó	3.600.000
	Zangarelhas	RN	Jardim do Seridó	7.916.000
	Caldeirão	RN	Parelhas	10.193.000
	Dourado	RN	Currais Novos	10.321.000
	Cruzeta	RN	Cruzeta	35.000.000
	Marechal Dutra	RN	Acari	40.000.000
	Passagem das Traíras	RN	São José do Seridó	48.858.000
	Sabugi	RN	São João do Sabugi	65.335.000
Itans	RN	Caicó	81.750.000	
Boqueirão	RN	Parelhas	85.013.000	

Fonte: AESA/ SERHID

O Seridó norte-riograndense engloba a maior parte da Bacia Hidrográfica do Rio Seridó, que é uma Bacia Federal (ver **Figura 13**). É uma região bastante populosa, como se pode verificar na **Tabela 29** a seguir.

**Tabela 29- Municípios localizados na Bacia do Rio Seridó**

Município	Estado	Área (Km <sup>2</sup> )	População		
			Total	Urbana	Rural
Acari	RN	608,57	11,189	8,841	2,348
Caicó	RN	1,228,57	57,002	50,624	6,378
Carnaúba dos Dantas	RN	245,65	6,572	5,035	1,537
Cruzeta	RN	295,83	8,138	5,977	2,161
Cubati	PB	136,97	6,388	4,030	2,358
Currais Novos	RN	864,34	40,791	35,529	5,262
Equador	RN	264,98	5,664	4,324	1,340
Florânia	RN	504,02	8,978	6,269	2,709
Frei Martinho	PB	244,32	2,923	1,446	1,477
Ipueira	RN	127,35	1,902	1,540	362
Jardim do Seridó	RN	368,64	12,041	9,297	2,744
Lagoa Nova	RN	176,30	12,058	5,688	6,370
Nova Palmeira	PB	310,35	3,573	2,052	1,521
Ouro Branco	RN	253,30	4,667	2,963	1,704
Parelhas	RN	513,05	19,319	15,606	3,713
Pedra Lavrada	PB	351,69	6,617	2,446	4,171
Picuí	PB	665,57	17,896	10,673	7,223
Santa Luzia	PB	455,70	14,012	12,469	1,543
Santana do Seridó	RN	188,40	2,377	1,394	983
São Fernando	RN	404,42	3,234	1,479	1,755
São João do Sabugi	RN	277,01	5,698	4,142	1,556
São José do Sabugi	PB	206,91	3,903	2,212	1,691
São José do Seridó	RN	174,50	3,777	2,659	1,118
São Mamede	PB	530,72	8,018	5,567	2,451
São Vicente	RN	197,81	5,633	2,823	2,810
Seridó	PB	276,46	9,106	3,461	5,645
Tenente Laurentino Cruz	RN	74,38	4,412	1,261	3,151
Tenório	PB	105,27	2,473	1,276	1,197
Várzea	PB	190,44	2,051	1,403	648
Total			290,412		

Fonte: IBGE- Censo 2000

Os demais afluentes do Rio Piranhas-Açu até chegar na cidade de Jucurutu-RN, imediatamente a montante do Reservatório Armando Ribeiro Gonçalves, riachos de pequena extensão. As principais atividades desse trecho são a irrigação difusa e o abastecimento humano e animal difuso. Em projeto exploratório, encontra-se a Barragem de Oiticica, que será construída no Rio Piranhas-Açu, no município de Jucurutu. Essa Barragem faz parte do projeto "Eixo de Integração do Seridó", que visa integrar o rio Piranhas-Açu com os açudes Cruzeta, Passagem das Traíras e

Itans, resgatando com vazões permanentes os projetos hidroagrícolas, abastecendo as cidades do Seridó, fortalecendo a produção no campo, perenizando rios e promovendo o desenvolvimento da agricultura na região.

A rede de monitoramento instalada na Bacia do Seridó conta com os seguintes postos pluviométricos:

**Tabela 30- Postos pluviométricos da Bacia do Rio Seridó**

Município	Posto	Estado	Latitude	Longitude
			(graus)	(graus)
Florânea	Florânea	RN	-6,12	-36,82
Florânea	Umbuzeiro	RN	-6,18	-36,78
Currais Novos	Totoró	RN	-6,20	-36,53
São Vicente	São Vicente	RN	-6,21	-36,68
Currais Novos	Currais Novos	RN	-6,26	-36,51
Caicó	Caicó	RN	-6,38	-37,06
São Fernando	São Fernando	RN	-6,38	-37,18
Acari	Açude Gargalheiras	RN	-6,40	-36,58
Caicó	Mundo Novo	RN	-6,40	-37,07
Cruzeta	Cruzeta	RN	-6,41	-36,78
Caicó	Itans	RN	-6,48	-37,07
Jardim do Serido	Jardim do Serido	RN	-6,58	-36,78
Parelhas	Parelhas	RN	-6,68	-36,66
Ouro Branco	Ouro Branco	RN	-6,70	-36,95
Caicó	Palma	RN	-6,70	-37,02
São João do Sabugi	São João do Sabugi	RN	-6,71	-37,20
Lagoa Nova	Lagoa Nova	RN	-6,10	-36,46
Equador	Equador	RN	-6,95	-36,71
Frei Martinho	Frei Martinho	PB	-6,40	-36,45
Picuí	Picuí (PVG - A)	PB	-6,51	-36,35
Nova Palmeira	Nova Palmeira	PB	-6,68	-36,42
Nova Palmeira	Poço de Pedra	PB	-6,69	-36,37
Pedra Lavrada	Pedra Lavrada	PB	-6,76	-36,46
São José do Sabugi	São José do Sabugí	PB	-6,77	-36,80
Santa Luzia	Santa Luzia	PB	-6,87	-36,92
São Mamede	São Mamede	PB	-6,93	-37,10
Santa Luzia	Riacho do Saco	PB	-6,96	-36,92
Cubatí	Cubatí	PB	-6,86	-36,35
Tenório	Tenório	PB	-6,94	-36,63
Seridó	Seridó (PVG)	PB	-6,86	-36,41
Várzea	Várzea	PB	-6,77	-36,99

Fonte: LMRS-PB/ EMPARN-RN

Segundo a ANA, o Rio Piranhas-Açu é monitorado nesse trecho pela Estação Limnimétrica Oiticica II (Latitude  $-6^{\circ}11'0''$  e Longitude  $-37^{\circ}9'0''$ ), com série de cotas de 1969 a 1979, e pelo Posto de Jucurutu (Latitude  $-6^{\circ}10'54''$  e Longitude  $-37^{\circ}8'30''$ ), cuja série data de 2004.

O monitoramento do rio Seridó é feito pelas seguintes estações:

**Tabela 31- Estações fluviométricas no rio Seridó**

Estações	Municípios	Latitude	Longitude	Série de vazões
São Fernando	São Fernando	-6°22'13"	-37°10'49"	1963-2001
Caicó	Caicó	-6°27'4"	-37°5'26"	1986-2003
Jardim do Seridó	Jardim do Serido	- 6°35'37"	-36°47'6"	1979-2001

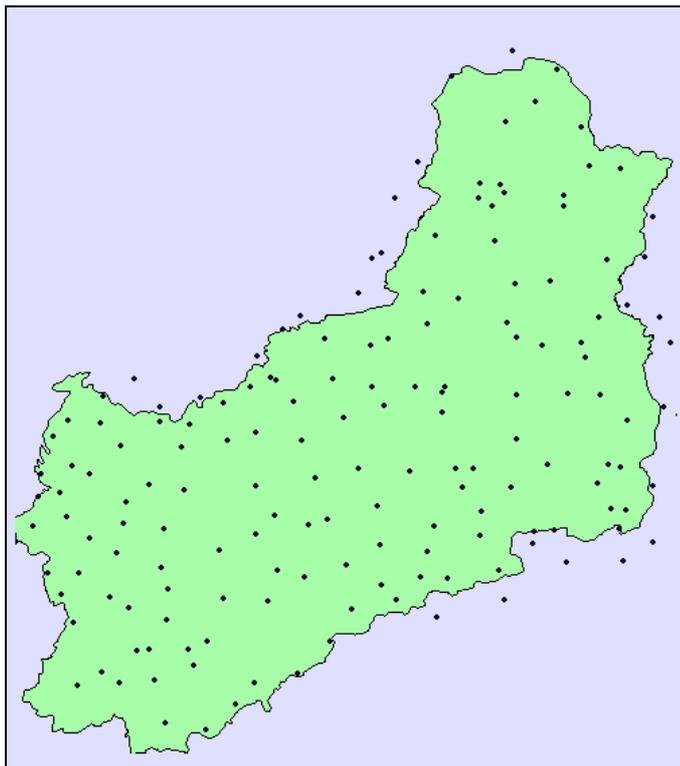
Fonte: *Hidroweb*- ANA

## MÉTODOS

O procedimento de avaliação da disponibilidade hídrica da bacia do rio Piranhas-Açu inclui as seguintes etapas:

- I. Identificação das estações fluviométricas localizadas ao longo do curso do rio principal e de seus afluentes, bem como o levantamento das séries de vazões correspondentes;
- II. Identificação dos postos pluviométricos inseridos nos limites da bacia e posterior preenchimento de suas falhas;
- III. Delimitação das sub-bacias para aplicação do Modelo Chuva-Vazão MODHISA;
- IV. Obtenção das séries mensais de precipitação nas sub-bacias;
- V. Aplicação do MODHISA nas sub-bacias;
- VI. Calibração do MODHISA;
- VII. Balanço hídrico nos açudes;
- VIII. Simulação

As etapas I e II foram discutidas na descrição dos trechos do rio Piranhas-Açu (item 3.3). Assim sendo, a **Figura 13** traz uma visualização geral das estações fluviométricas da bacia, e a **Figura 19** mostra a distribuição espacial da rede de postos pluviométricos.



**Figura 19- Rede de postos pluviométricos da bacia do Rio Piranhas- Açu**

Para fins de melhor compreensão, antes de descrever a etapa seguinte será feito um maior detalhamento e descrição do funcionamento do modelo chuva-vazão a ser aplicado: o MODHISA-Modelo Hidrológico para o Semi-Árido.

## O Modelo Chuva-Vazão MODHISA

O MODHISA é um modelo de transformação chuva-vazão aplicado pelo consórcio CNEC–SOGREAH (1973) na reconstituição de deflúvios afluentes que subsidiaram os estudos do aproveitamento hidro-agrícola dos açudes públicos Itans, Cruzeta, Sabugi e Pau dos Ferros (RN).

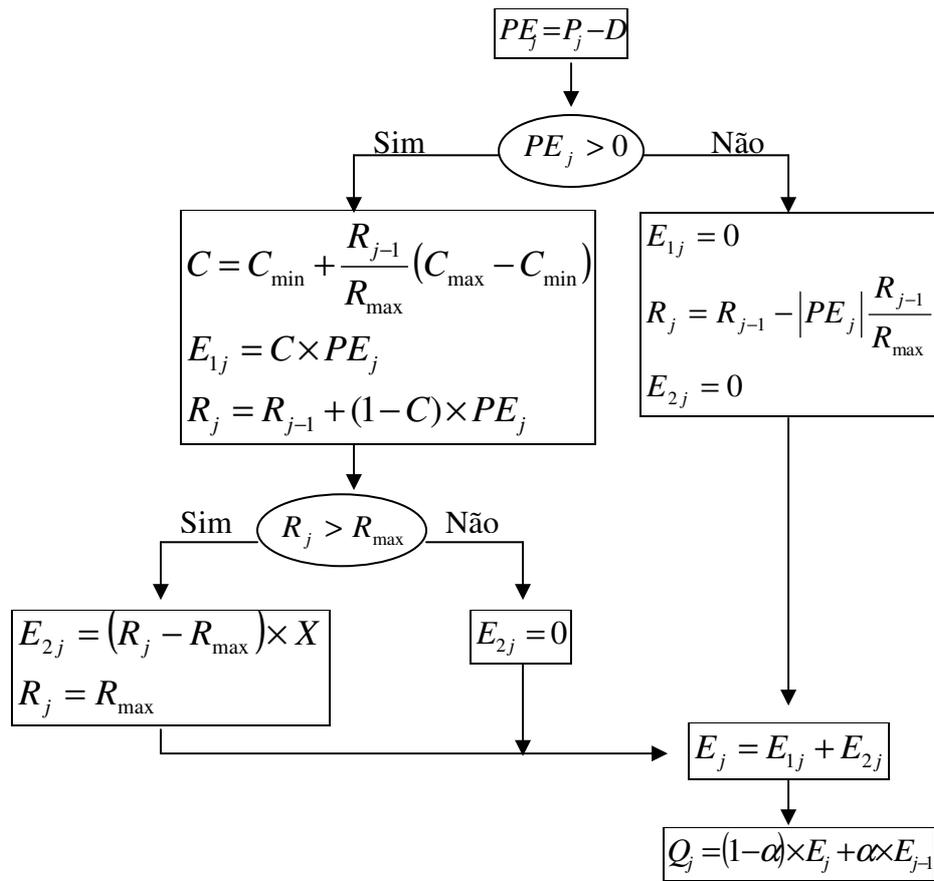
A adequação desse modelo foi verificada pela equipe de pesquisadores do LARHISA-Laboratório de Recursos Hídricos da UFRN, ao aplicá-lo na geração de dados de vazões afluentes ao açude Cruzeta/RN visando simular a operação desse açude (RIGHETTO *et al*, 2002); e por RIGHETTO *et al* (2003), onde foi feita uma simulação operacional preliminar do reservatório Armando Ribeiro Gonçalves.

O MODHISA pode ser classificado como um modelo matemático determinístico, do tipo conceitual, já que os processos são simulados por funções; concentrado, pois o influxo à bacia é representado por precipitações médias e os processos hidrológicos por variáveis concentradas no espaço, de modo que as funções de entrada e saída dependem somente do tempo; e explícito, característico do seu equacionamento.

Ele é fundamentado no balanço hídrico da superfície do solo, tendo como dados principais as séries de precipitações mensais sobre a bacia hidrográfica; e a capacidade de armazenamento de água na bacia, desprezando-se o escoamento básico (RIGHETTO *et al*, 2003). É aplicável à pequenas, médias e grandes bacias hidrográficas do semi-árido nordestino que contém grande número de açudes.

A escala temporal utilizada é a mensal, tendo em vista a influência do estado da bacia no mês antecedente na geração dos deflúvios.

O algoritmo do MODHISA foi adaptado a uma planilha do Microsoft Excel; e para cada mês de índice *j*, o MODHISA segue o organograma de cálculo da **Figura 20**:



**Figura 20– Organograma de Cálculo do MODHISA**

Onde:

$PE_j$	: precipitação efetiva no mês j (mm)
$P_j$	: precipitação mensal media na bacia (mm)
$D$	: detenção superficial (mm)
$C_{min}$	: coeficiente de deflúvio mínimo
$C_{Max}$	: coeficiente de deflúvio Máximo
$R_{j-1}$	: volume retido no mês anterior (mm)
$R_{Max}$	: lâmina máxima de retenção (mm)
$E_{1j}$	: lâmina escoada no mês j (mm)
$E_{2j}$	: escoamento adicional (mm)
$X$	: coeficiente de escoamento
$\alpha$	: coeficiente de depleção

A seqüência de cálculo do modelo, para cada mês ( $j$ ), é definida a partir de uma condição inicial: se a precipitação média na bacia ( $P_j$ ) é maior que a detenção superficial de água pluvial ( $D$ ) pelas depressões naturais do solo e pelos açudes da mesma, assim como as perdas por evapotranspiração; então a chuva eficaz ( $PE_j$ ) na bacia é positiva; logo, existe escoamento superficial ( $E_{1j}$ ). Caso contrário, não há escoamento.

Para calcular o escoamento superficial ( $E_{1j}$ ) encontra-se o coeficiente de deflúvio  $C$ . Ele é proporcional ao estado da retenção de água na bacia no início do mês, cujo valor corresponde ao volume retido no mês anterior ( $R_{j-1}$ ); e é baseado nos parâmetros  $C_{Max}$  e  $C_{min}$  que são os limites, máximo e mínimo, desse coeficiente em função do estado de saturação da bacia.

Quando não há escoamento, a retenção  $R_j$  diminui devido à evapotranspiração, que é considerada no modelo como proporcional à própria retenção e ao déficit de escoamento.

A variável  $R_j$ , quando há escoamento e aumento progressivo do seu nível, permite representar o enchimento dos açudes no começo da estação chuvosa.

Se a retenção  $R_j$  é máxima (quando os açudes estão cheios), produz-se o escoamento adicional  $E_{2j}$ , que representa, por exemplo, a lâmina vertida. Esta, deve ser multiplicada por um coeficiente de escoamento  $X$  (parâmetro que mede a eficiência do transporte d'água pelo sistema fluvial, quando  $R_j > R_{max}$ .) para uma melhor estimativa desse escoamento suplementar.

O escoamento total  $E_j = E_{1j} + E_{2j}$  é então distribuído para o mês em curso e possivelmente para o mês seguinte ou para além deste, em função do coeficiente de depleção  $\alpha$ .

Finalmente, o deflúvio produzido na bacia ( $Q_j$ ) a partir da precipitação mensal média ( $P_j$ ) dos postos pluviométricos é calculado como sendo a soma dos escoamentos totais da bacia no mês anterior (que foi propagado para o mês seguinte) e no mês atual.

A calibração do MODHISA, que corresponde ao ajuste dos parâmetros  $C_{min}$ ,  $C_{max}$ ,  $D$ ,  $X$ ,  $\alpha$  e  $R_{max}$ , dá-se através da comparação entre a série sintética gerada e os deflúvios naturais observados no mesmo período de tempo.

Para essa calibração é empregada a ferramenta Solver do Microsoft Excel, envolvendo a minimização de uma função-objetivo definida pela soma dos quadrados da diferença entre as vazões observadas e as calculadas pelo

MODHISA, tomando-se os parâmetros do modelo como as variáveis de decisão do processo de otimização:

$$F.O = \min \Sigma [Q_{ij} (sim) - Q_{ij} (obs)]^2 \quad (1)$$

Ao utilizar o SOLVER do Excel na função objetivo, deve-se adicionar as seguintes restrições aos parâmetros do modelo:

- I.  $D > 0$ ;
- II.  $R_{max} > 0$ ;
- III.  $C_{min} > 0$ ;
- IV.  $C_{max} > C_{min}$ ;
- V.  $X > 0$ ;
- VI.  $\alpha > 0$ ;
- VII.  $\Sigma Q_{ij} (sim) = \Sigma Q_{ij} (obs)$

Para que o solver forneça soluções satisfatórias pode-se impor valores limites para os parâmetros, através de novas restrições, ou até fixar valores para  $C_{min}$  e  $C_{Max}$ , por exemplo. Isso foi feito em todas as sub-bacias em que ele foi usado, com êxito nos resultados da calibração, demonstrando o caráter regional de alguns parâmetros.

### III. *Delimitação das Sub-Bacias para Aplicação do MODHISA*

Conforme visto, o MODHISA não leva em consideração a variação espacial dos parâmetros físicos da bacia nem da precipitação, pois se trata de um modelo concentrado. Logo, sua aplicação neste trabalho foi feita em diversas sub-bacias delimitadas dentro da área de drenagem das sub-bacias que compõem a bacia do Rio Piranhas- Açú. Essa divisão das sub-bacias foi realizada com base nas estações fluviométricas existentes, e na disposição dos açudes com capacidade de acumulação superior a 10 milhões de m<sup>3</sup>.

Esses açudes foram considerados como o exutório de cada sub-bacia, e como estes, na maior parte do tempo, não liberam volumes de água para jusante, ou seja, a água fica acumulada no reservatório e dele é retirada para atender às demandas, foi considerado que só há contribuição de uma bacia de um açude para outra quando o açude estiver vertendo. Logo, são bacias “fechadas”.

Já as bacias “livres”, ou seja, aquelas em que o deflúvio produzido pela bacia não é barrado por um açude, têm como exutório os postos fluviométricos ou a confluência de rios em pontos relevantes quando aí não existe posto de medição.

Foram delimitadas sub-bacias para a aplicação do MODHISA em todas as bacias de captação cuja água é drenada para os afluentes do rio Piranhas-Açu ou diretamente para este, desde o açude Coremas Mãe-D’ água até Armando Ribeiro Gonçalves.

Bem, sabe-se que existe um grande número de pequenos açudes em toda a bacia do rio Piranhas, porém, a retenção de água nestes está incorporada na variável  $D$  (detenção superficial) do modelo, e só quando seu valor é ultrapassado inicia-se o escoamento superficial na bacia. Portanto, somente na bacia hidrográfica dos grandes açudes, aqueles com múltiplos usos (abastecimento humano e animal, irrigação, piscicultura...) o MODHISA foi aplicado e calibrado isoladamente, a fim de se determinar a vazão afluente.

A **Figura 21** mostra as bacias dos açudes considerados na simulação (as bacias fechadas); como também, as bacias “livres”, cujos rios principais são os afluentes mais significantes para o escoamento superficial na bacia. Nota-se que as bacias “livres” só receberão água das bacias fechadas quando os açudes destas atingirem sua capacidade máxima.

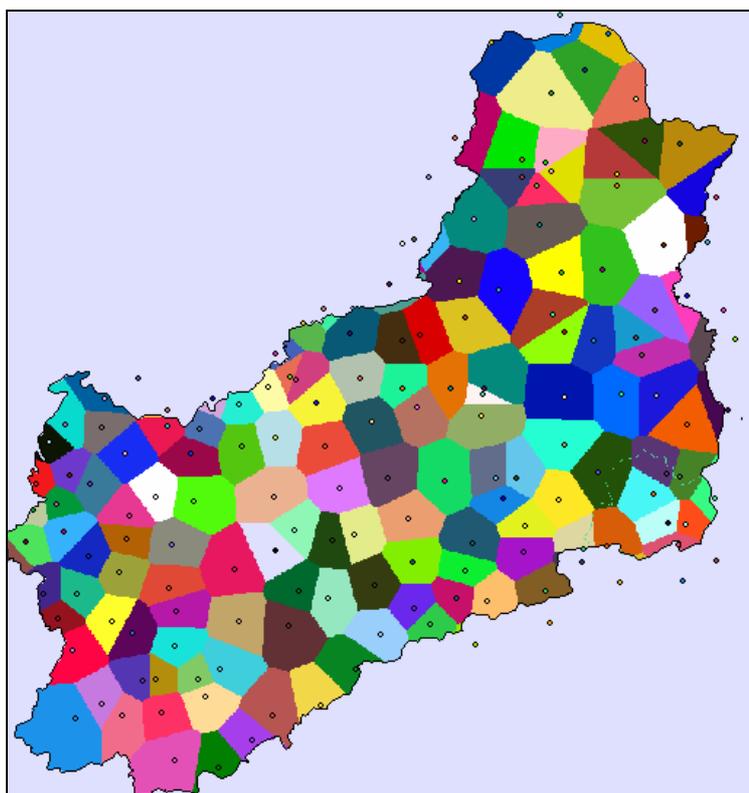


#### IV. *Cálculo da Precipitação Média Mensal nas Sub-Bacias*

Para o cálculo da precipitação média mensal foi aplicado o Método de Thiessen em cada sub-bacia.

Para maior agilidade, os polígonos de Thiessen e suas respectivas áreas foram gerados automaticamente pelo programa de geoprocessamento IDRISI 32®. Esse programa gera automaticamente a área de cada polígono, que corresponde à área de influência de cada posto, tendo como base apenas as coordenadas dos postos pluviométricos.

Na bacia do rio Piranhas-Açu estão instalados cerca de 166 postos, sendo 103 na Paraíba e 63 no Rio Grande do Norte. Os polígonos de Thiessen gerados podem ser vistos na figura abaixo:



**Figura 22- Resultado da geração dos Polígonos de Thiessen, na bacia do Rio Piranhas-Açu, pelo IDRISI**

### V. Aplicação e Calibração do MODHISA nas Sub-Bacias

Esse modelo foi aplicado com a finalidade de se obter um modelo hidrológico que caracterize bem a região da bacia do rio Piranhas-Açu, capaz de gerar deflúvios afluentes aos principais açudes da bacia, como também nos exutórios das sub-bacias contribuintes do rio, nesse trecho estudado. Além disso, esse modelo permite a reconstituição de deflúvios naturais para um longo período, no qual o conhecimento restringe-se à precipitação.

O MODHISA foi aplicado nas sub-bacias comentadas na etapa III e mostradas na **Figura 21**. Para tanto, foram levantadas as séries históricas de precipitação dos postos, no período de 1994 a 2004, e calculada a precipitação média mensal para cada sub-bacia de acordo com a etapa anterior. Foram utilizados dados de cerca de 90 postos, inseridos nos limites das sub-bacias. Logo, os postos da bacia do Baixo-Açu e de grande parte da bacia do Piancó, a montante de Coremas Mãe-D'água, não foram utilizados.

Esses dados de precipitação média constituem os dados de entrada da planilha do MOHISA, a qual é a mesma para todas as sub-bacias.

No entanto, o processo de calibração do modelo nas bacias fechadas (bacias dos açudes) não poderia ser baseado na série de deflúvios naturais (como o das bacias livres cujo exutório é um posto fluviométrico), já que na maioria dos açudes não há dados de vazão afluente.

Para a calibração do modelo nessas bacias, partiu-se da seguinte hipótese:

Dada a equação da continuidade:

$$I - O = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (2)$$

Onde:

$I$  : vazão afluente (Inflow)

$O$  : vazão efluente (Outflow)

$\frac{\Delta S}{\Delta t}$  : variação do volume armazenado no tempo

E sabendo-se que os açudes não liberam água para jusante, a menos que estejam sangrando; na fase de calibração foi considerado um período em que a vazão de saída (Outflow) é zero. Logo, a vazão de entrada, ou seja, a vazão gerada pelo MODHISA (Inflow), deve ser igual à variação positiva do volume armazenado no reservatório.

Dessa forma, foram levantadas as séries dos volumes mensais dos 25 açudes que formam as sub-bacias fechadas, com o auxílio de informações do DNOCS (RN), SERHID (RN) e AESA (PB).

Para a calibração foi considerada apenas a variação positiva do volume, durante o mesmo intervalo de tempo dos dados de precipitação; já que a variação negativa representa perdas de água do sistema. A variação positiva é fruto da entrada de água no açude e isso se dá através da contribuição de toda a bacia como consequência da precipitação.

Já as sub-bacias cujos exutórios contêm estações fluviométricas tiveram seus parâmetros ajustados com base na comparação entre a vazão simulada e a observada nos postos.

#### VI. *Balanço hídrico nos açudes*

Para que seja feita a simulação mensal do deflúvio afluente ao trecho do rio Piranhas- Açú estudado, a precipitação ocorrida em um mês  $j$ , sobre cada bacia fechada, deve ser transformada em vazão afluente ao açude; e neste, deve ser feito o balanço hídrico para determinar a vazão liberada, ou não, para a bacia de jusante, a qual pode ser fechada ou livre (ver **Figura 21**). O encadeamento desse processo permite tanto a análise da capacidade hídrica das sub-bacias, como a geração de uma série sintética de deflúvios afluentes ao rio Piranhas-Açú.

No cálculo do balanço hídrico nos açudes, a equação utilizada contou com os seguintes termos:

$$V_j = V_{j-1} + V_{entrada} + V_{prec.} - V_{evap.} - V_{demanda} \quad (3)$$

Onde:

$V_j$  → é o volume armazenado no mês  $j$

$V_{j-1}$  → é o volume armazenado no mês anterior

$V_{entrada}$  → é o volume de entrada na bacia simulado pelo MODHISA

$V_{prec.}$  → é o volume precipitado sob a área do espelho d'água

$V_{evap.}$  → é o volume evaporado no açude

$V_{demanda.}$  → é o volume retirado para atender as demandas

Primeiramente, foram levantadas as fichas técnicas de todos os açudes, e ajustadas funções cota-área e cota-volume pelo Método da Regressão Linear de 1ª Ordem.

Com essas funções, foram calculadas as áreas correspondentes aos volumes mensais dos açudes. E assim, calculado o volume precipitado sob a área do espelho d' água:

$$V_{prec.} = (P_{posto} \times 10^{-3}) \times A_{espelho} \quad (4)$$

Onde:

$P_{posto.}$  → é a precipitação mensal em mm do posto mais próximo do açude

$A_{espelho.}$  → é a área do espelho d' água do açude, no mês  $j$ , em  $m^3$

Para o cálculo do volume evaporado, foram utilizados os dados dos seguintes tanques classe A: São Gonçalo, para os açudes localizados nas bacias do Rio do Peixe, Alto Piranhas e Médio Piranhas; Serra Negra do Norte, para os açudes da bacia do Rio Espinharas; e Cruzeta, para os açudes da bacia do Rio Seridó. A seguir é mostrada uma tabela com os dados médios mensais de evaporação nos tanques classe A, já multiplicados pelos fatores de conversão de: **0,7 para o tanque de Cruzeta.**

**Tabela 32 – Dados médios de evaporação (em mm)**

Tanques Classe A	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
São Gonçalo	186.9	130.9	119.8	113.2	141.6	153.7	191.2	227.2	238.0	245.4	243.5	214.0
S.N.N	229.9	192.8	168.4	141.9	162.1	166.1	198.0	246.9	263.1	320.1	311.4	296.6
Cruzeta	263.9	187.6	135.1	114.1	105	152.6	157.5	217	217	226.8	266.7	259.7

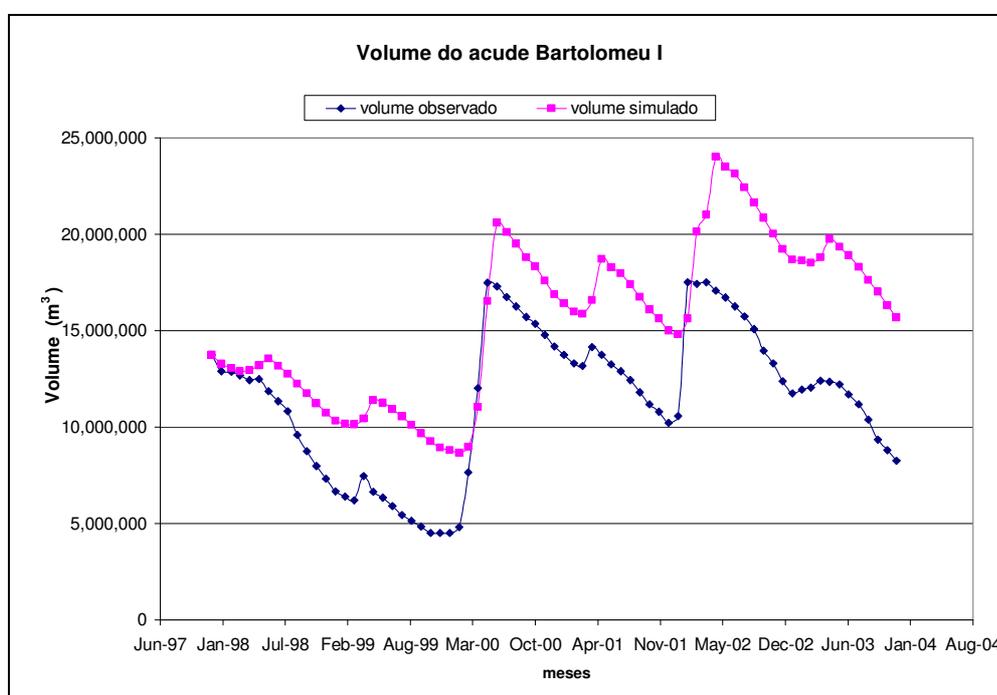
*Obs: O período dos dados difere entre os tanques. O de São Gonçalo refere-se à média mensal da evaporação entre os anos de 1961 a 1990; o de Serra Negra, de 1996 a 2006; e o de Cruzeta, de 1964 a 1971.*

Assim, o volume evaporado foi calculado pelo produto entre os dados de evaporação, e a área do espelho d' água do açude, em cada mês  $j$ .

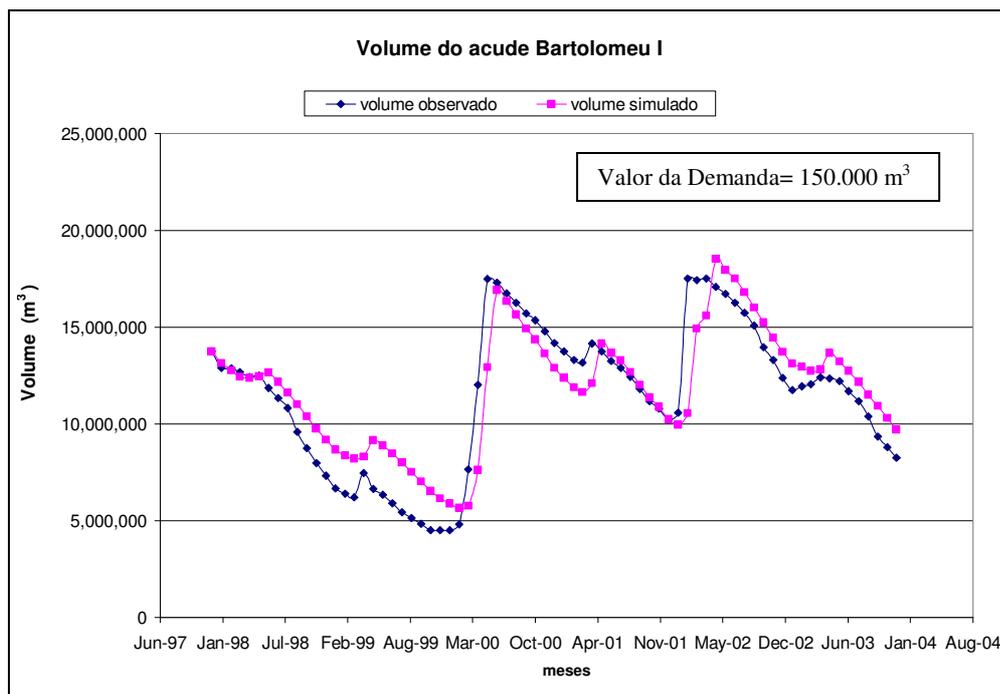
O volume retirado do açude para atender as demandas foi estimado, já que não há informações disponíveis; a não ser a demanda para abastecimento da zona urbana, naqueles açudes responsáveis pelo atendimento das cidades. Porém, sabe-se que a irrigação demanda um volume muito superior, e este não é monitorado.

Então, para estimar a demanda de água do açude, foram gerados volumes sintéticos para um período onde são conhecidos os volumes reais mensais do açude, e feita a comparação. Os gráficos a seguir mostram a estimativa da demanda para o açude Bartolomeu I, na bacia do Alto Piranhas.

No primeiro, percebe-se que o volume do açude foi superestimado, devido à hipótese de demanda nula. Com o acréscimo desta, o gráfico do volume simulado é transladado para baixo, até o melhor ajuste com o gráfico do volume observado.



**Figura 23- Comparação do volume simulado e observado do açude Bartolomeu I, considerando a demanda nula**

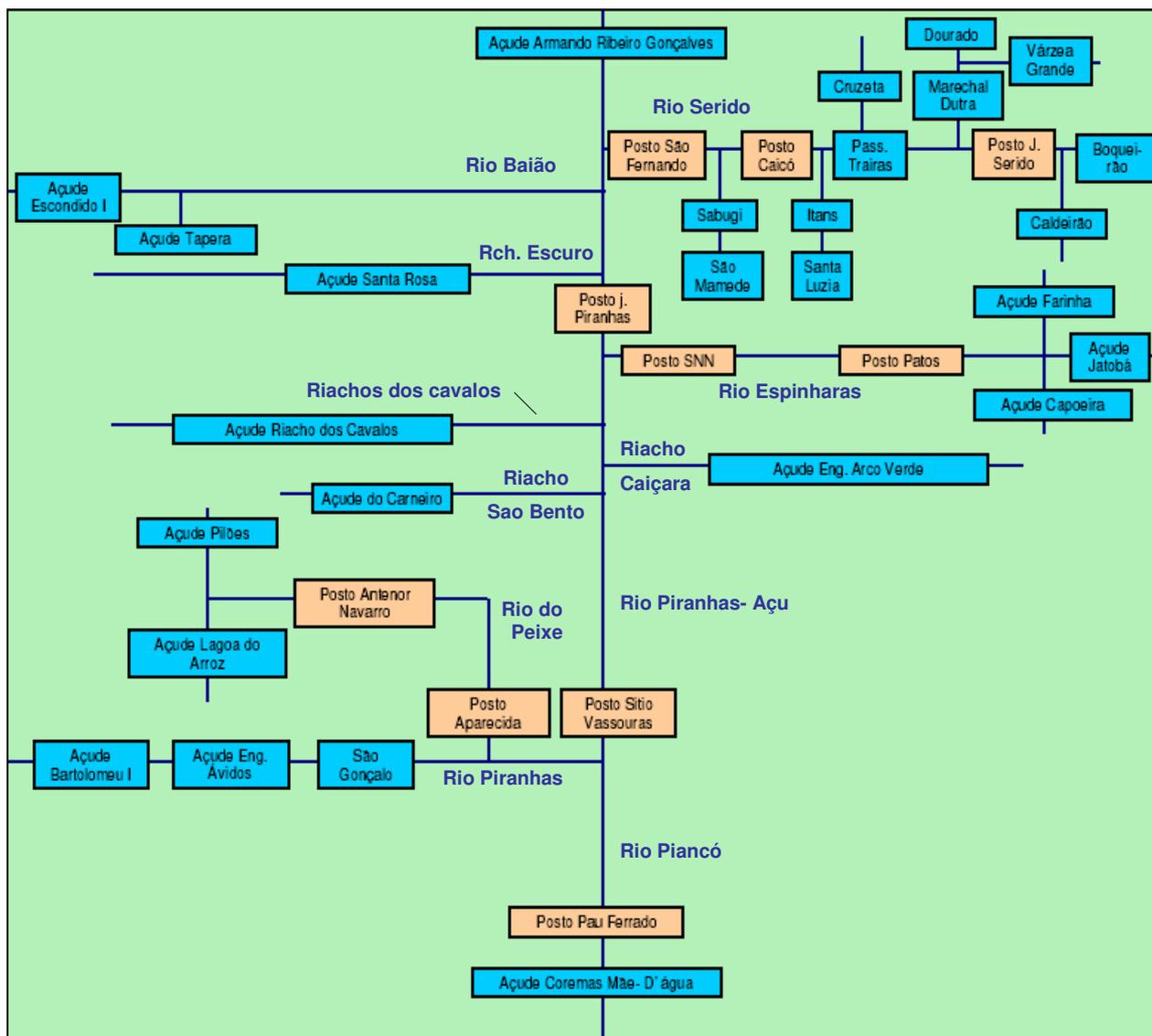


**Figura 24- Comparação do volume simulado e observado do açude Bartolomeu I, com a estimativa da demanda**

## VII. Simulação

A simulação do processo de transformação chuva-vazão em toda a bacia do Piranhas-Açu engloba o encadeamento desse processo nas sub-bacias que a formam.

Para facilitar a compreensão da simulação realizada, é mostrado a seguir o diagrama unifilar do trecho do rio Piranhas-Açu entre os açudes Coremas Mãe-D'água e Armando Ribeiro Gonçalves, com seus principais afluentes, açudes e postos de medição de vazão.



**Figura 25- Diagrama unifilar dos principais afluentes, açudes e postos fluviométricos do rio Piranhas-Açu no trecho entre os açudes Coremas Mãe-D'água e Armando Ribeiro Gonçalves**

Estando o MODHISA calibrado para todas as sub-bacias (fechadas e livres), foi feita, inicialmente, a validação do modelo, interligando os deflúvios gerados por ele, com os resultados dos balanços dos açudes, respeitando a seqüência do diagrama unifilar mostrado, ou seja, a disposição dos açudes na rede fluvial. Utilizou-se para isso, a série de 10 anos de dados de precipitação dos postos pluviométricos (de 1994 a 2004); e o volume inicial dos açudes de janeiro de 1994.

Quando o volume  $V_j$  gerado no açude era maior que o seu volume máximo, então:

$$V_{vert} = V_j - V_{max} \quad (5)$$

onde:

$V_{vert.}$  → é o volume vertido

$V_j$  → é o volume gerado pelo balanço

$V_{max}$  → é o volume máximo do açude

Havendo vertimento, esse volume era transformado em vazão, e esta era somada à vazão gerada pelo MODHISA na bacia a jusante do açude.

Porém, para se obter resultados mais consistentes do ponto de vista prático, é necessário simular uma série de, pelo menos, 50 anos de dados, a fim de se construir curvas de permanência em pontos relevantes do rio, bem como as curvas de garantia dos açudes, avaliando assim, o real aporte hídrico da bacia no trecho estudado.

Portanto, foi acrescentado ao modelo integrado das sub-bacias mais 40 anos de dados da seguinte forma: a partir da série de 10 anos de precipitação dos postos, gerou-se 40 anos de dados sintéticos de chuva usando o Modelo Auto- Regressivo de 1ª Ordem de Thomas-Fiering, em cada sub-bacia.

Os modelos auto-regressivos tentam gerar um valor para a precipitação, para um determinado mês  $j$  no ano  $i$ , a partir dos valores dessa variável em meses anteriores.

O equacionamento desse modelo é dado a seguir:

$$P(i, j) = \bar{P}_j + \frac{S_j}{S_{j-1}} r_{j-1,j} \left[ P(i, j-1) - \bar{P}_{j-1} \right] + S_j \times \sqrt{1 - r_{j-1,j}^2} \times \xi_j \quad (6)$$

Onde:

$$\bar{P}_j \rightarrow \text{precipitacao media mensal do mes } j = \frac{1}{N} \sum_1^N P(i, j) \quad (7)$$

$$\bar{S}_j \rightarrow \text{desvio padrao da precipitacao do mes } j : S_j^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N [P(i, j) - \bar{P}_j]^2 \quad (8)$$

$r_{j-1,j} \rightarrow$  coeficiente de correlacao entre as precipitacoes dos meses  $j-1$  e  $j$  :

$$r_{j-1,j} = \frac{\sum_{i=1}^N (P_{i,j} - \bar{P}_j)(P_{i,j-1} - \bar{P}_{j-1}) \times \frac{1}{N-2}}{S_j \times S_{j-1}} \quad (9)$$

$\xi_j \rightarrow$  numero aleatorio pertencente a uma distribuicao Normal Padrao  $N(\mu = 0; \sigma = 1)$

Foram utilizados números aleatórios iguais para os postos de uma mesma sub-bacia; e desprezou-se os primeiros 10 anos gerados, considerados para o aquecimento do modelo.

A simulação final contou, portanto, com 50 anos de dados, ou seja, 600 meses, a partir de janeiro de 1994, realizada através da interligação de várias planilhas (uma planilha para cada sub-bacia) com a ajuda da Visual Basic do Microsoft Excel para a execução de rotinas comuns a todas elas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Calibração do MODHISA

Os primeiros resultados obtidos foram os da calibração do MODHISA nas sub-bacias, ou seja, o ajuste dos parâmetros do modelo conforme explicado em Métodos.

A repetição desse processo nas diversas sub-bacias fez com que fosse adquirida sensibilidade com relação aos valores dos parâmetros, tornando possível uniformizar alguns deles, como os coeficientes máximo e mínimo de escoamento superficial ( $C_{\max}$  e  $C_{\min}$ ); e alterar manualmente o resultado encontrado pelo Solver, pois este muitas vezes não fornece a melhor solução, ou ainda, a mais conveniente.

A seguir, são exibidas as tabelas com os resultados dos parâmetros, separadamente para cada sub-bacia.

**Tabela 33- Parâmetros do MODHISA para as bacias dos açudes localizados na sub-bacia do rio Seridó**

Açudes	D (mm/mês)	C <sub>min</sub>	C <sub>máx</sub>	X	α	R <sub>máx</sub> (mm/mês)
Boqueirão	65	0,01	0,04	0,1	0,9	500
Caldeirão	125	0,01	0,04	0,1	0,2	300
Dourado	35	0,01	0,04	0,1	0,1	100
Marechal Dutra	79,6	0,05	0,1	0,1	0,8	150
Várzea Grande	60	0,01	0,04	0,25	0,8	178,7
Passagem das Trairas	40	0,01	0,04	0,02	0,8	100
Cruzeta	60	0,01	0,04	0,12	0,1	242
Itans	50	0,01	0,04	0,17	0,8	300
Sta Luzia	71	0,01	0,04	0,07	0,4	200
São Mamede	37,76	0,01	0,04	0,02	0,8	70
Sabugi	50	0,03	0,05	0,16	0,5	300

**Tabela 34- Parâmetros do MODHISA para as bacias dos açudes localizados na sub-bacia do rio Espinharas**

Açudes	D (mm/mês)	C <sub>min</sub>	C <sub>máx</sub>	X	α	R <sub>máx</sub> (mm/mês)
Farinha	53	0,01	0,04	0,01	0,05	250
Capoeira	10,3	0,01	0,04	0,1	0,1	100
Jatobá I	20	0,01	0,04	0,16	0,4	100

**Tabela 35- Parâmetros do MODHISA para as bacias dos açudes localizados na sub-bacia Médio Piranhas**

<b>Açudes</b>	<b>D (mm/mês)</b>	<b>C<sub>min</sub></b>	<b>C<sub>máx</sub></b>	<b>X</b>	<b>α</b>	<b>R<sub>máx</sub> (mm/mês)</b>
Açude Escondido I	132	0,01	0,04	0,15	0,8	300
Açude Tapera	100	0,01	0,04	0,9	0,9	366
Açude Santa Rosa	100	0,01	0,04	0,05	0,9	340
Açude Riacho dos Cavalos	50	0,01	0,04	0,19	0,7	200
Açude Carneiro	100	0,01	0,04	0,28	0,77	250
Açude Eng. Arcoverde	50	0,01	0,04	0,2	0,8	150

**Tabela 36- Parâmetros do MODHISA para as bacias dos açudes localizados na sub-bacia do Alto Piranhas e rio do Peixe**

<b>Açudes</b>	<b>D (mm/mês)</b>	<b>C<sub>min</sub></b>	<b>C<sub>máx</sub></b>	<b>X</b>	<b>α</b>	<b>R<sub>máx</sub> (mm/mês)</b>
Açude Pilões	130	0,01	0,04	0,05	0,2	200
Açude Lagoa do Arroz	70	0,01	0,04	0,2	0,8	200
Açude Bartolomeu I	90	0,01	0,04	0,6	0,89	120
Açude Eng. Ávidos	90	0,01	0,04	0,3	0,9	230
Açude São Gonçalves	50	0,01	0,04	0,1	0,9	200

**Tabela 37- Parâmetros do MODHISA para as bacias “livres”, monitoradas em seu exutório**

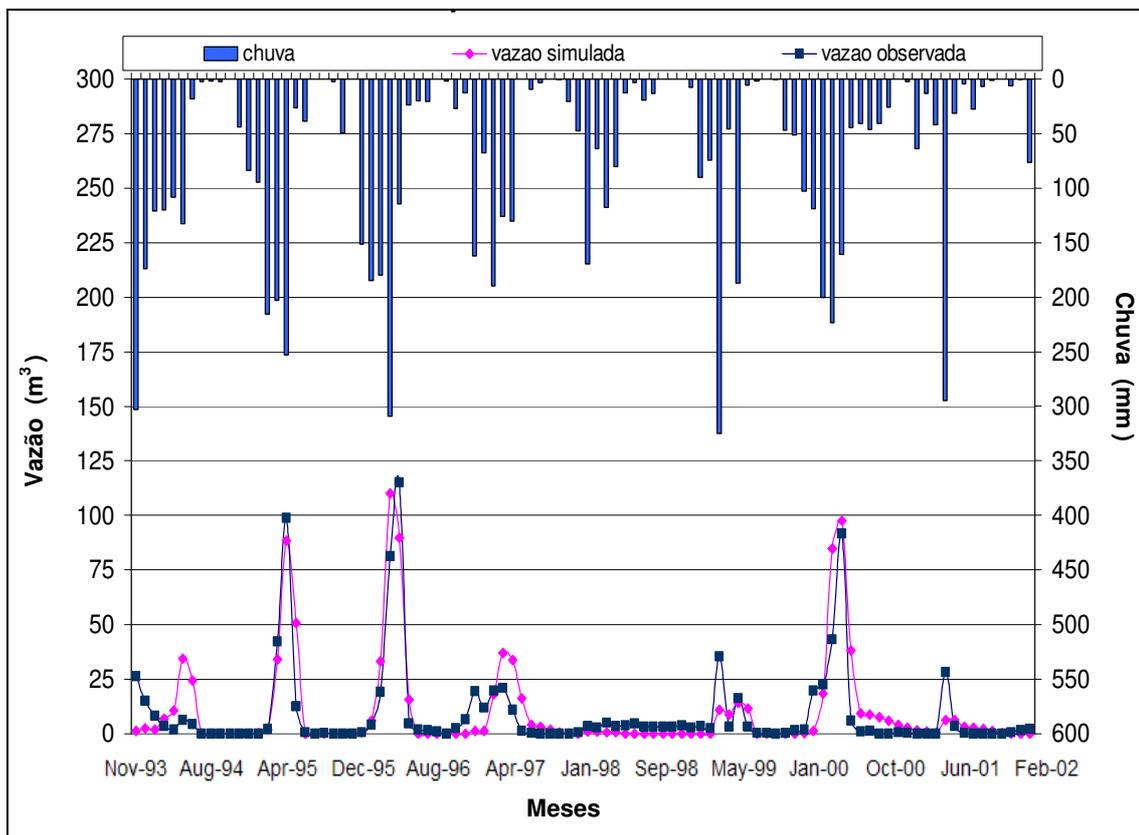
<b>Bacias</b>	<b>D (mm/mês)</b>	<b>C<sub>min</sub></b>	<b>C<sub>máx</sub></b>	<b>X</b>	<b>α</b>	<b>R<sub>máx</sub> (mm/mês)</b>
Posto São Fernando	43	0,05	0,1	0,5	0,8	350
Posto Serido	55	0,1	0,12	0,3	0,1	425
Posto Caicó	99,5	0,25	0,63	0,1	0,6	136
Posto Serra Negra	86,7	0,04	0,14	0,20	0,25	195,1
Posto Aparecida	80	0,01	0,04	0,46	0,4	223,9
Posto Antenor Navarro	30	0,04	0,09	0,1	0,1	100

Convém lembrar que bacias “livres” são aquelas cujo escoamento não é barrado por um açude, mas sim, medido por um posto fluviométrico localizado em seu exutório. Porém, nem todas as bacias “livres” possuem medição em seu exutório; e nestas, os parâmetros foram considerados iguais aos da bacia de montante, devido à impossibilidade de calibração. Exemplos: as bacias à jusante dos açudes do Carneiro, Riacho dos Cavalos, e Santa Rosa (ver **Figura 21** do item delimitação das sub-bacias).

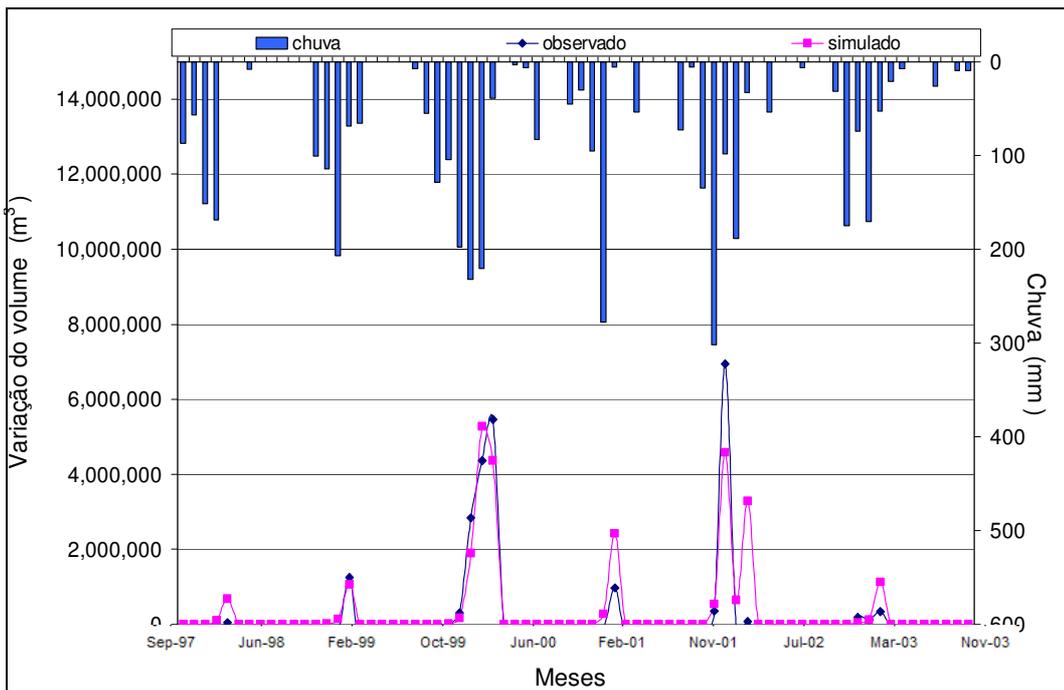
Uma exceção a esse procedimento foi a bacia à jusante do açude São Gonçalves, no Alto Piranhas, que pôde ser calibrada devido à presença do posto Sitio

Vassouras localizado imediatamente à jusante do seu exutório (ver diagrama da **Figura 25**, ou a **Figura 21**). Logo, o deflúvio gerado pela chuva ocorrida nessa bacia, somado ao deflúvio resultante da bacia do rio do Peixe, corresponde à vazão afluente ao rio Piancó nesse ponto; que pôde ser calculada pela diferença entre a vazão observada no posto Sitio Vassouras e a vazão observada no posto Pau Ferrado, já que a contribuição lateral para o rio, nesse trecho entre esses os dois postos, é ínfima.

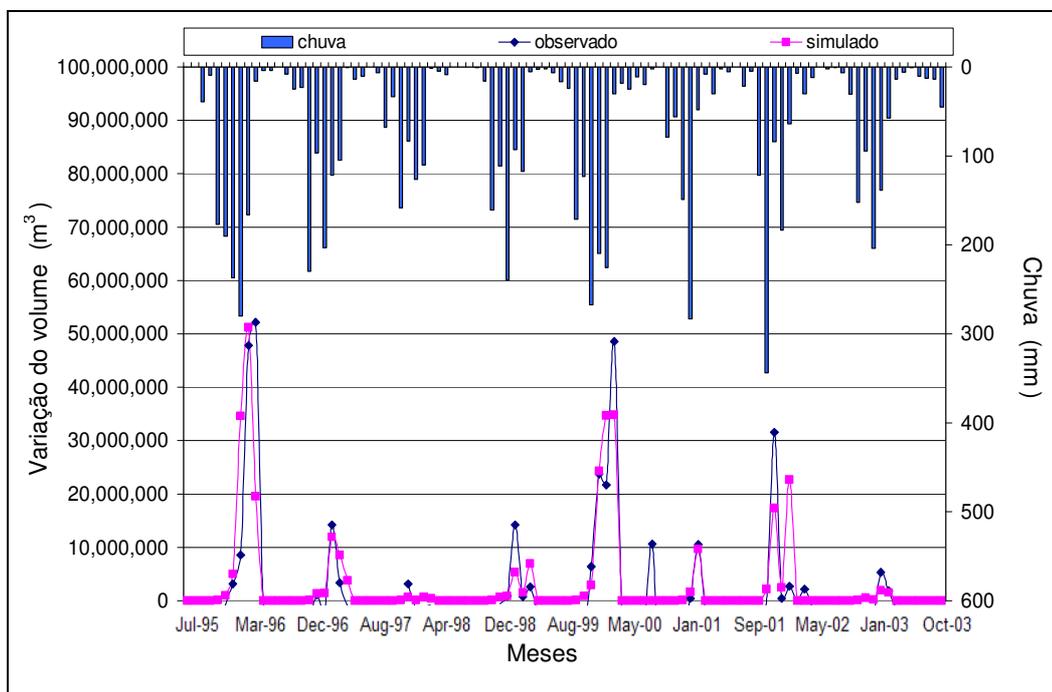
O resultado da calibração dessa bacia e das demais é mostrado a seguir, juntamente com a chuva média da bacia no período da calibração:



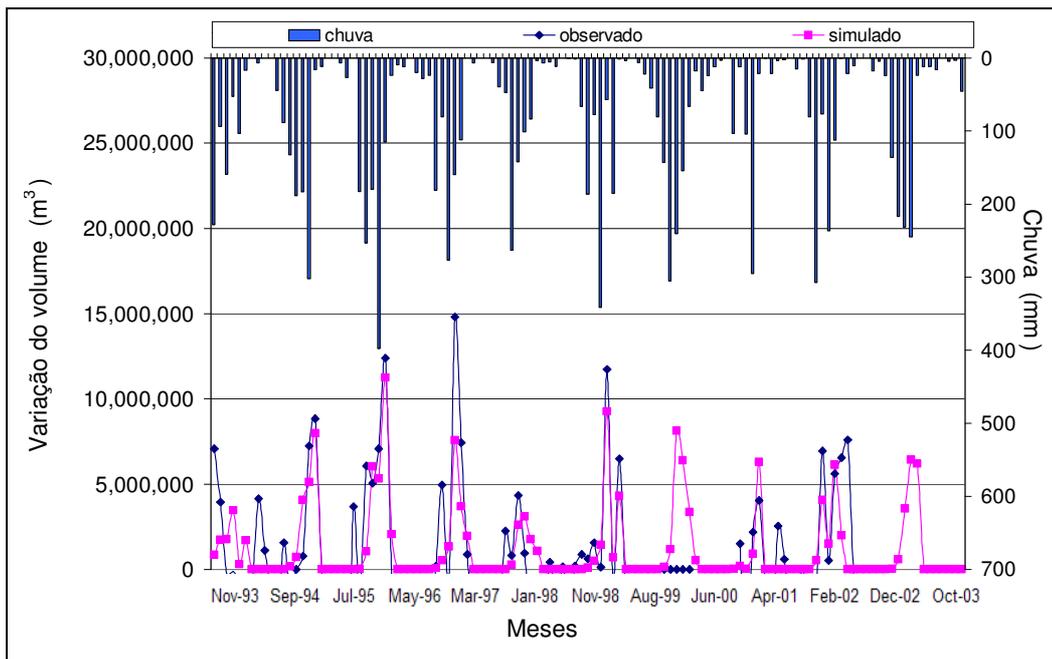
**Figura 26- Calibração da bacia "livre" à jusante do açude São Gonçalo**



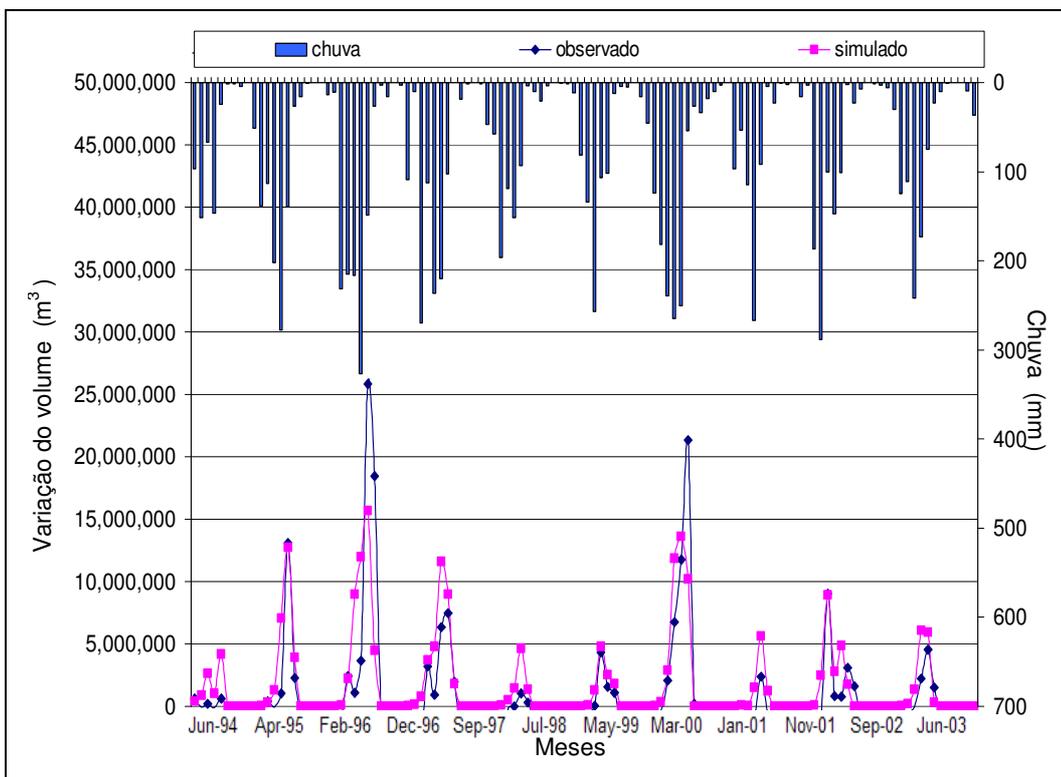
**Figura 27- Calibração da bacia do açude Bartolomeu I**



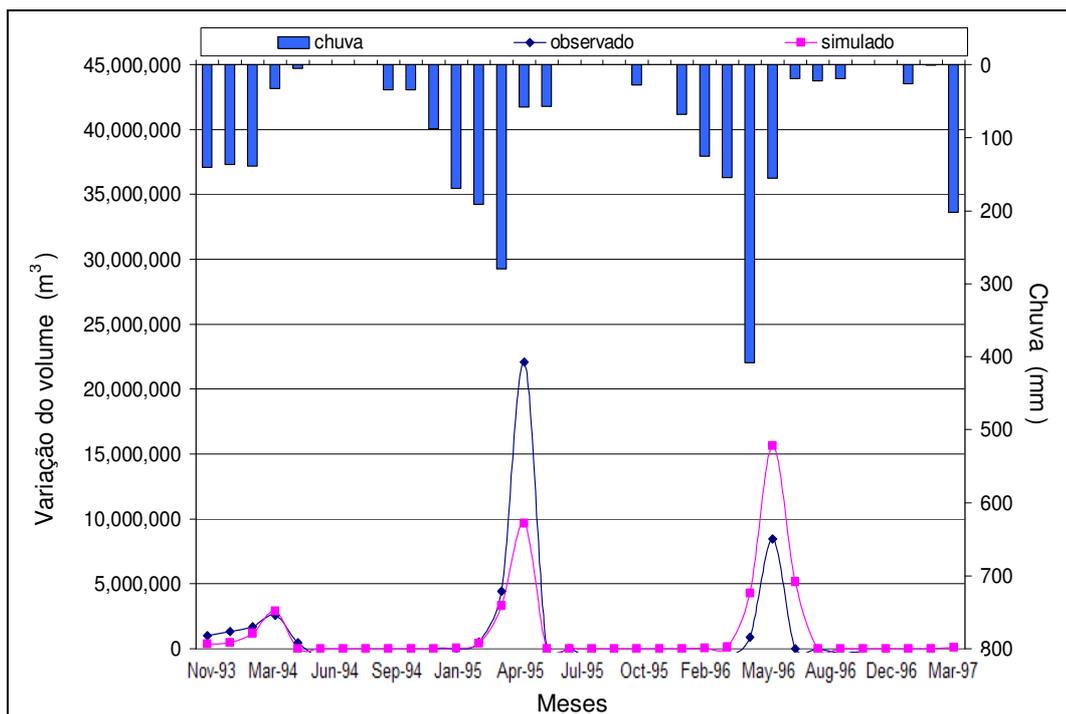
**Figura 28- Calibração da bacia do açude Engenheiro Ávidos**



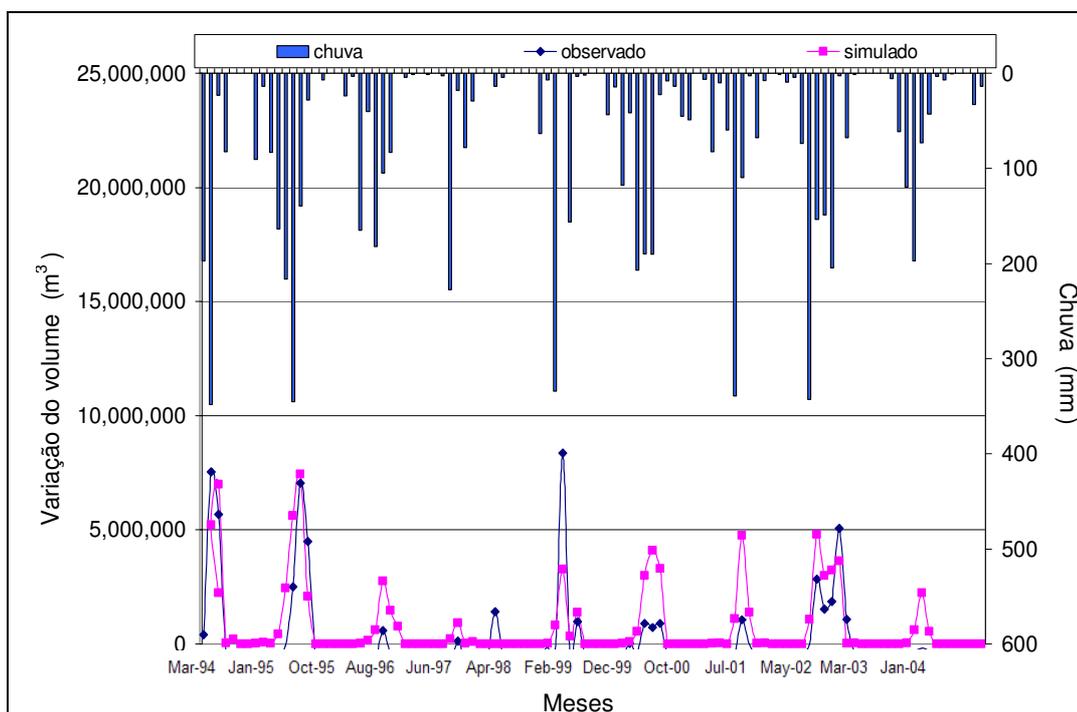
**Figura 29- Calibração da bacia do açude São Gonçalo**



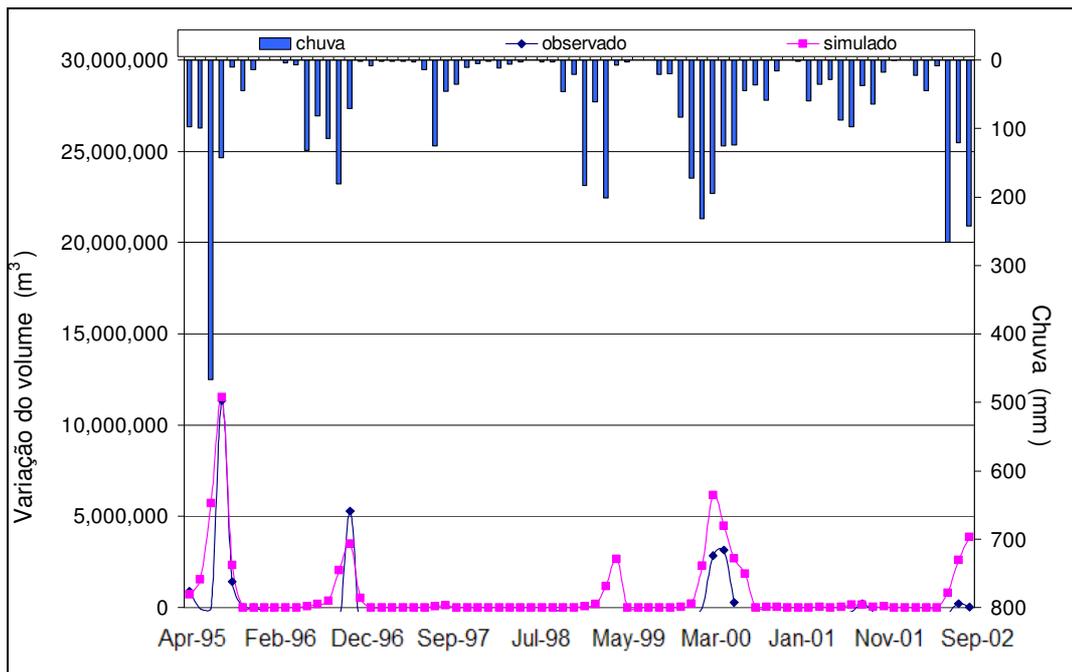
**Figura 30- Calibração da bacia do açude Lagoa do Arroz**



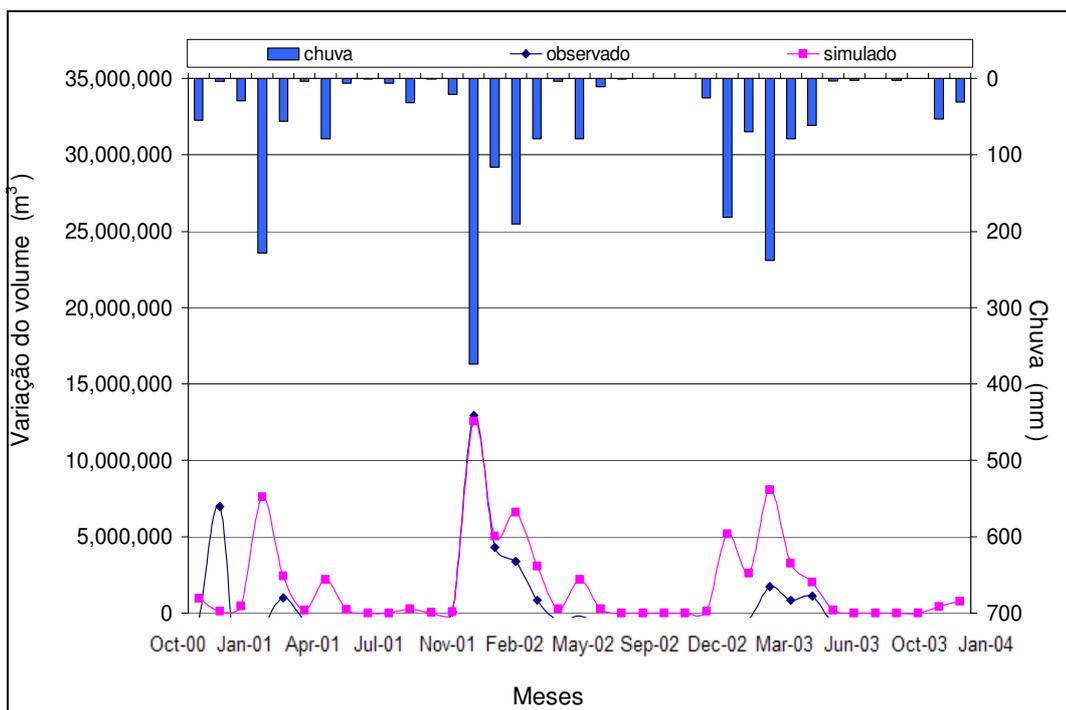
**Figura 31- Calibração da bacia do açude do Carneiro**



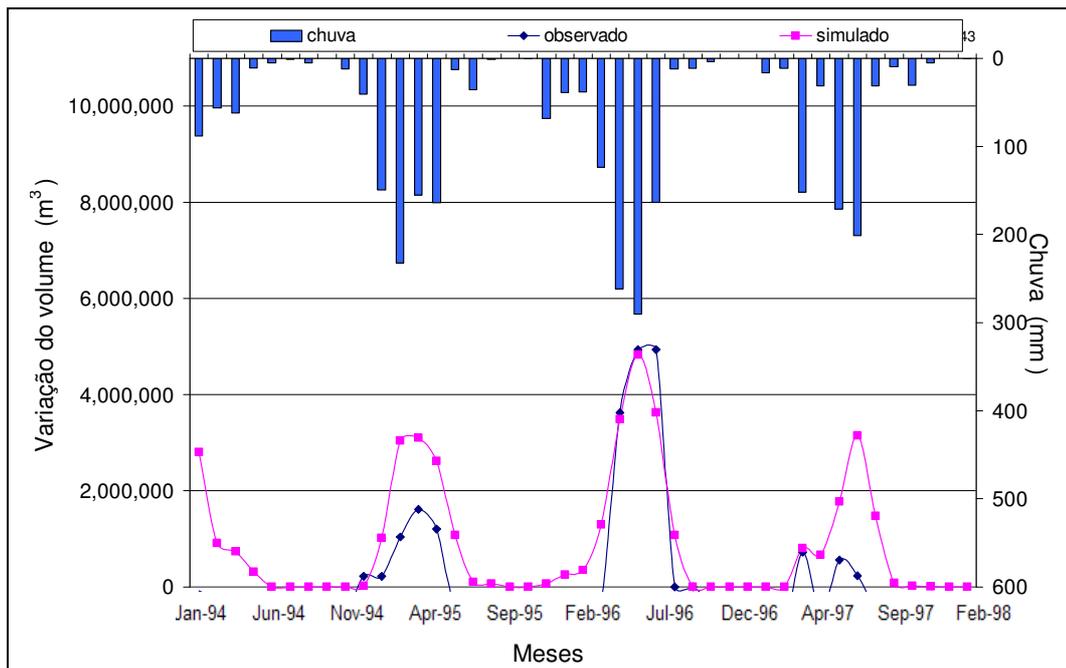
**Figura 32- Calibração da bacia do açude Engenheiro ArcoVerde**



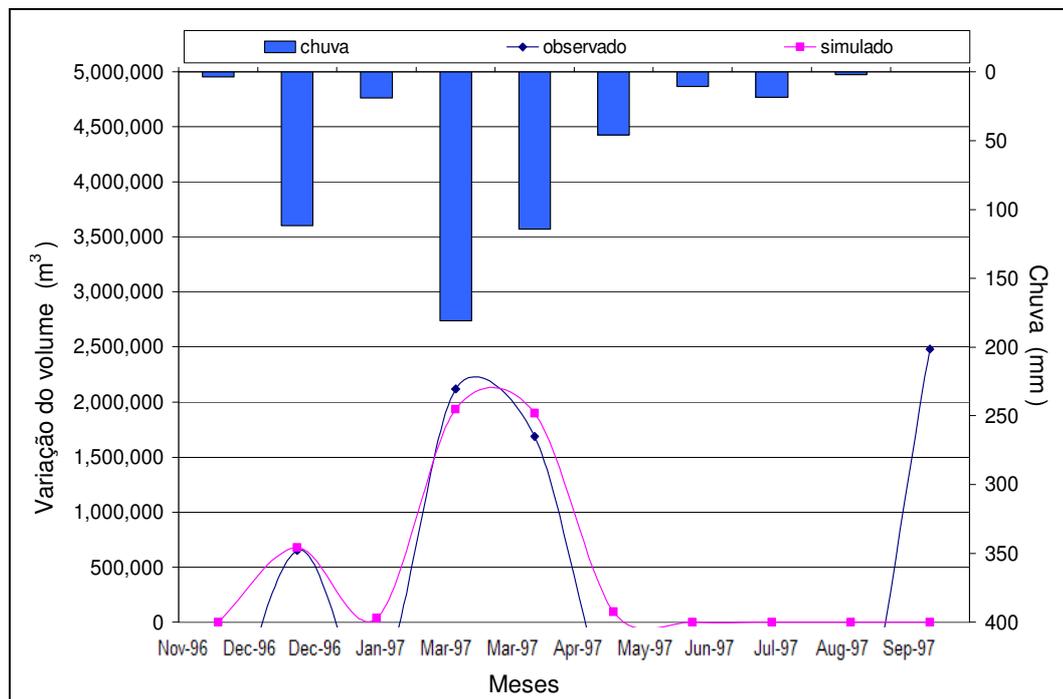
**Figura 33- Calibração da bacia do açude Riacho dos Cavalos**



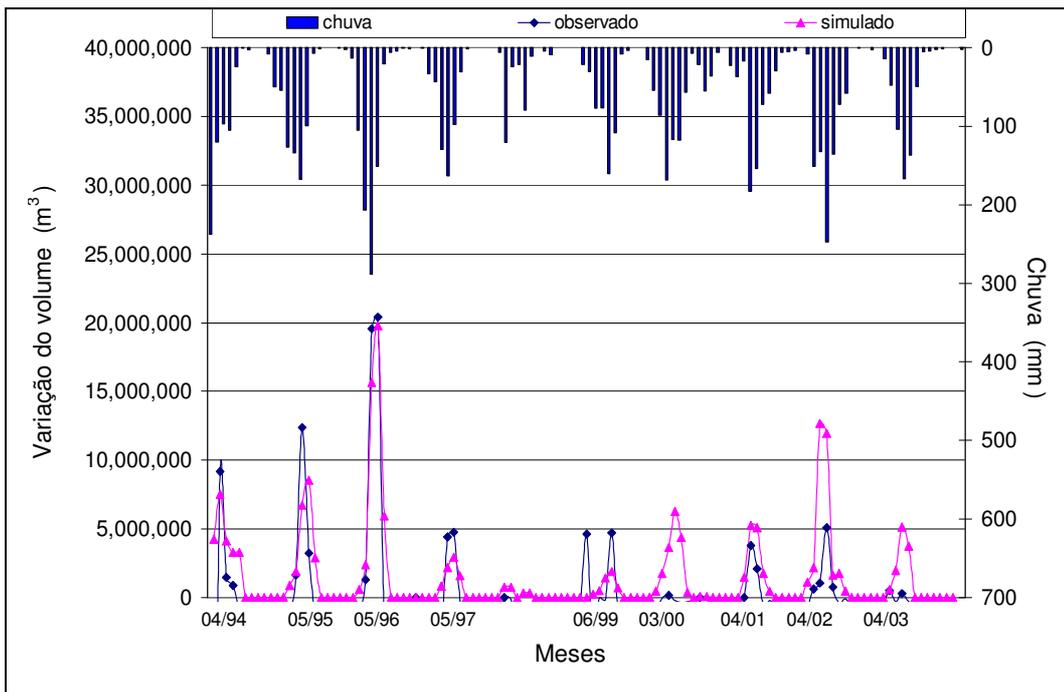
**Figura 34- Calibração da bacia do açude Capoeira**



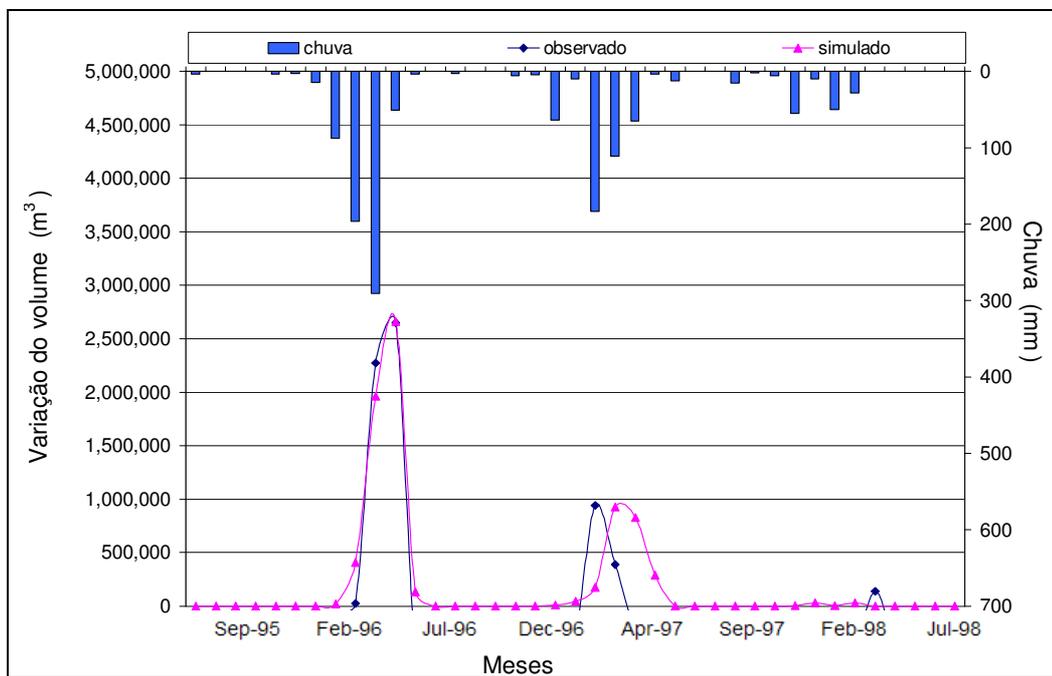
**Figura 35- Calibração da bacia do açude Jatobá**



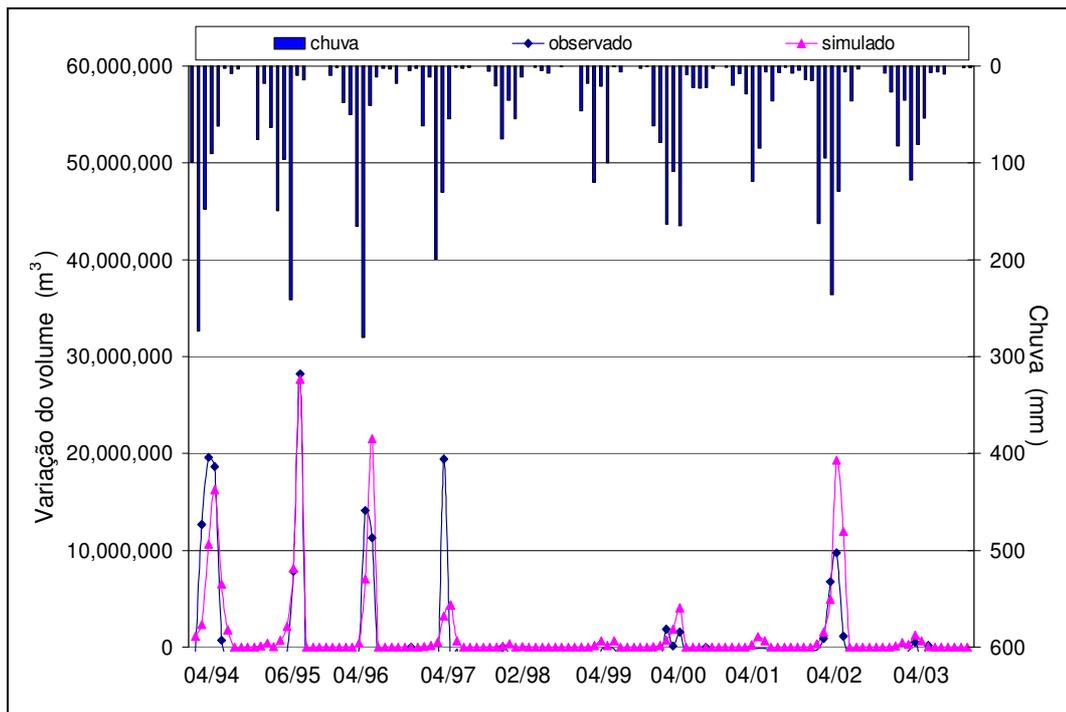
**Figura 36- Calibração da bacia do açude Farinha**



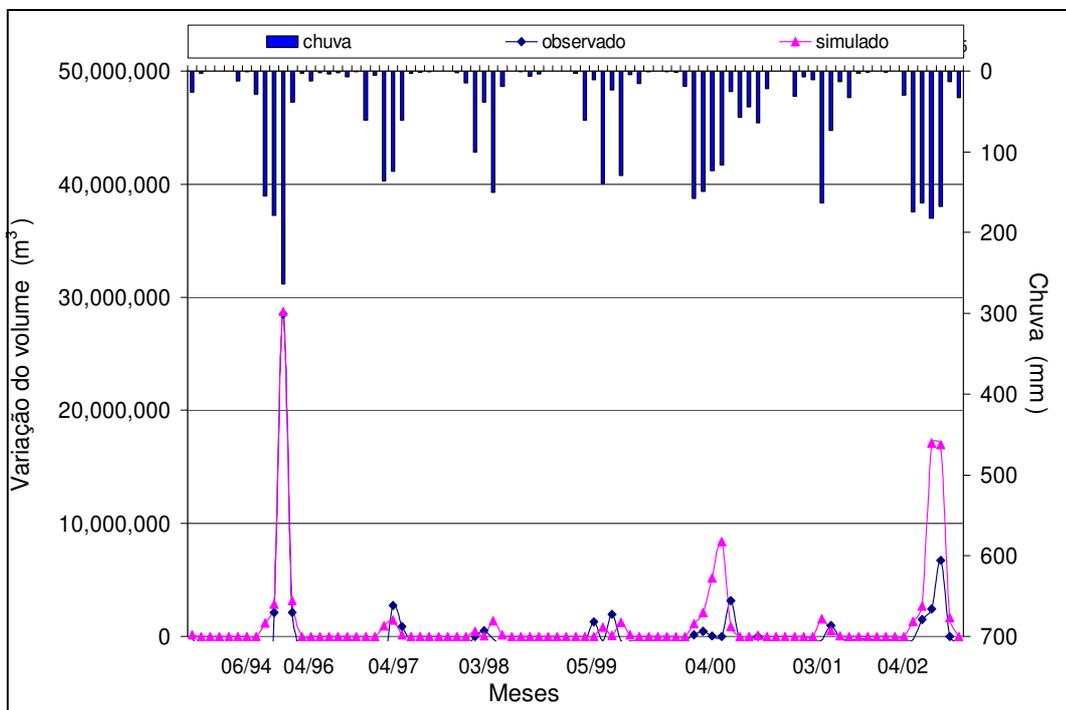
**Figura 37- Calibração da bacia do açude Sabugi**



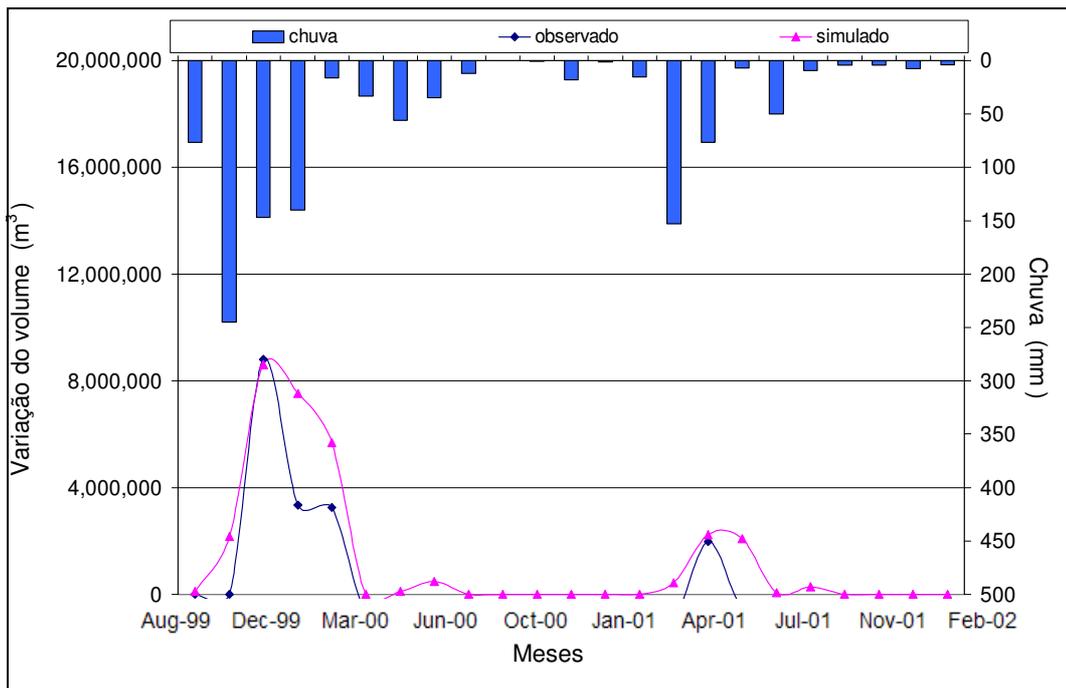
**Figura 38- Calibração da bacia do açude São Mamede**



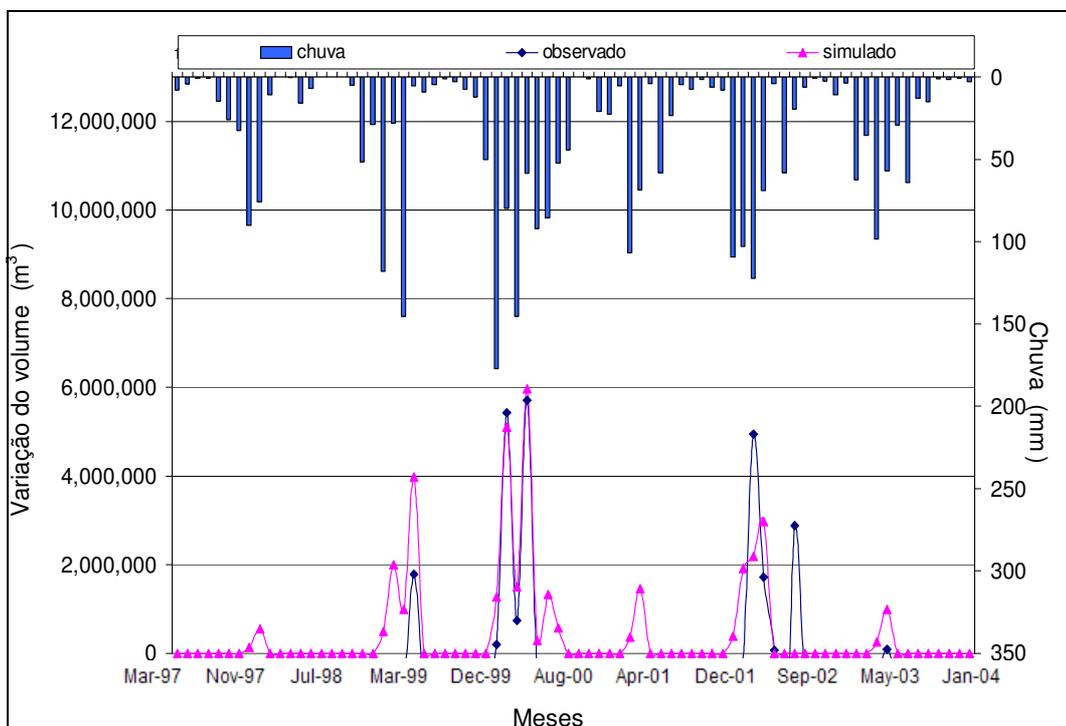
**Figura 39- Calibração da bacia do açude Itans**



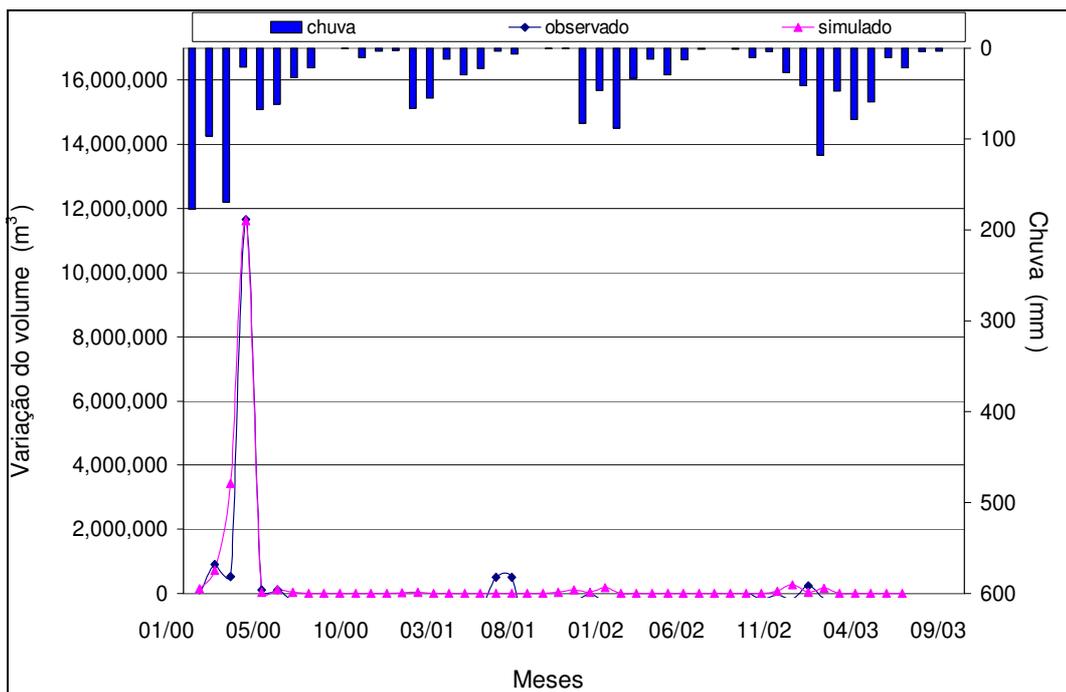
**Figura 40- Calibração da bacia do açude Cruzeta**



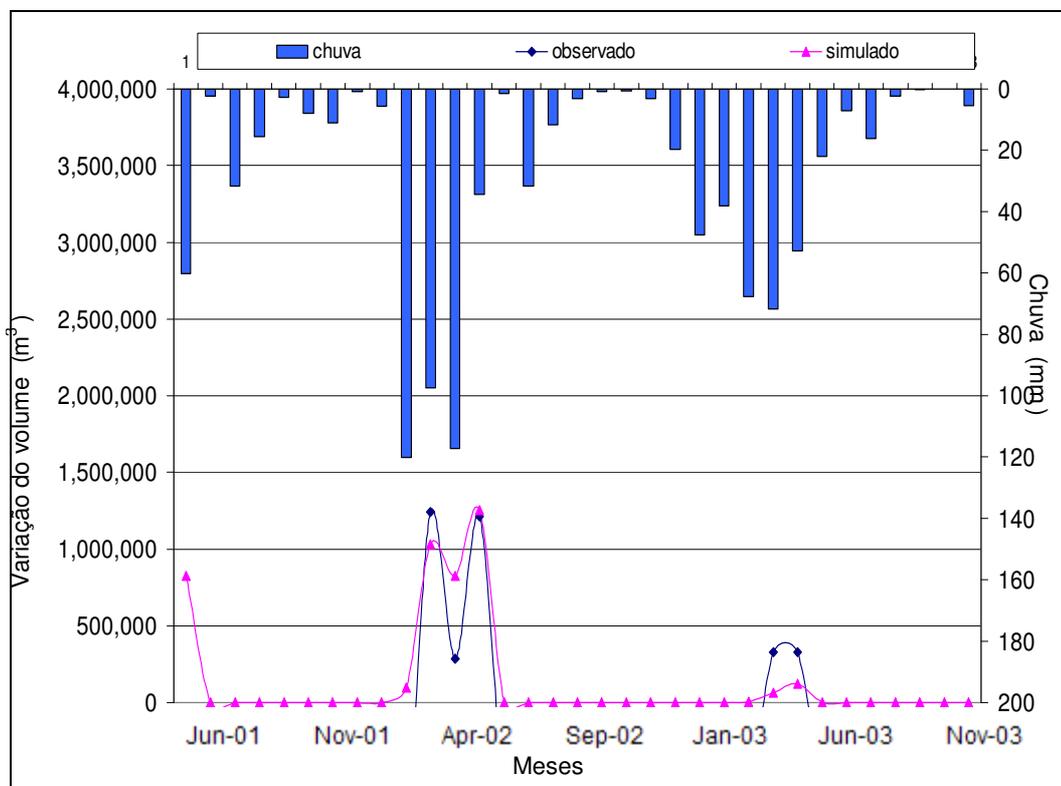
**Figura 41- Calibração da bacia do açude Passagem das Trairas**



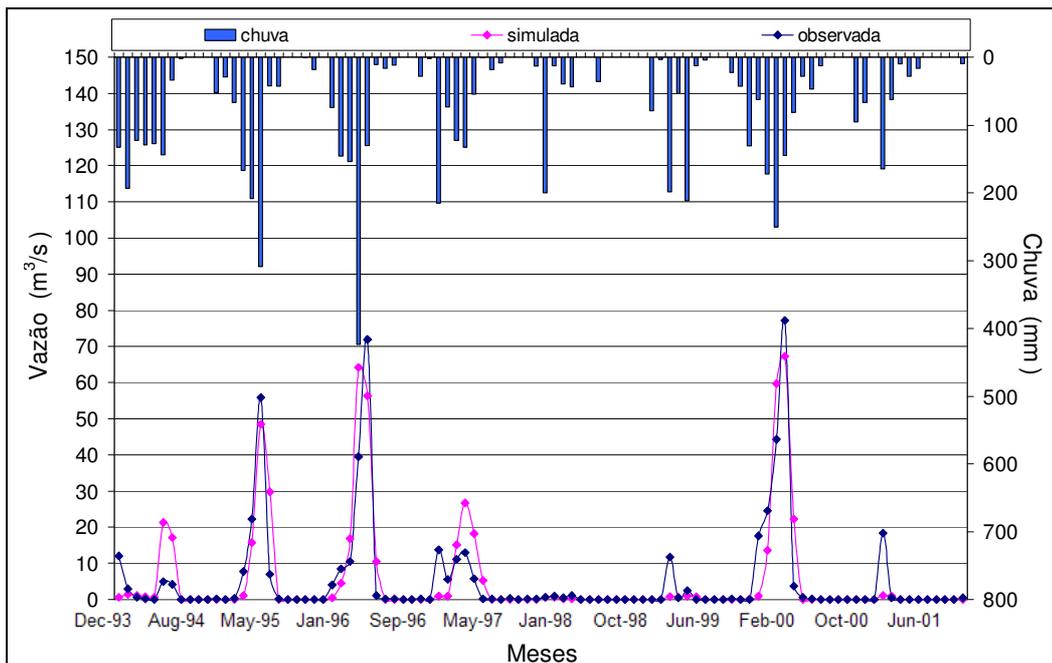
**Figura 42- Calibração da bacia do açude Marechal Dutra**



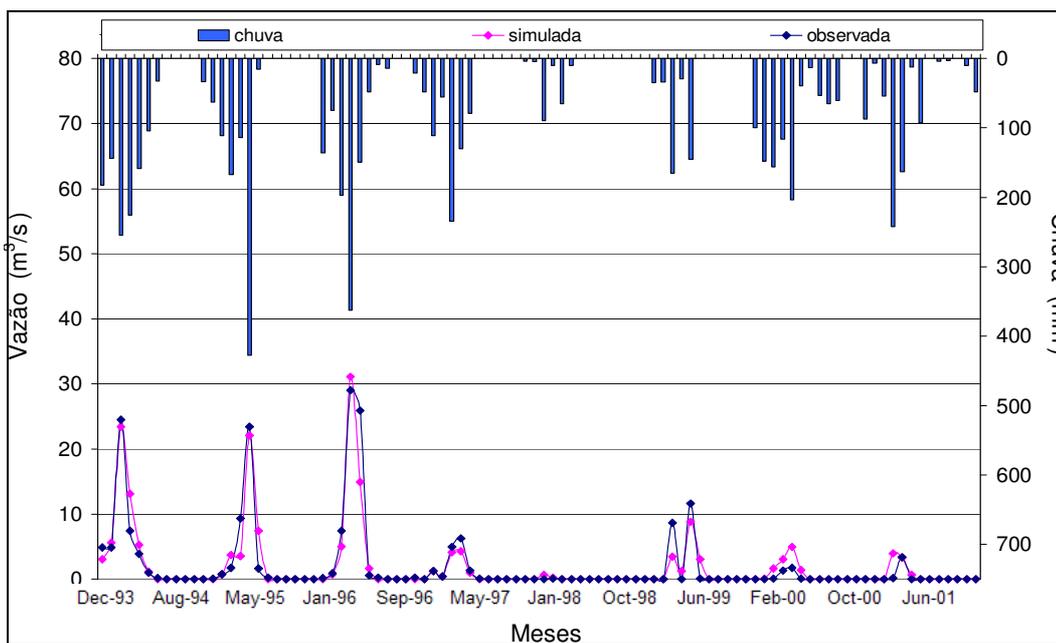
**Figura 43- Calibração da bacia do açude Várzea Grande**



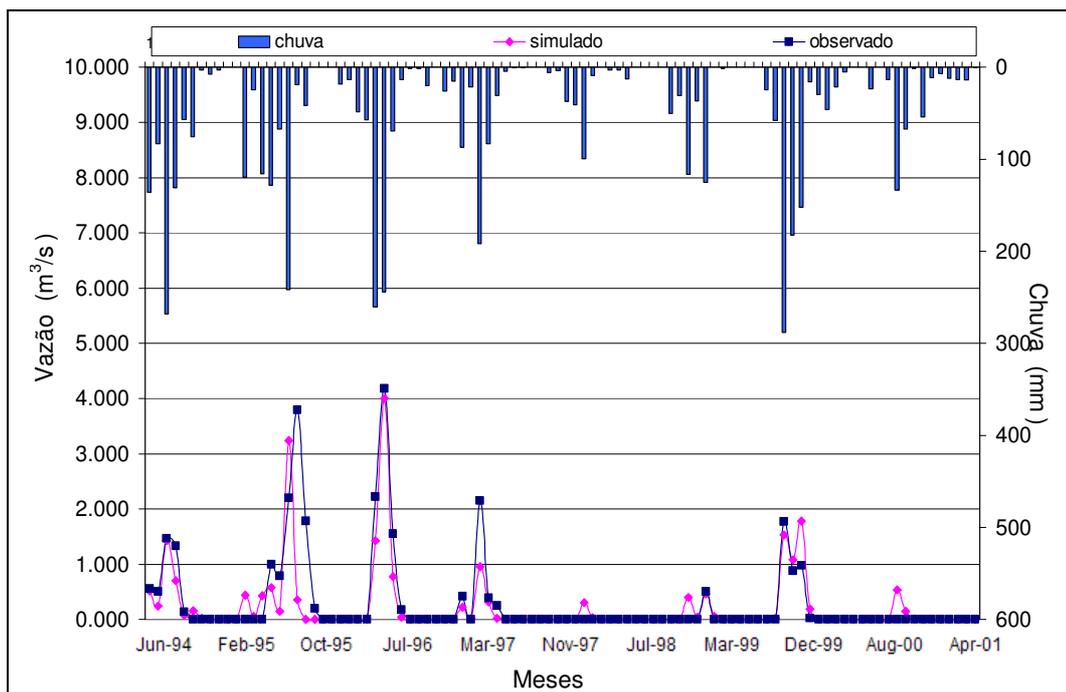
**Figura 44- Calibração da bacia do açude Boqueirão**



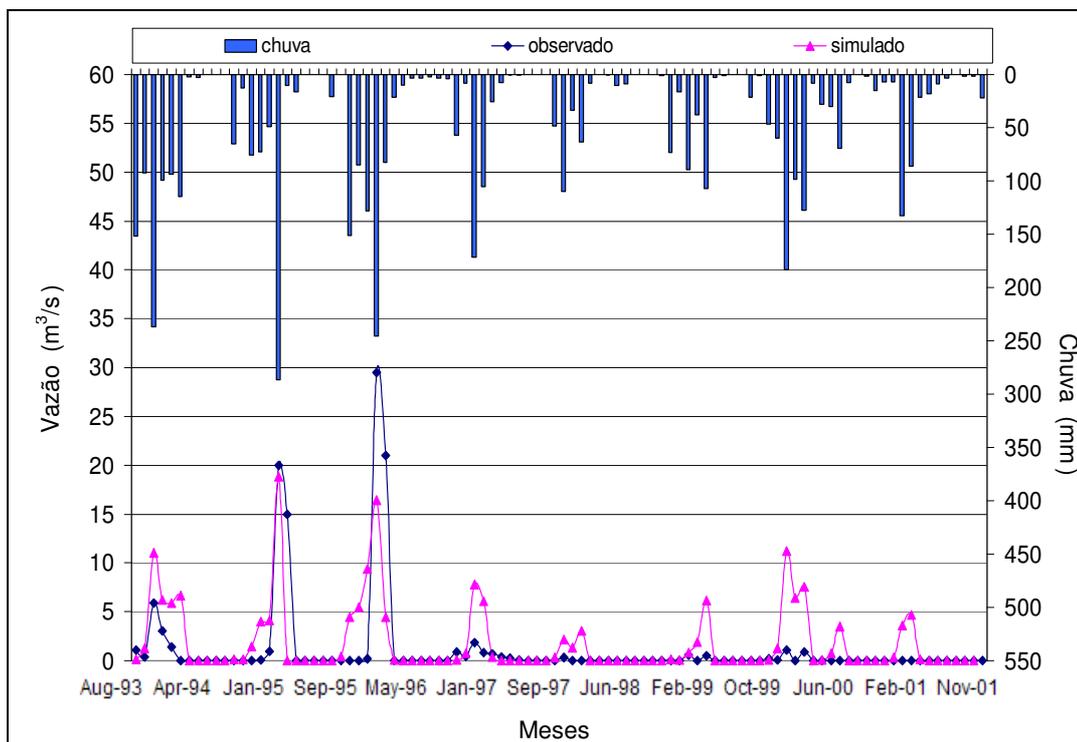
**Figura 45- Calibração da bacia do posto Aparecida localizado no rio do Peixe**



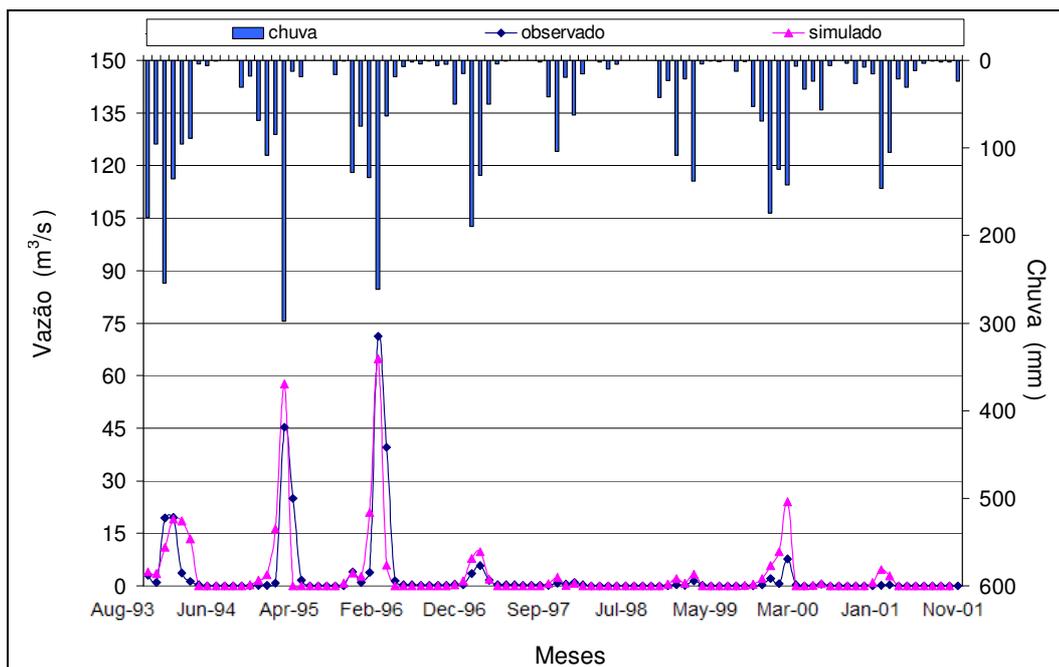
**Figura 46- Calibração da bacia do posto Serra Negra do Norte localizado no rio Espinharas**



**Figura 47- Calibração da bacia do posto Jardim do Seridó localizado no rio Seridó**



**Figura 48- Calibração da bacia do posto Caicó localizado no rio Seridó**



**Figura 49- Calibração da bacia do posto São Fernando localizado no rio Seridó**

Analisando os gráficos, verifica-se que, de modo geral, o MODHISA representou bem os picos de vazão e de variação do volume dos açudes. Porém, superestimou alguns valores de deflúvio, em resposta a pequenos eventos ocorridos. Uma explicação para esse fato é a de não se conhecer as retiradas de água dessas sub-bacias, antes da chegada ao seu exutório. Todavia, o MODHISA apresentou uma boa relação de causa e efeito entre as precipitações e os deflúvio na bacia, ou seja, nem todo evento chuvoso resulta em um deflúvio capaz de variar de forma significativa o volume dos açudes; e o MODHISA mostrou-se eficiente quando foram comparados seus resultados com a variação positiva destes.

Como esses açudes não obedecem a regras operacionais, mas sim, a decisões instantâneas conforme a necessidade dos seus usuários e ao estado em que ele se encontra (vazio ou cheio); muitas vezes o resultado do modelo não corresponde à real variação do volume do açude pois uma comporta pode ter sido aberta, por exemplo, para atender aos irrigantes à jusante, rebaixando o seu volume.

Preocupou-se, portanto, em ajustar, da melhor forma, as vazões máximas e as variações máximas de volume dos açudes, pois estas são as mais importantes para a análise desse estudo.

Outro comentário válido sobre os resultados da calibração do MODHISA está relacionado com os parâmetros encontrados. Observa-se que a maioria das sub-bacias apresentam elevada retenção superficial ( $R_{máx}$ ), refletindo o grande número de pequenos e médios açudes da região. O coeficiente de escoamento adicional ( $X$ ), assim como o coeficiente de depleção ( $\square$ ) variaram muito entre as sub-bacias. Quanto maior o valor de  $X$ , maior a eficiência do transporte do escoamento adicional ( $E_2$ ) pela rede fluvial. E quanto maior o valor de  $\square$ , mais lenta é a propagação do deflúvio total ( $E_1 + E_2$ ) pelo tempo.

A detenção superficial ( $D$ ) oscilou de 30 a 132mm. Esse valor representa a chuva mínima que deve ocorrer na bacia para dar início ao escoamento superficial. Logo, existem bacias onde o acúmulo de água, em depressões e pequenos açudes, é bastante elevado.

#### 4.2 CURVAS DE GARANTIA

As curvas de garantia foram construídas com base nos 50 anos de precipitação dos postos das bacias dos açudes, onde 10 anos eram conhecidos e 40 foram gerados pelo Modelo Auto-Regressivo de 1ª Ordem de Thomas-Fiering.

Os volumes alocados foram determinados a partir de um modelo simples de simulação da operação do açude, que reproduz o balanço hídrico mensal no decorrer dos 50 anos de precipitações e deflúvios calibrados pelo MODHISA.

A partir da lâmina d' água do açude no início de cada mês, o modelo determina a lâmina d' água no final do mês (ou seja, início do mês seguinte).

Haverá falha no atendimento se a lâmina no final do mês for menor que o nível correspondente ao volume morto do açude. Logo, a demanda do mês seguinte não será atendida.

A probabilidade de falha ( $f$ ) é determinada pela relação entre o total de meses com interrupção (falha), e o número total de meses que neste caso é de 600.

$$f = \frac{\text{n}^\circ \text{de meses com falha}}{\text{total meses}} \times 100 \quad (10)$$

A garantia está associada com a probabilidade de falha do sistema. Quanto maior a probabilidade de falha, menor será a garantia de funcionamento. Ela é dada pela seguinte expressão:

$$g = 100 - f \quad (11)$$

O modelo utilizado na planilha de cálculo das curvas de garantia está descrito abaixo:

Seja  $i$  o número de anos variando de 1 a 50, e  $j$  o número de meses variando de 1 a 12; então  $V_{i,j}$  é o volume do açude no ano  $i$ , no mês  $j$ . Considerando, inicialmente, o açude cheio, temos que:  $V_{1,0} = V_{\max}$  ;  $A_{1,0} = A_{\max}$  e  $h_{1,0} = h_{\max}$  , onde  $V_{\max}$  ;  $A_{\max}$  ;  $h_{\max}$  são, respectivamente, o volume, a área e a lâmina do açude quando este atinge sua capacidade máxima.

Tendo como dados de entrada a vazão afluyente ao açude ( $Qsim_j$ ), gerada pelo MODHISA nesses 50 anos; a evaporação média mensal do tanque classe A mais próximo da bacia; os coeficientes das funções cota-área e cota-volume; e a lâmina correspondente ao volume morto do açude ( $h_{\min}$ ) ; define-se uma vazão  $Q_u$  que será a demanda de água do açude, a qual permanece constante.

Para o mês 1, o modelo segue a seqüência de cálculo abaixo:

$$E_{1,1} = \frac{(e_1 \times A_{1,0})}{(30 \times 86400)} \quad (12)$$

onde  $E$  é a vazão evaporada em  $m^3/s$  ; e  $e_1$  é a evaporação no tanque no mês 1.

A **equação 13** representa o balanço hídrico mensal do açude:

$$V_{1,1} = V_{1,0} + [(Qsim_1 - E_{1,1} - Q_u) \times (30 \times 86400)] \quad (13)$$

A partir do volume, encontra-se a lâmina e a área do espelho do açude, no mês 1:

$$h_{1,1} = \frac{V_{1,1}}{k_2}^{\frac{1}{\beta}} \quad (14)$$

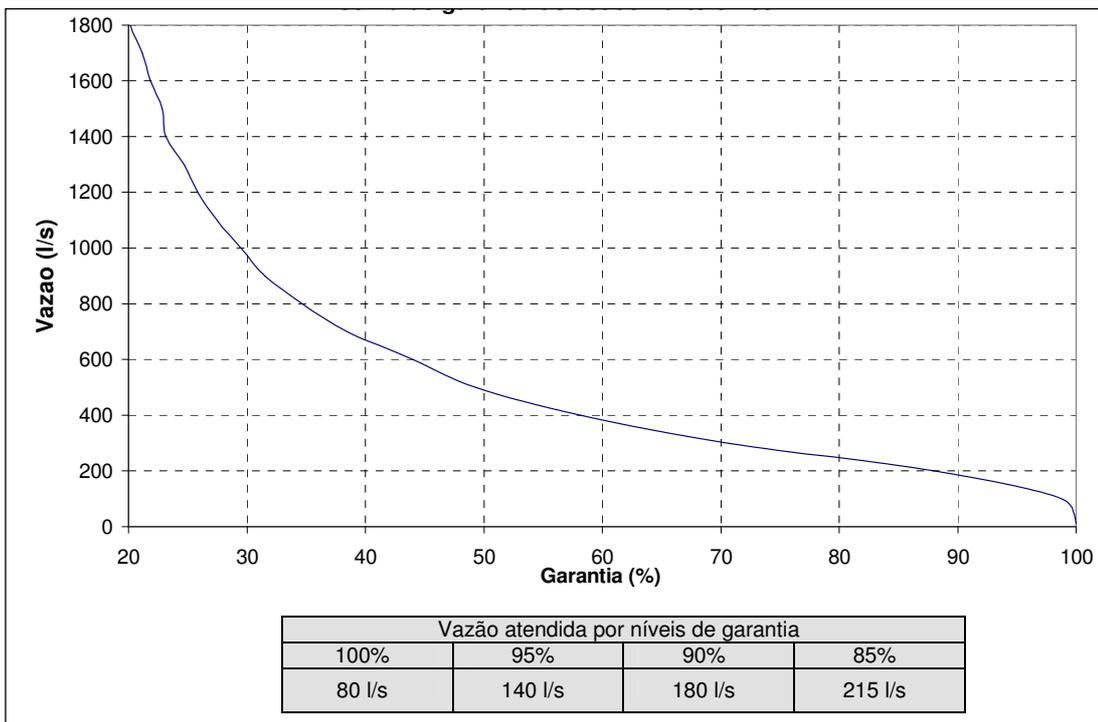
$$A_{1,1} = k_1 \times h_{1,1}^\alpha \quad (15)$$

Então, haverá falha no atendimento se a lâmina do açude no início do mês, ou seja, no final do mês anterior, for menor que a lâmina mínima. Assim, no mês 1 nunca haverá falha pois foi considerada a lâmina máxima como inicial. No mês 2, haverá falha se  $(h_{1,1} < h_{\min})$ ; no mês 3, haverá falha se  $(h_{1,2} < h_{\min})$ ; e assim sucessivamente o número de falhas é incrementado até o final da simulação.

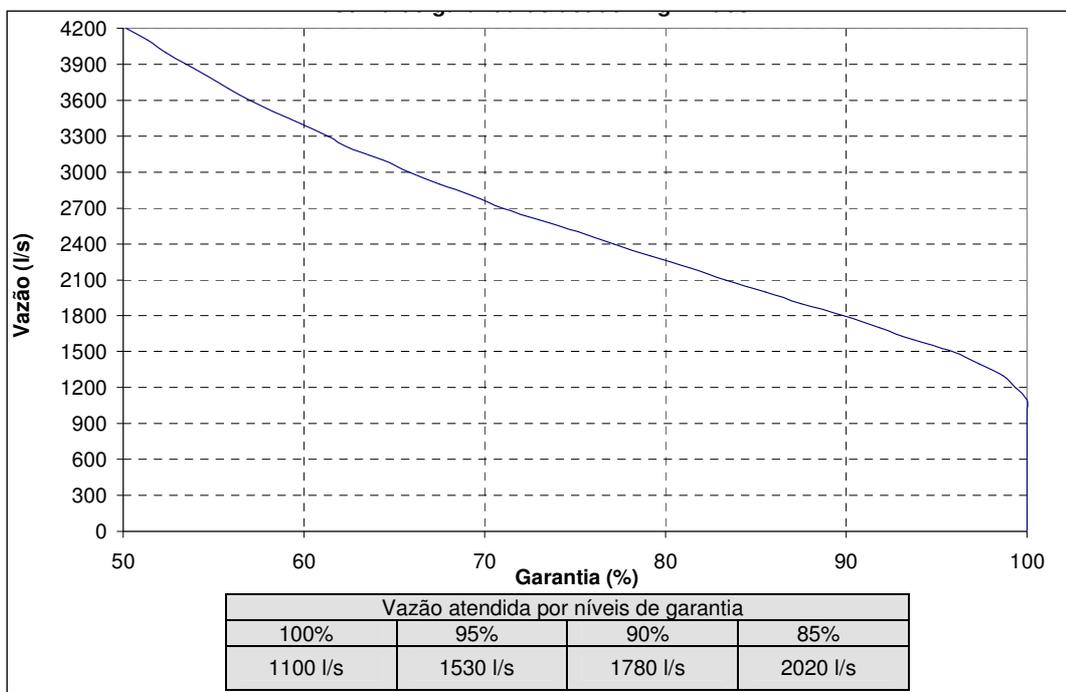
Para construir a curva, novos valores de demanda  $Q_u$  são lançados na planilha ao final de cada simulação; e o resultado da garantia para cada demanda é guardado para posterior construção do gráfico.

Esse processo foi realizado com a ajuda de macros construídas na linguagem de programação do Visual Basic.

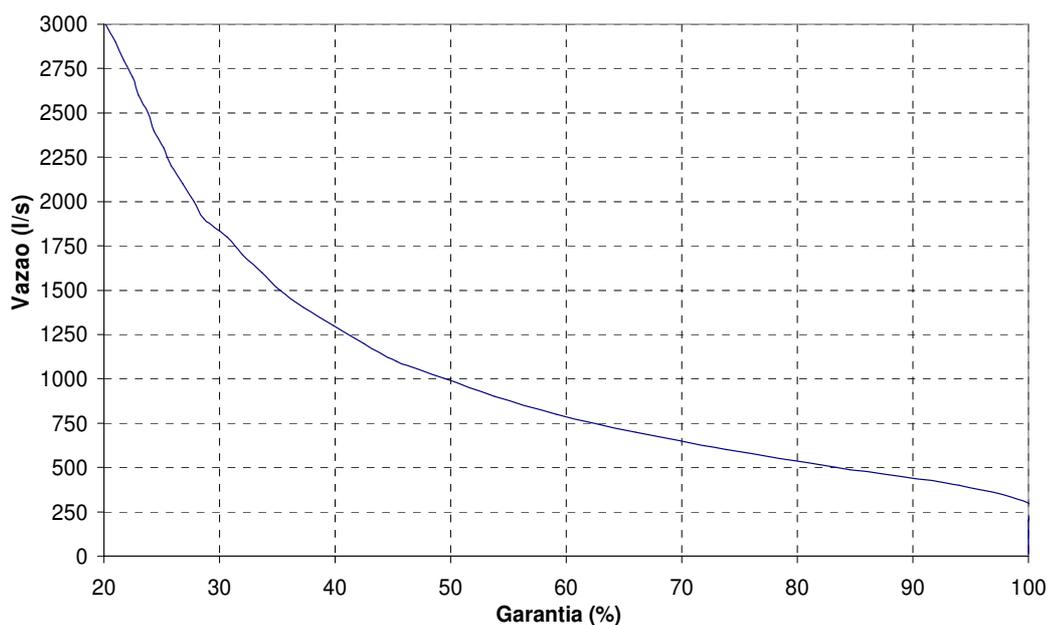
As curvas de garantia dos açudes estão mostradas a seguir:



**Figura 50- Curva de garantia do açude Bartolomeu I**



**Figura 51- Curva de garantia do açude Engenheiro Ávidos**



Vazão atendida por níveis de garantia			
100%	95%	90%	85%
310 l/s	390 l/s	445 l/s	500 l/s

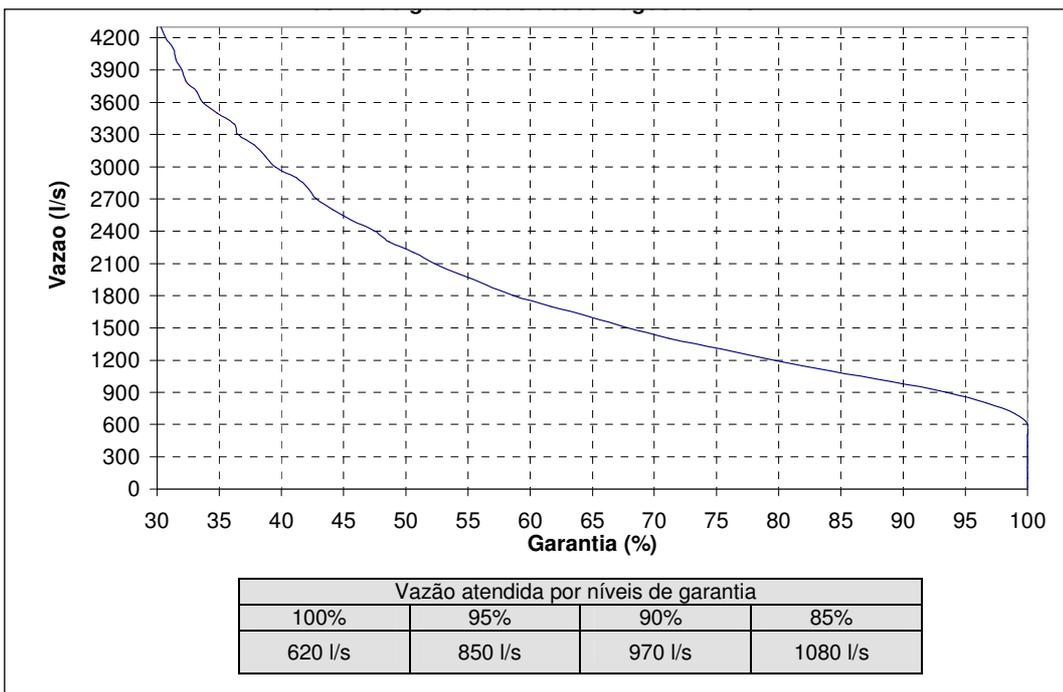
**Figura 52- Curva de garantia do açude São Gonçalo**

Esses três açudes estão localizados na bacia do Alto Piranhas, e, de acordo com o Plano Diretor dessa bacia, os valores das vazões regularizadas com garantia de 100% são:

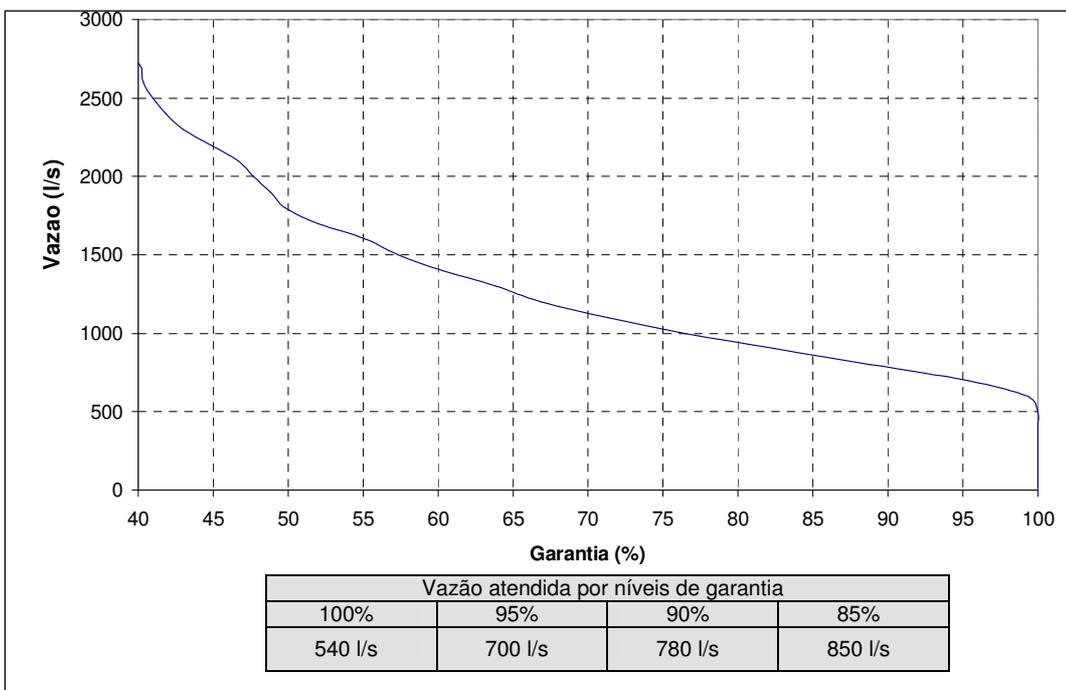
**Tabela 38- Vazões regularizadas pelos açudes da bacia do Alto Piranhas**

Açudes	Vazão regularizada (l/s) g =100%
Bartolomeu I	60
Engenheiro Ávidos	1100
São Gonçalo	300

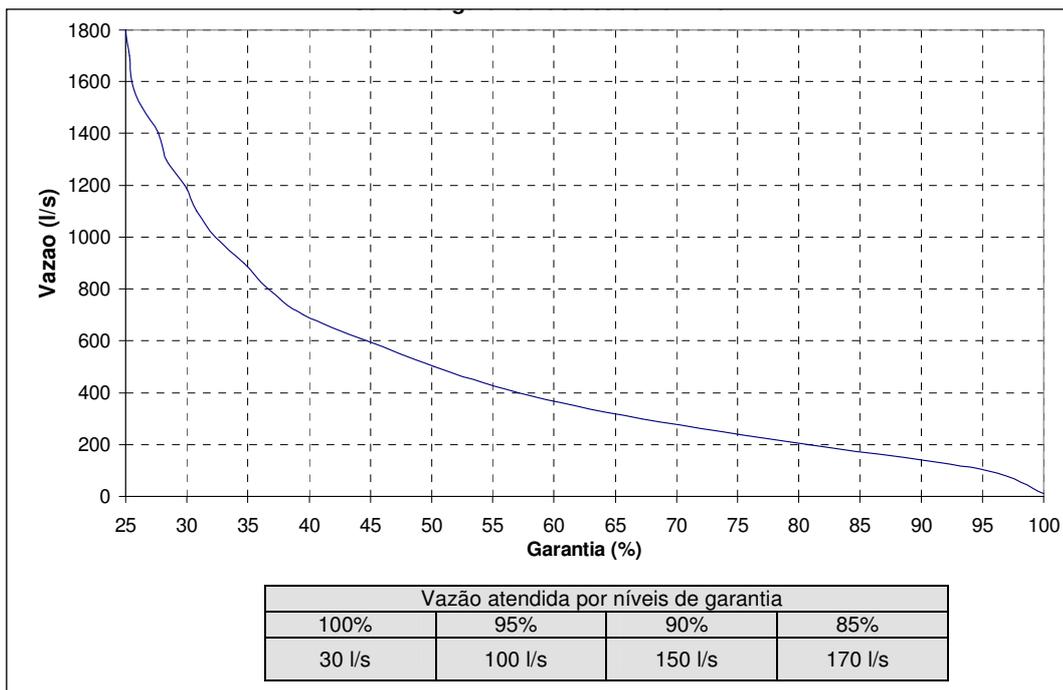
Então, percebe-se que os resultados das curvas de garantia construídas foram bastante satisfatórios, quando comparados com os dados do Plano.



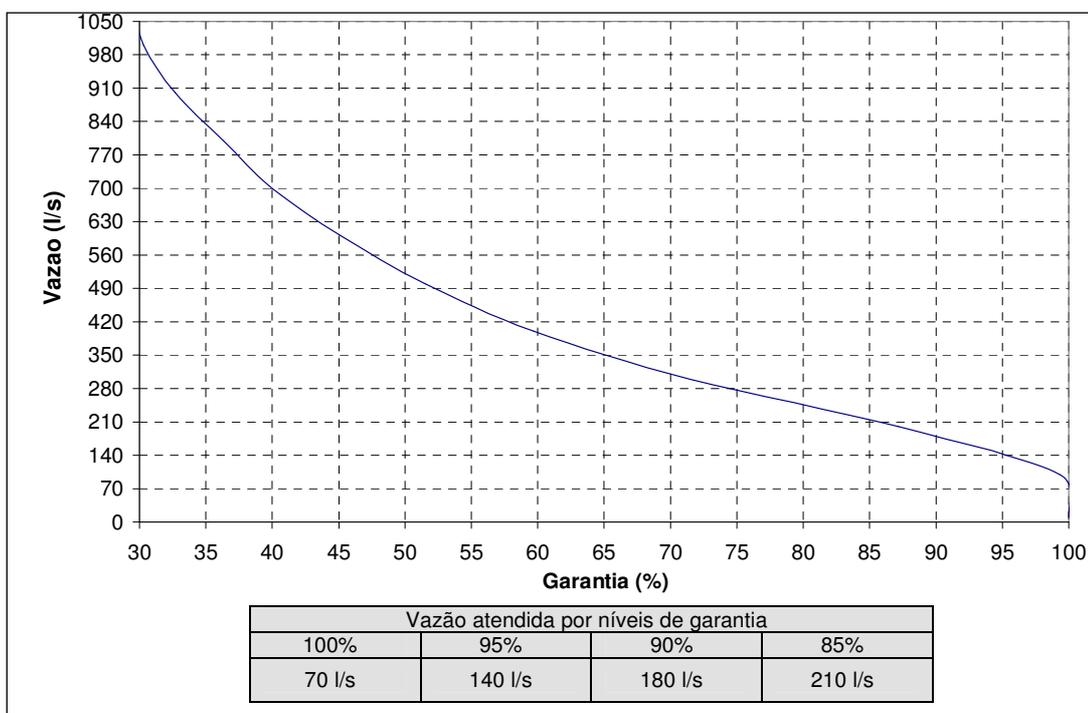
**Figura 53- Curva de garantia do açude Lagoa do Arroz**



**Figura 54- Curva de garantia do açude Capoeira**



**Figura 55- Curva de garantia do açude Farinha**



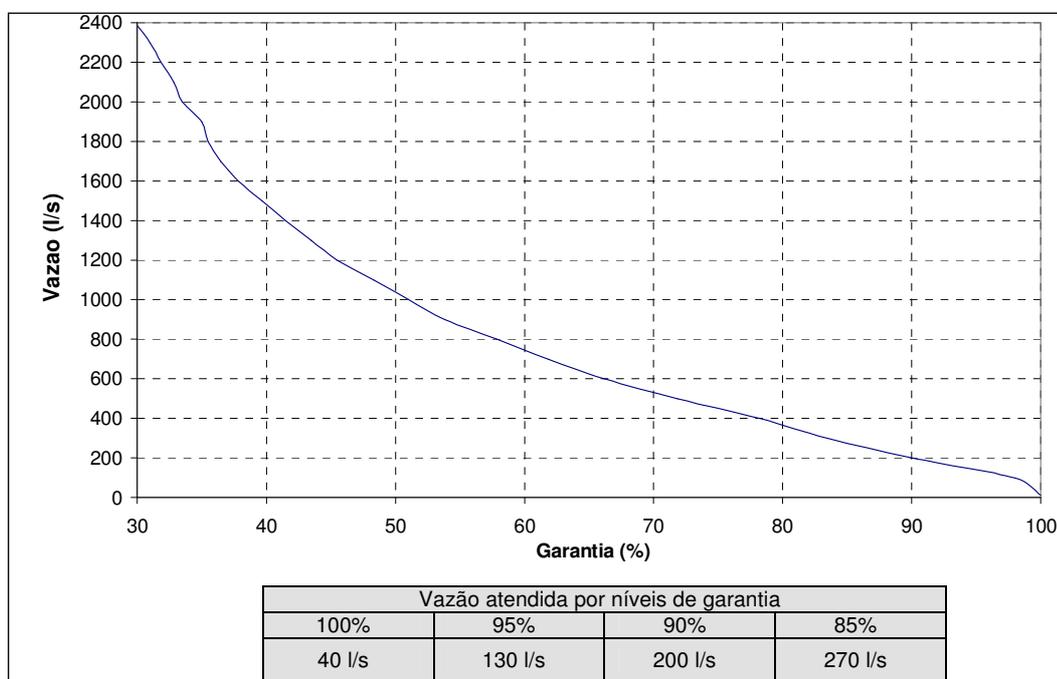
**Figura 56- Curva de garantia do açude Jatobá**

Os açudes da bacia do rio Espinharas (Capoeira, Farinha e Jatobá) apresentam curvas de garantia no Plano Diretor dessa bacia. Os valores das vazões regularizadas para diferentes níveis de garantia são mostradas na tabela abaixo:

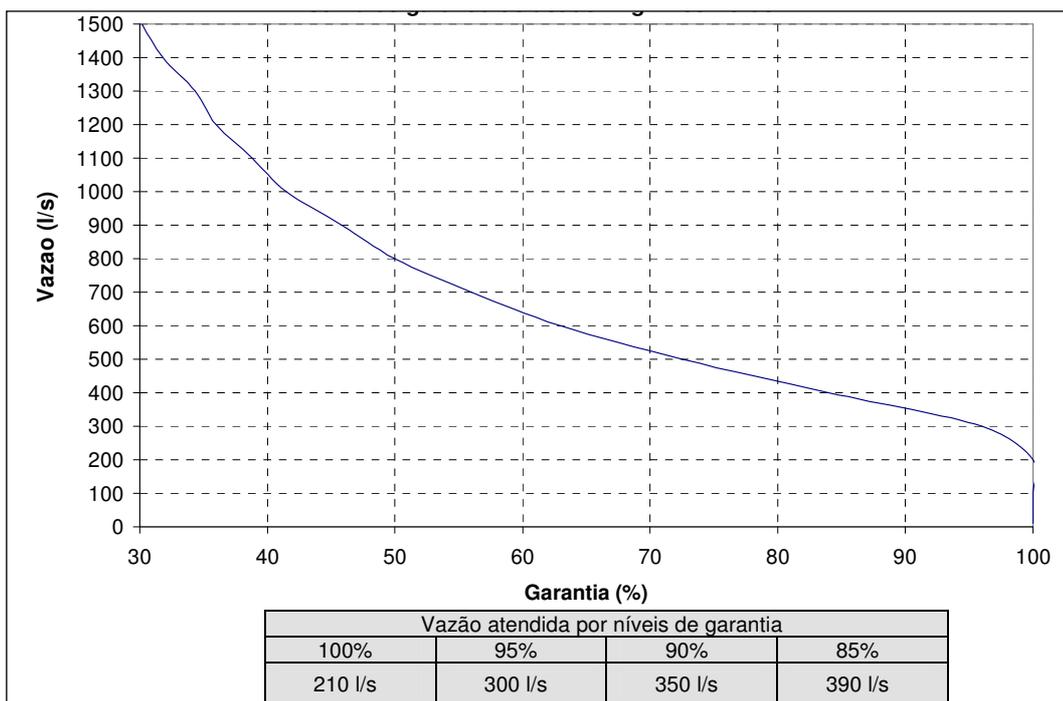
**Tabela 39- Vazões regularizadas pelos açudes da bacia do rio Espinharas**

Açude	Garantia				
	100%	95%	90%	85%	80%
Capoeira	266	368	403	444	492
Farinha	90	143	205	291	367
Jatobá	74	120	129	133	139

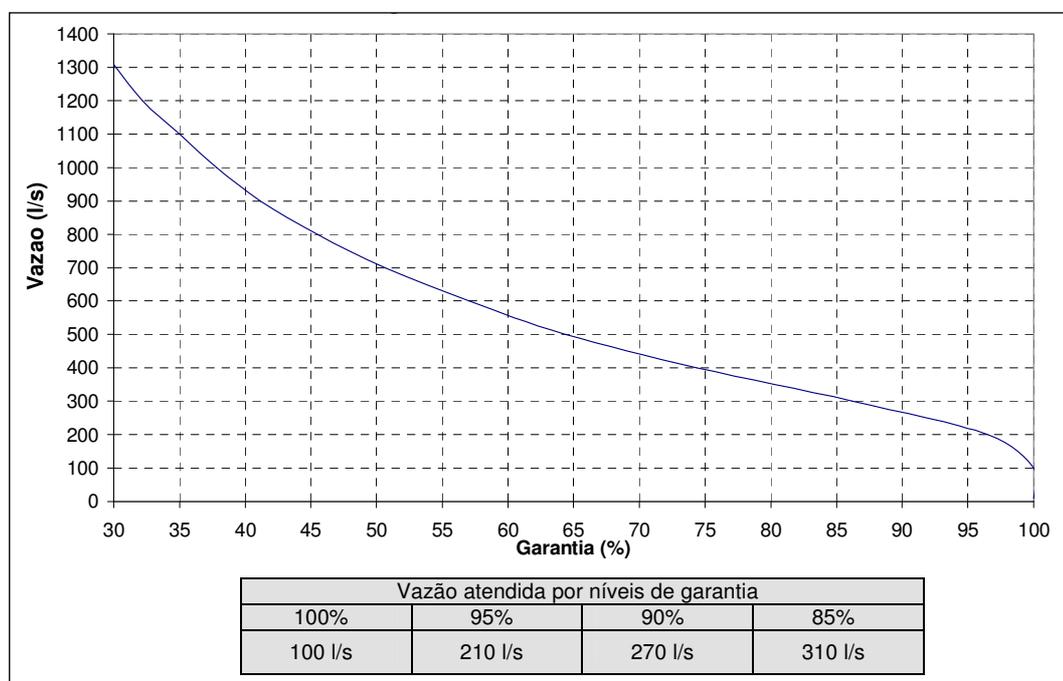
Comparando esses valores com os obtidos nos gráficos das **Figuras 54, 55 e 56**, nota-se que no açude Capoeira as vazões são mais elevadas no gráfico construído que no Plano; já no açude Farinha, ocorre o contrário. E no açude Jatobá, a vazão regularizada com 100% de garantia é praticamente a mesma, e as outras são superiores a do Plano.



**Figura 57- Curva de garantia do açude do Carneiro**



**Figura 58- Curva de garantia do açude Engenheiro Arcoverde**



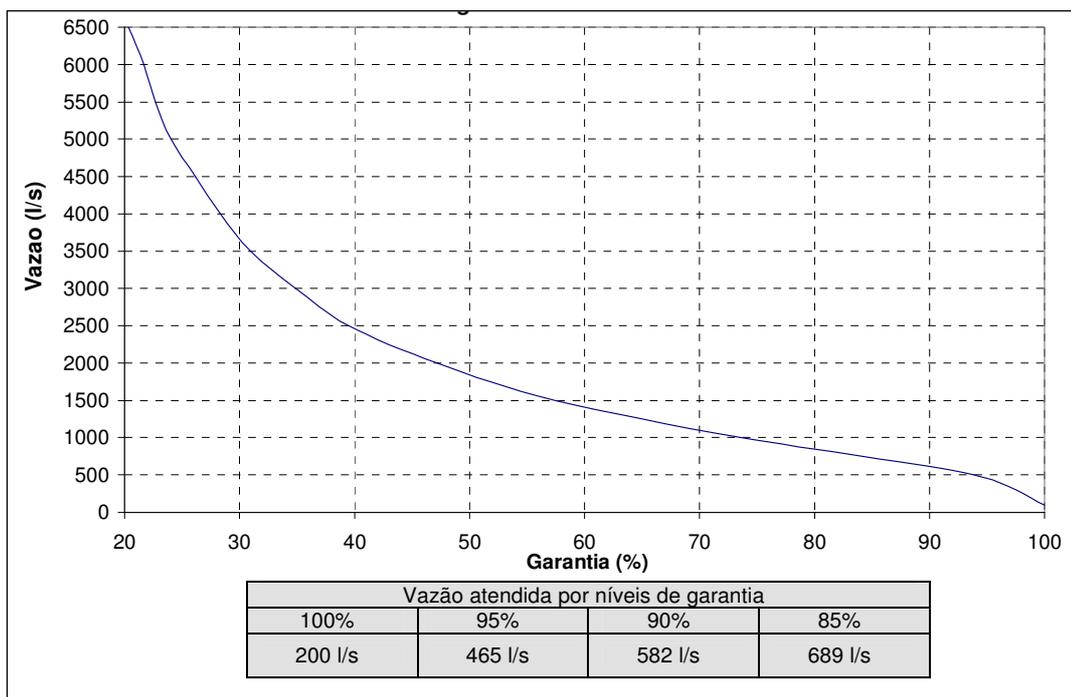
**Figura 59- Curva de garantia do açude Riacho dos Cavalos**

A seguir é mostrada uma tabela com a comparação entre as vazões regularizadas dos açudes do Carneiro, Engenheiro Arcoverde e Riacho dos Cavalos, contidas no Plano Diretor da bacia do Médio Piranhas, e as vazões regularizadas obtidas nos gráficos das **Figuras 57, 58 e 59**.

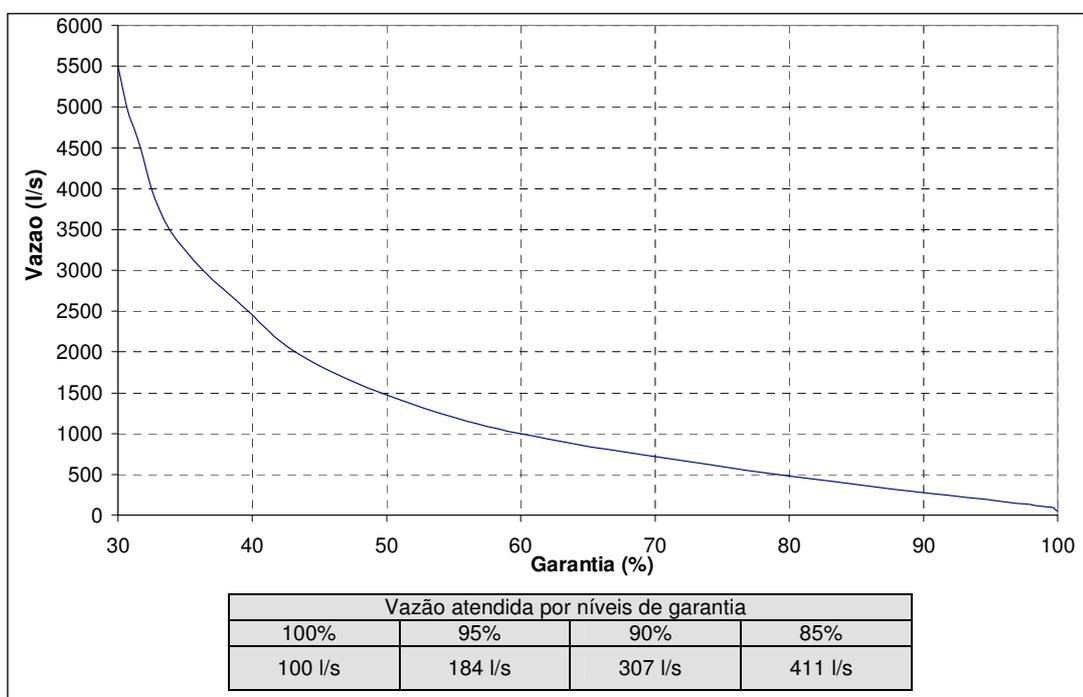
**Tabela 40- Vazões regularizadas pelos açudes da bacia do Médio Piranhas**

Açude	Garantias							
	100%		95%		90%		85%	
	Plano	Sintética	Plano	Sintética	Plano	Sintética	Plano	Sintética
Carneiro	380	40	625	130	755	200	860	270
Eng. Arcoverde	165	210	230	300	260	350	290	390
Riacho dos Cavalos	210	100	290	210	350	270	395	310

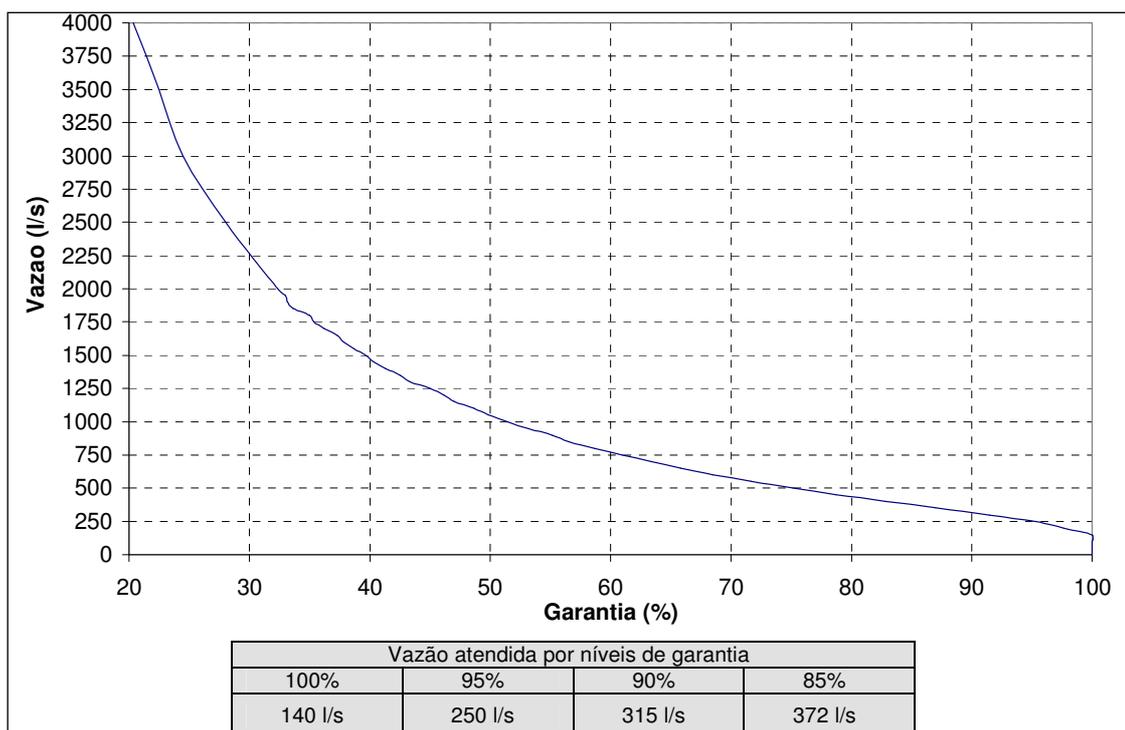
Verifica-se que apenas as vazões regularizadas sintéticas do açude Arcoverde são maiores que as do Plano Diretor da bacia; e são também as que mais se aproximam destas, nos níveis de garantia de 100 e 95%. Já as vazões do açude Carneiro ficaram muito abaixo das contidas no Plano.



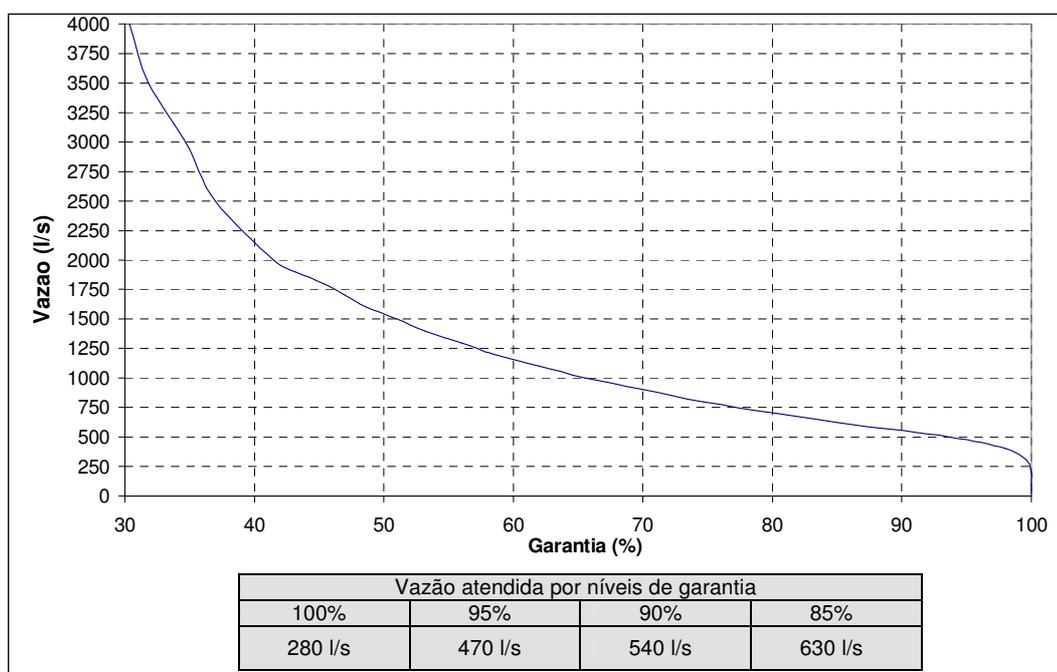
**Figura 60- Curva de garantia do açude Cruzeta**



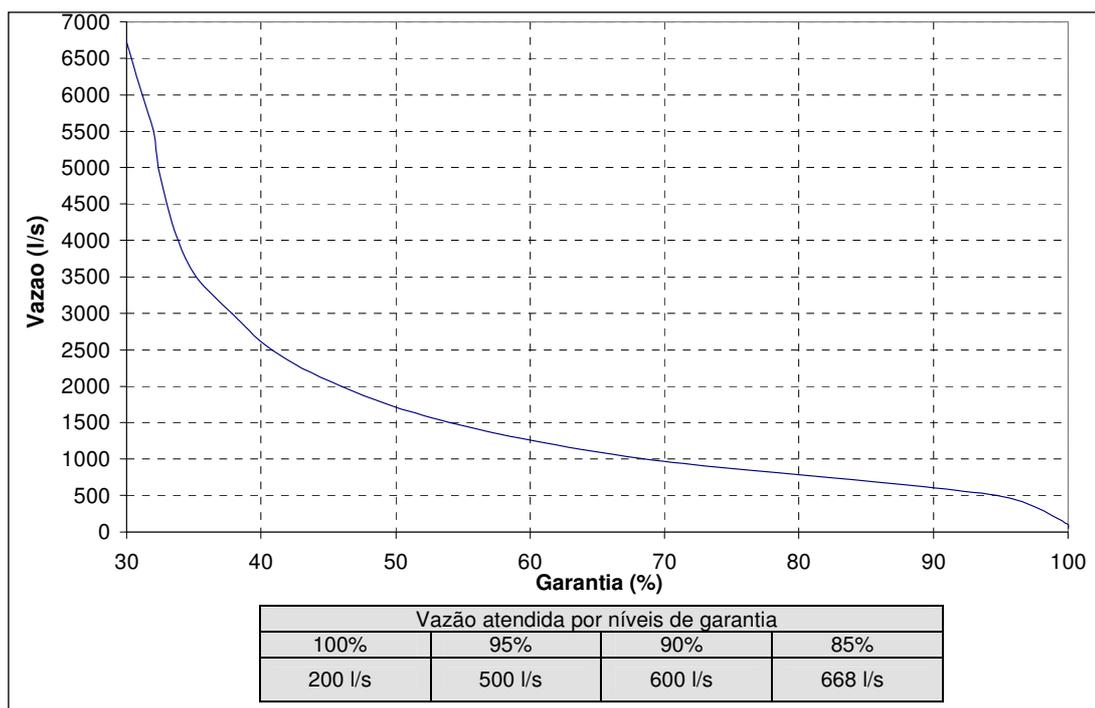
**Figura 61- Curva de garantia do açude Itans**



**Figura 62- Curva de garantia do açude Marechal Dutra**



**Figura 63- Curva de garantia do açude Passagem das Traíras**



**Figura 64- Curva de garantia do açude Sabugi**

Por fim, os açúdes das **Figuras 60 a 64**, localizados na bacia do rio Seridó, possuem vazões regularizadas expostas no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte; e são comparadas na tabela abaixo com as obtidas no modelo.

**Tabela 41- Vazões regularizadas pelos açúdes da bacia do rio Seridó**

Açude	Garantias							
	100%		95%		90%		85%	
	Plano	Sintética	Plano	Sintética	Plano	Sintética	Plano	Sintética
Cruzeta	81	200	94	465	104	582	114	689
Itans	138	100	198	184	222	307	229	411
Marechal Dutra	95	140	122	250	127	315	142	372
Passagem das Trairas	327	280	398	470	449	540	494	630
Sabugi	190	200	249	500	280	600	306	668

Analisando a tabela acima, percebe-se que para as vazões regularizadas com 100% de garantia, a diferença entre os resultados do Plano e do modelo ficou entre 10 a 47 l/s, exceto para o açude Cruzeta. Porém, essa diferença aumenta à medida

que a garantia diminui. Logo, a curva de garantia do modelo utilizado é mais acentuada que a do Plano.

É oportuno lembrar que, para a geração de séries temporais de deflúvios naturais, o Plano Diretor de Recursos Hídricos para o território da bacia do Rio Piranhas-Açu aplicou outro modelo chuva-vazão, o MODHAC. Uma análise mais crítica e detalhada poderia ser feita entre as conseqüências do uso do MODHISA e do MODHAC nas bacias do semi-árido.

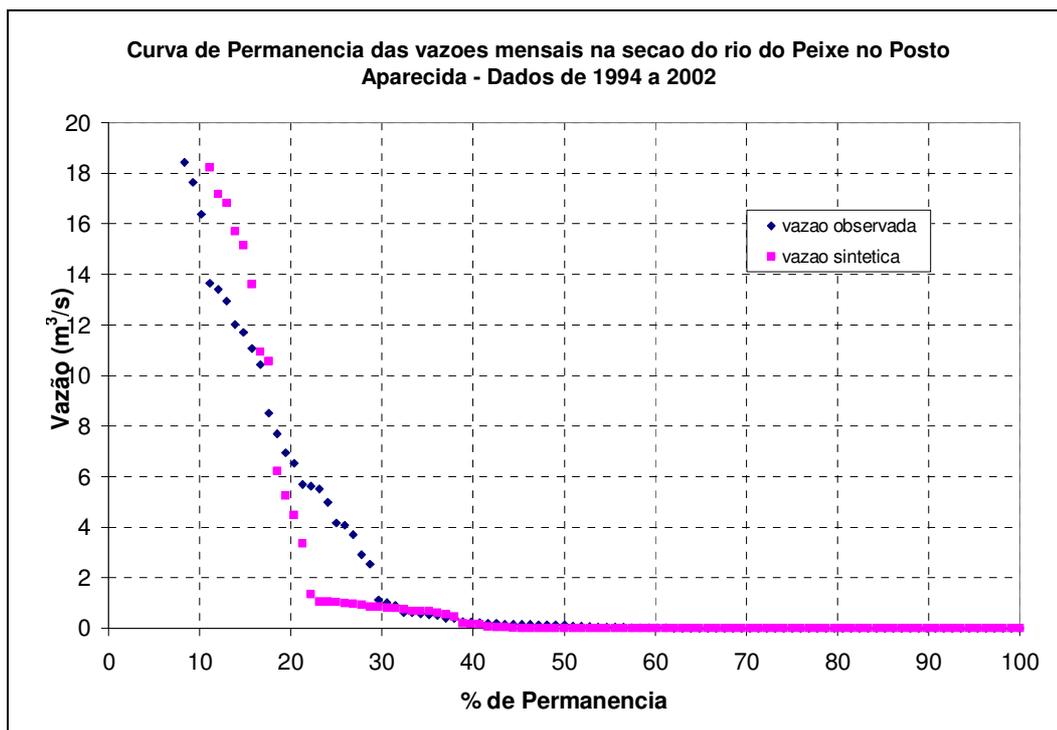
#### 4.3 CURVAS DE PERMANÊNCIA

As curvas de permanência expressam a porcentagem de tempo em que uma seção do rio permanece com vazão acima de um determinado valor. Dessa forma, pode-se saber qual a vazão que o rio pode ofertar em diferentes frações tempo; quanto tempo ele passa seco (no caso de rios temporários); ou se ele atenderá bem a um incremento da demanda, por exemplo.

Sendo assim, as curvas de permanência serão muito úteis para a avaliação da disponibilidade hídrica do trecho do rio estudado, como também, para confrontar suas vazões disponíveis com as demandas atuais e futuras da bacia.

As curvas de permanência foram construídas nas principais confluências do rio Piranhas-Açu com seus afluentes, utilizando-se a série de vazões geradas na simulação integrada da bacia, considerando a disposição dos açudes estudados. Para facilitar a compreensão da descrição dos pontos onde foram construídas as curvas, e da análise destas, é recomendável a visualização da **Figura 21** do item delimitação das sub-bacias, ou da **Figura 13** do item descrição dos trechos.

A primeira seção analisada localiza-se na confluência do rio do Peixe com o rio Piranhas. Neste ponto, existe o posto de medição Aparecida. Então, foram elaboradas duas curvas de permanência para o mesmo período de dados: uma com as vazões observadas no posto, e outra com as vazões sintéticas do modelo. Essas duas curvas são apresentadas no gráfico abaixo. O período de dados comum é bastante curto, já que a simulação foi feita a partir de 1994, e a série do posto data de 1985 a 2002, sem falha. Logo, foram comparadas as vazões entre os anos de 1994 a 2002 (9 anos de dados).

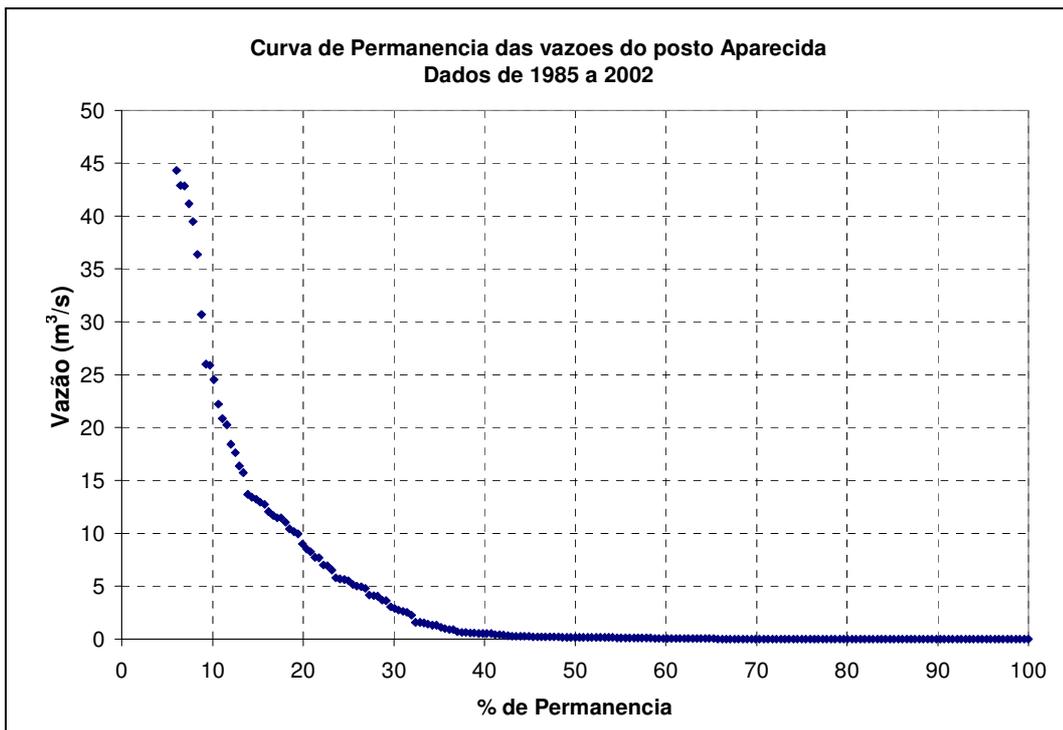


**Figura 65- Curva de Permanência das vazões na seção de confluência do rio do Peixe com o rio Piranhas**

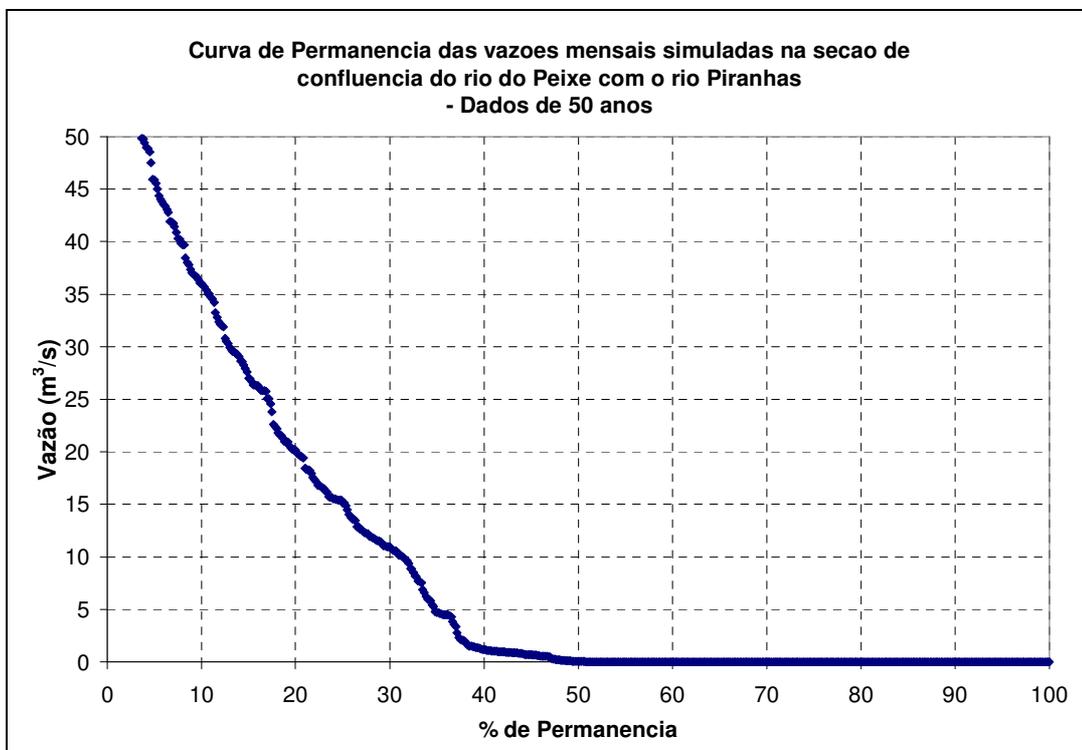
Observa-se que em ambas as séries o rio permanece 60% do tempo seco. E que a série sintética subestimou as vazões entre 1,5 a 6 m<sup>3</sup>/s, mas superestimou um pouco as vazões superiores a 10 m<sup>3</sup>/s.

A seguir é apresentada a curva de permanência nessa mesma seção, apenas com os dados da série completa do posto Aparecida, com 18 anos de medição ininterruptos (**Figura 66**).

Posteriormente, na **Figura 67**, é apresentada a curva de permanência construída com a série de vazão resultante da simulação integrada da bacia, ou seja, levando em consideração os açudes e seus vertimentos, no período de 50 anos.



**Figura 66- Curva de Permanência das vazões do posto Aparecida**



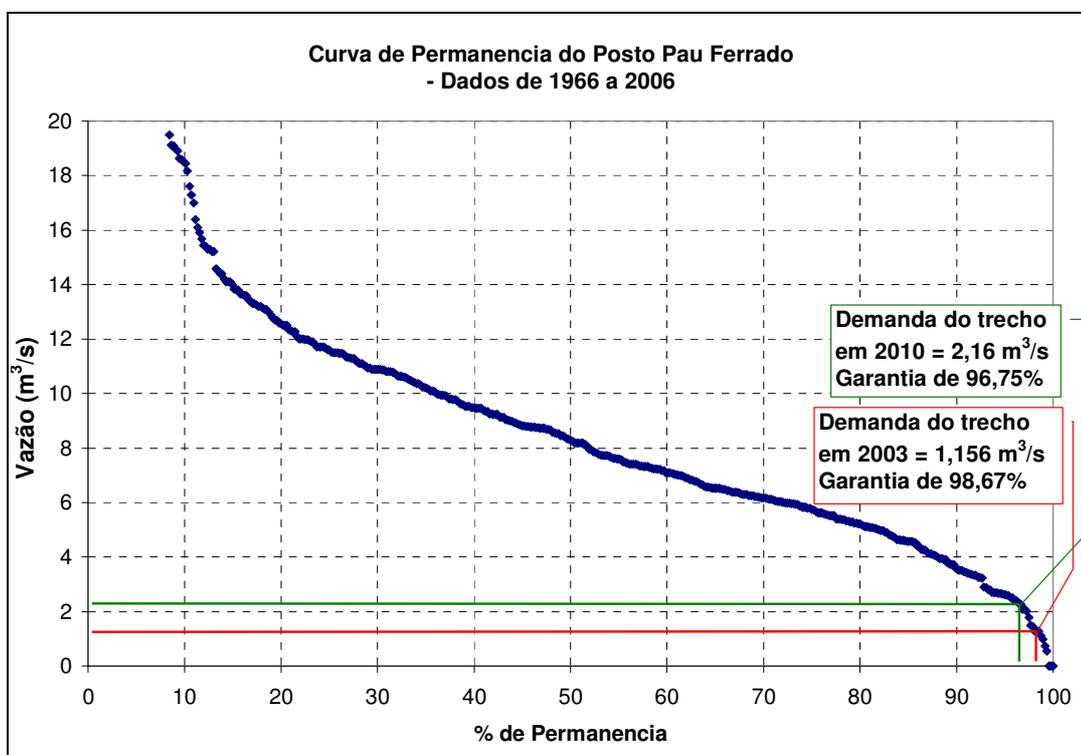
**Figura 67- Curva de Permanência das vazões sintéticas geradas pelo MODHISA e pelo balanço hídrico dos açudes**

Verifica-se que existe uma concordância quanto aos períodos de vazões nulas; e como era esperado, as vazões sintéticas são maiores que as observadas, quando comparada a mesma porcentagem de tempo. Uma provável justificativa é que o modelo pode ter simulado vertimentos dos açudes que na realidade não ocorreram, aumentando assim o deflúvio.

Outra seção importante a ser analisada é a confluência do rio Piranhas com o rio Piancó. Este último apresenta o posto fluviométrico Pau Ferrado, imediatamente à jusante do açude Coremas-Mãe D' água que pereniza o rio Piranhas-Açu até o açude Armando Ribeiro Gonçalves. Logo, é interessante mostrar a curva de permanência desse posto. Também porque, a vazão liberada pelo açude Coremas-Mãe D' água é responsável pelo atendimento da demanda no trecho 1, já que os outros afluentes do rio Piancó nesse trecho são pequenos riachos temporários.

A demanda do trecho 1 foi calculada, em 2003, e é da ordem de  $1,156 \text{ m}^3/\text{s}$ , segundo cadastro de usuários. Estima-se que ela terá um incremento em 2010, e será da ordem de  $2,16 \text{ m}^3/\text{s}$ .

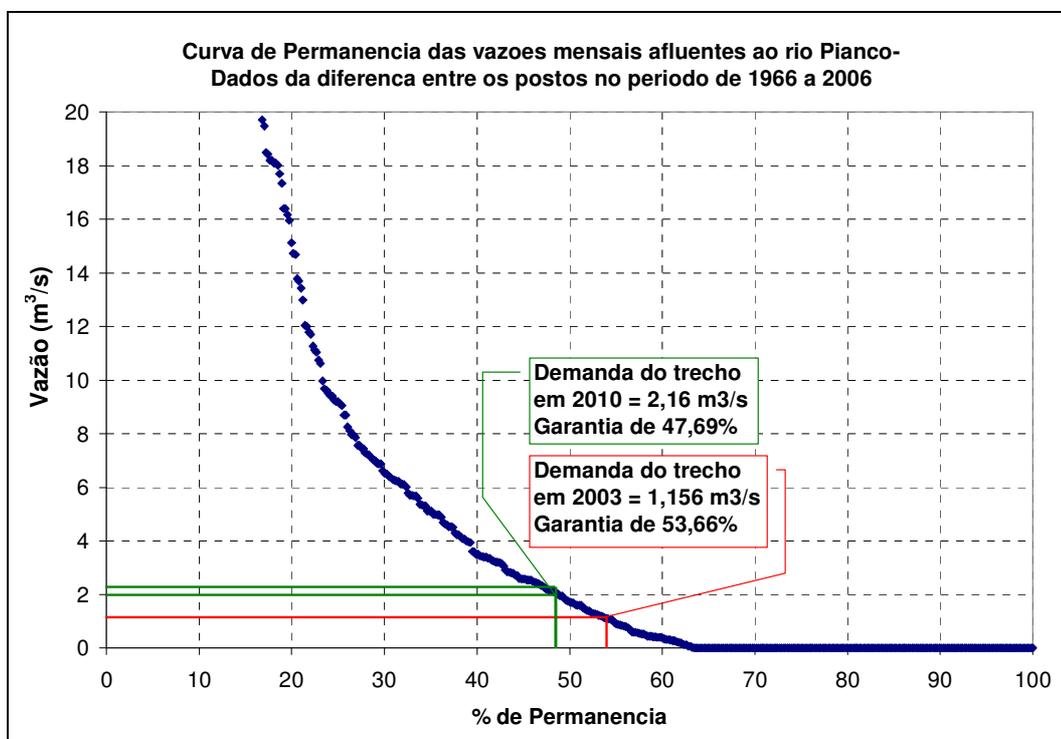
Na curva de permanência do posto Pau Ferrado (**Figura 68**) foram destacadas as garantias de atendimento a essas demandas.



**Figura 68- Curva de Permanência das vazões mensais do posto Pau Ferrado**

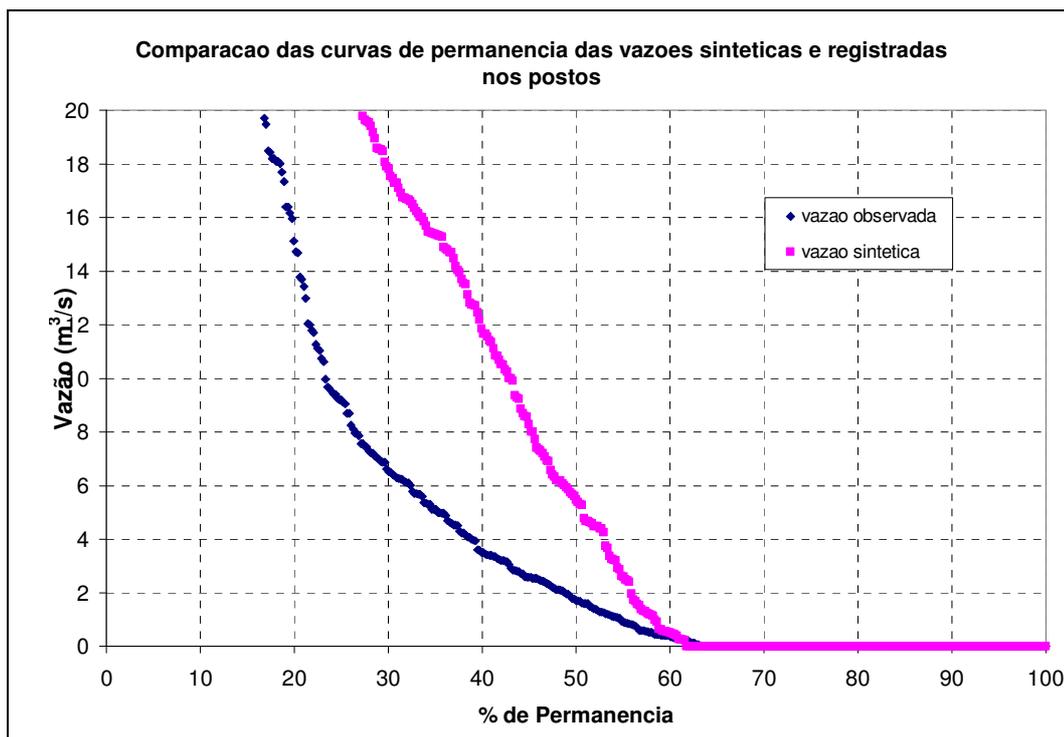
Nota-se que a vazão regularizada pelo açude Coremas-Mãe D' água atende eficazmente a demanda do trecho 1.

A vazão de contribuição do rio Piranhas ao rio Piancó pode ser medida pela diferença entre a vazão do posto Sitio Vassouras (localizado imediatamente à jusante da confluência desses rios), e o posto Pau Ferrado. Caso o açude Coremas-Mãe D' água interrompesse a liberação de água para jusante, as demandas anteriormente comentadas sofreriam grande redução de garantia. O gráfico a seguir mostra a curva de permanência construída com a diferença entre as vazões dos postos, e a comprovação da afirmação anterior.



**Figura 69- Curva de Permanência das vazões mensais observadas, afluentes ao rio Piancó, resultante da contribuição da bacia do Alto Piranhas e rio do Peixe.**

As vazões sintéticas geradas pelo modelo no ponto de confluência do rio Piranhas com o rio Piancó refletem a contribuição de toda a bacia do rio do Peixe e Alto Piranhas, levando em conta os açudes. A curva de permanência dessas vazões foi plotada na **Figura 70** juntamente com a curva mostrada acima, para uma série de vazão de 40 anos.



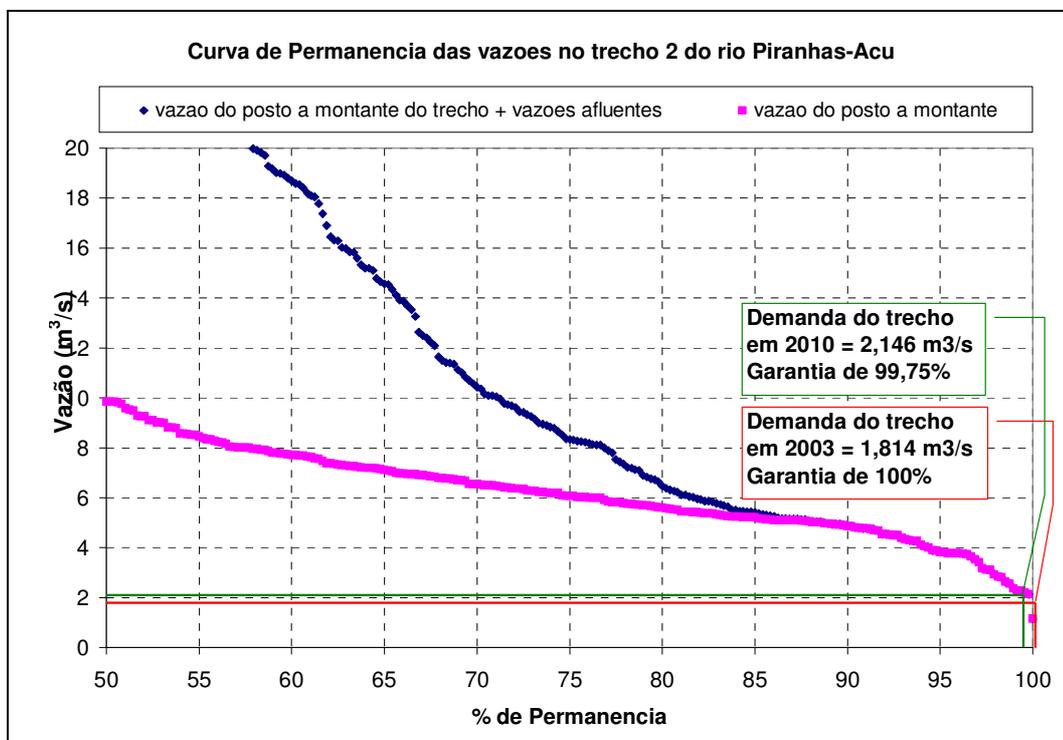
**Figura 70- Curva de Permanência das vazões mensais sintéticas, e observadas nos postos**

Portanto, a curva sintética novamente superestimou as vazões; fato que pode ser decorrente da desconsideração das demandas nas bacias de contribuição (Alto Piranhas e rio do Peixe), devido à falta de informações.

Essa demanda inclui também o volume de água retirado dos pequenos açudes, para subsistência. O MODHISA, ao simular o enchimento dos pequenos açudes através da variável  $R_j$ , considerara que este varia apenas com a evaporação; portanto, seria interessante a incorporação de um fator que estimasse as perdas de água dos pequenos açudes pela retirada de água dos seus usuários.

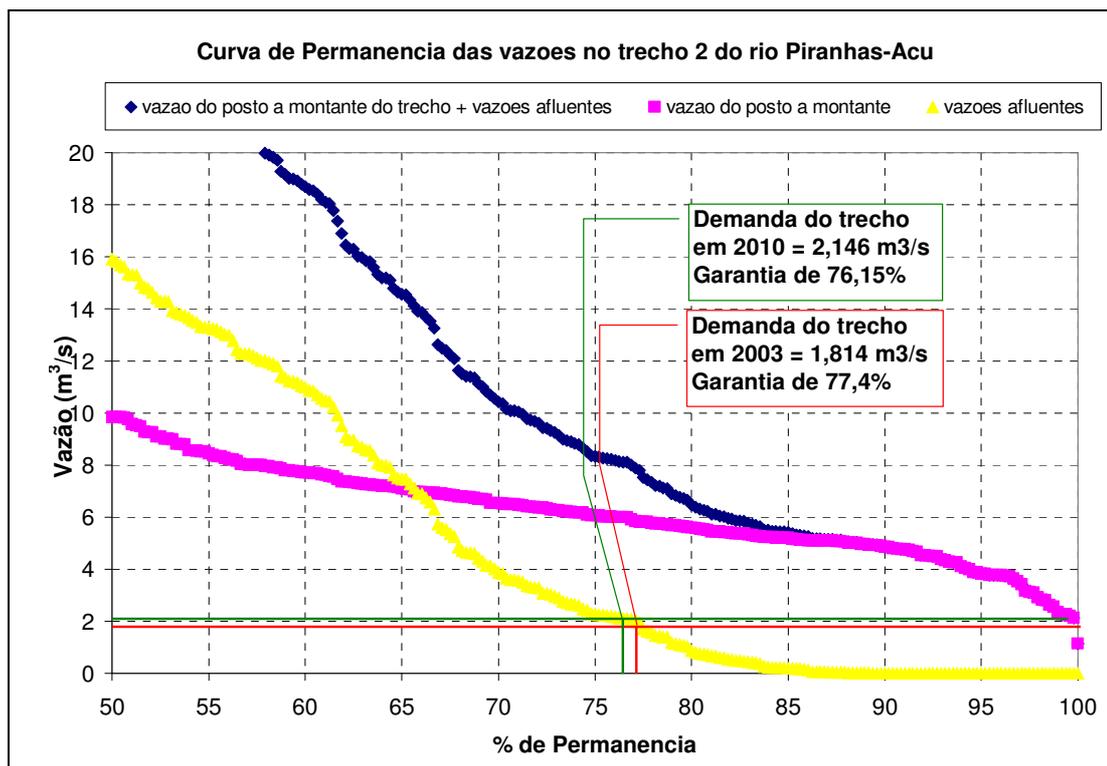
A terceira seção analisada localiza-se no rio Piranhas-Açu, na divisa dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. Para tanto, foram construídas as curvas de permanência das vazões sintéticas dos principais afluentes do rio nesse trecho 2, que são: Riacho São Bento, Riacho Caiçara e Riacho dos Cavalos; utilizando as vazões geradas pelas bacias livres à jusante dos açudes que barram esses rios. A essas vazões foi somada a vazão do posto Sitio Vassouras, localizado no início desse trecho. O resultado da curva de permanência é mostrado na **Figura 71**, juntamente com a curva de permanência das vazões do posto Sitio Vassouras, com a finalidade de visualizar o incremento no valor das vazões devido à contribuição lateral desses afluentes.

Na curva estão indicadas as demandas desse trecho 2, segundo o cadastro de usuários realizado em 2003, com suas respectivas garantias de atendimento.



**Figura 71- Curvas de permanência das vazões mensais na seção do rio Piranhas-Açu ao final do trecho 2**

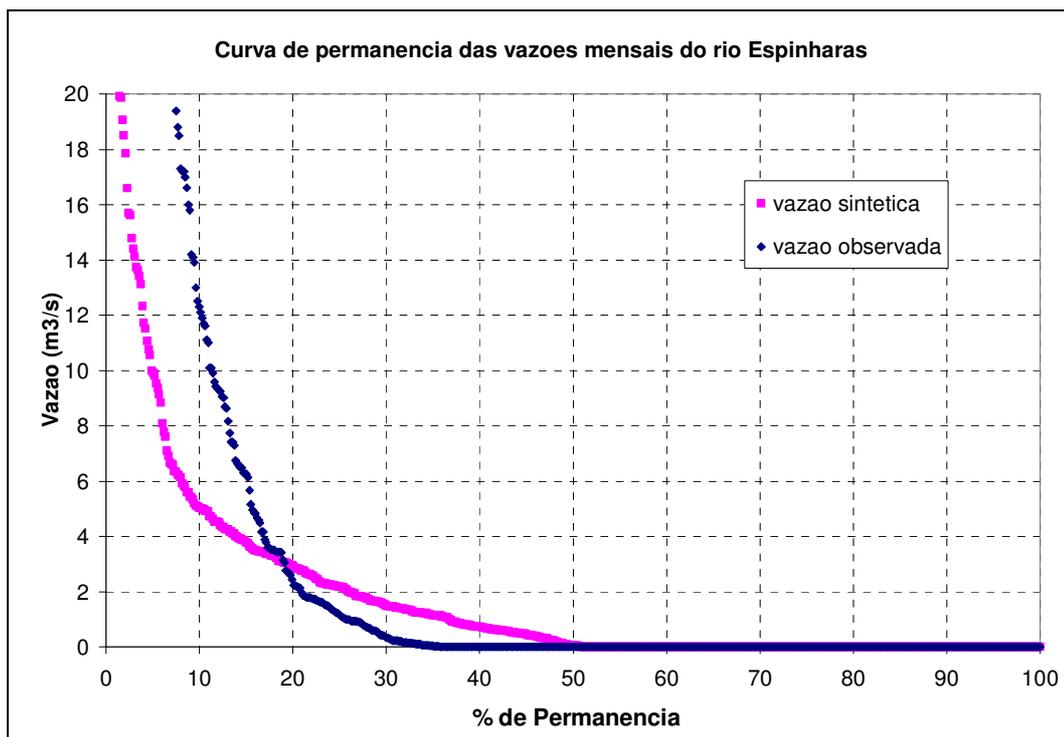
Verifica-se que, novamente, a vazão do trecho atende às demandas, segundo os dados do posto e segundo a soma destes com as vazões dos afluentes do trecho. O rio Piranhas-Açu é perenizado pelo açude Coremas Mãe-D' água, mas caso não fosse, o aporte hídrico nesse trecho restringiria-se às vazões afluentes dos riachos temporários; logo a garantia de atendimento às demandas diminuiriam, como mostra o gráfico da **Figura 72** a seguir.



**Figura 72- Curvas de permanência das vazões mensais na seção do rio Piranhas-Açu ao final do trecho 2**

A disponibilidade hídrica desse trecho, quando analisada unicamente pela contribuição dos deflúvios das bacias laterais, diminui. A curva de permanência das vazões sintéticas afluentes (em amarelo) mostra que em 15% do tempo a vazão afluente ao rio Piranhas- Açu, no trecho 2, é nula. E que as demandas seriam atendidas com garantias de 76 a 77%. Entretanto, assim como as demais curvas de permanência sintéticas, esta pode ter superestimado a vazão, principalmente as grandes vazões.

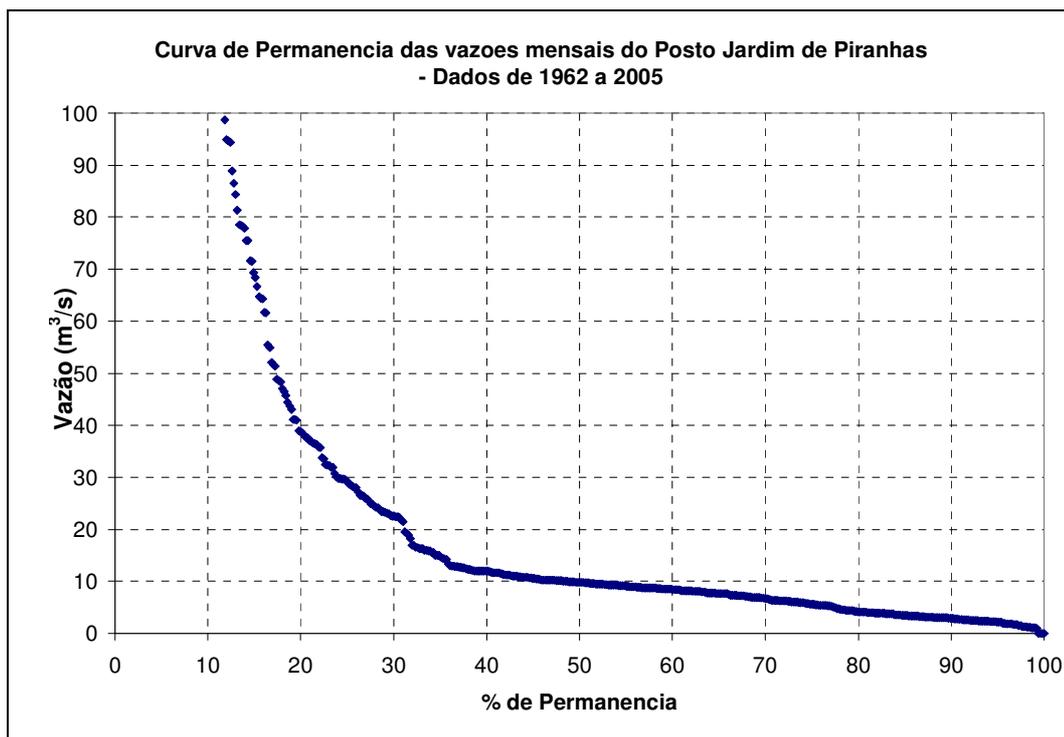
Após a divisa dos Estados, a contribuição ao rio Piranhas-Açu vem da bacia do rio Espinharas. A curva de permanência das vazões sintéticas nesse rio é mostrada na **Figura 73**, juntamente com a curva de permanência das vazões observadas no posto de Serra Negra do Norte.



**Figura 73- Curvas de permanência das vazões mensais na seção do posto de Serra Negra do Norte**

Nota-se que o modelo subestimou o tempo em que o rio Espinharas permanece seco (segundo o modelo, o rio apresenta vazão nula em 50% do tempo; e segundo os dados do posto Serra Negra, o rio apresenta vazão nula em 64% do tempo). No entanto, para vazões superiores a 3 m<sup>3</sup>/s, a curva de permanência das vazões observadas se sobrepõem à curva das vazões sintéticas, diferindo dos resultados das outras curvas expostas até o momento.

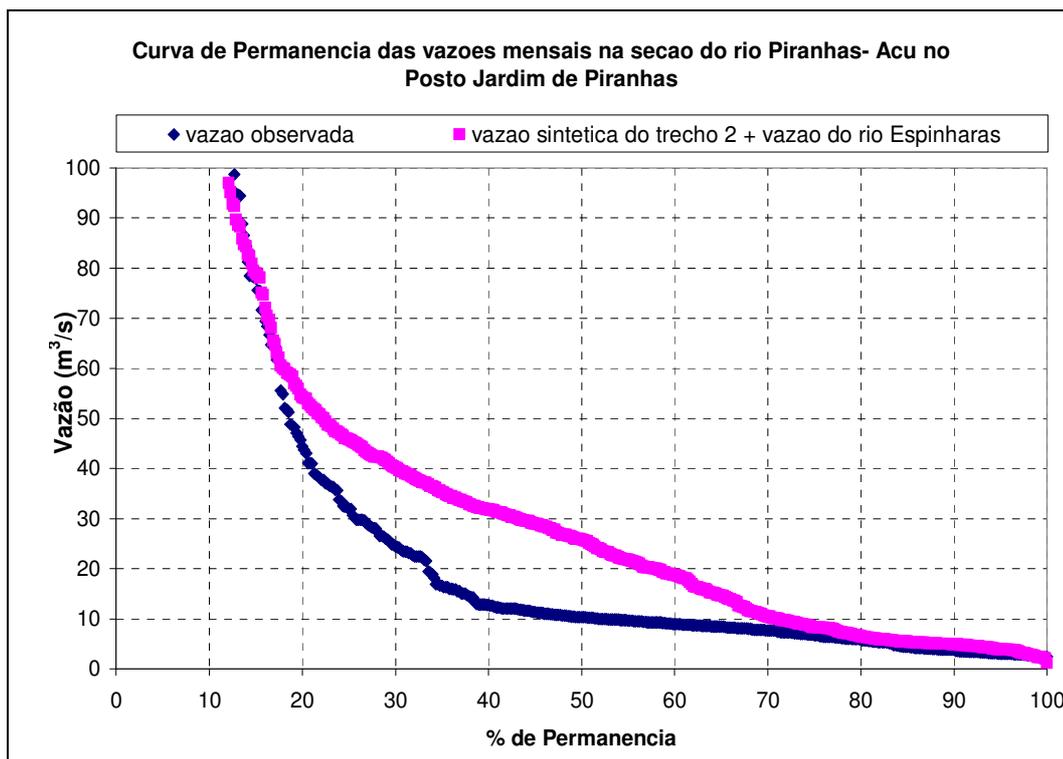
Logo após a confluência do rio Espinharas com o rio Piranhas-Açu existe o posto fluviométrico Jardim de Piranhas, cuja curva de permanência é mostrada a seguir:



**Figura 74- Curva de permanência das vazões mensais na seção do posto Jardim de Piranhas, no rio Piranhas- Açu**

Esta é a primeira curva de permanência das vazões do rio Piranhas-Açu em território norte-riograndense. A vazão perenizada, ou seja, aquela com 100% de permanência, é de aproximadamente 1 m<sup>3</sup>/s, segundo a curva de permanência acima, construída com base nos 44 anos de dados do posto Jardim de Piranhas.

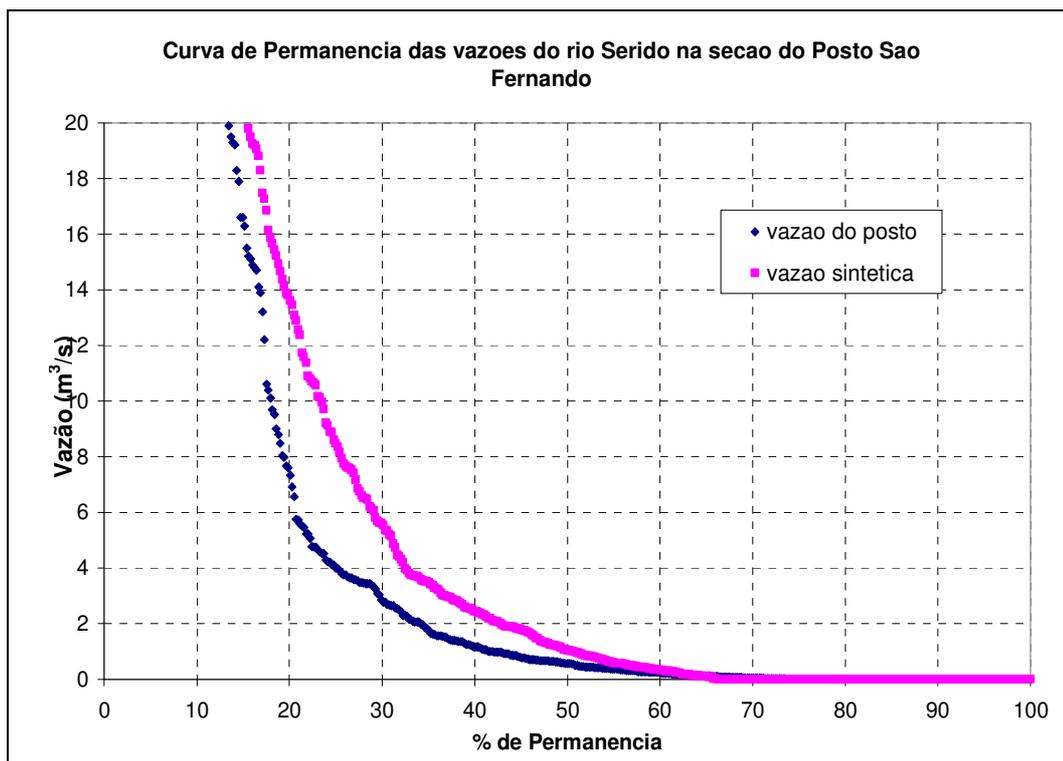
Somando-se as vazões sintéticas das curvas de permanência do trecho 2 e as do rio Espinharas, tem-se a curva de permanência das vazões sintética na seção do posto Jardim de Piranhas. Na **Figura 75** é mostrado um gráfico com essa curva, e a curva do posto exposta anteriormente.



**Figuras 74 - Curvas de permanência das vazões mensais na seção do rio Piranhas-Açu no posto Jardim de Piranhas**

Observa-se que as curvas quase se sobrepõem para as vazões com até 80% de permanência. Igualmente ocorre para as vazões superiores a  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ . Entretanto, o modelo praticamente duplica as vazões entre  $5$  a  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ . Provavelmente, o modelo superestimou as vazões do trecho 2, já que a do rio Espinharas ficaram abaixo da medida no posto de Serra Negra.

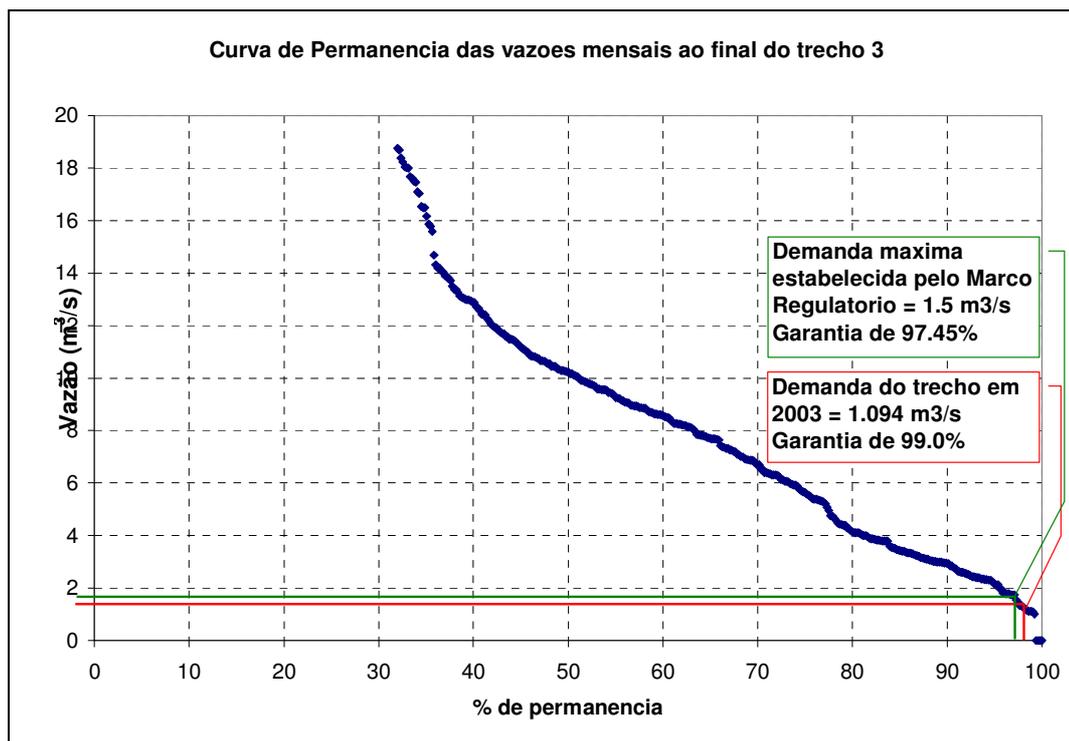
O próximo trecho analisado é o trecho 3, cuja vazão corresponde àquela da seção do posto de Jardim de Piranhas, acrescida às vazões sintéticas dos principais afluentes do rio Piranhas-Açu nesse trecho: Riacho Escuro, Rio Baião e Rio Seridó. Dentre esses, o rio Seridó merece destaque pois é o maior afluente do rio Piranhas-Açu. Sua curva de permanência é mostrada na **Figura 76**:



**Figuras 76 - Curvas de permanência das vazões mensais na seção do rio Seridó no posto São Fernando**

O rio Seridó permanece com vazão nula cerca de 33% do tempo segundo a curva das vazões sintéticas; e cerca de 26% do tempo segundo os dados do posto São Fernando. A grande quantidade de grandes açudes que barram o rio e seus afluentes diminui sua disponibilidade hídrica, porém, por outro lado, são essenciais para o atendimento da demanda nessa região de baixa pluviosidade.

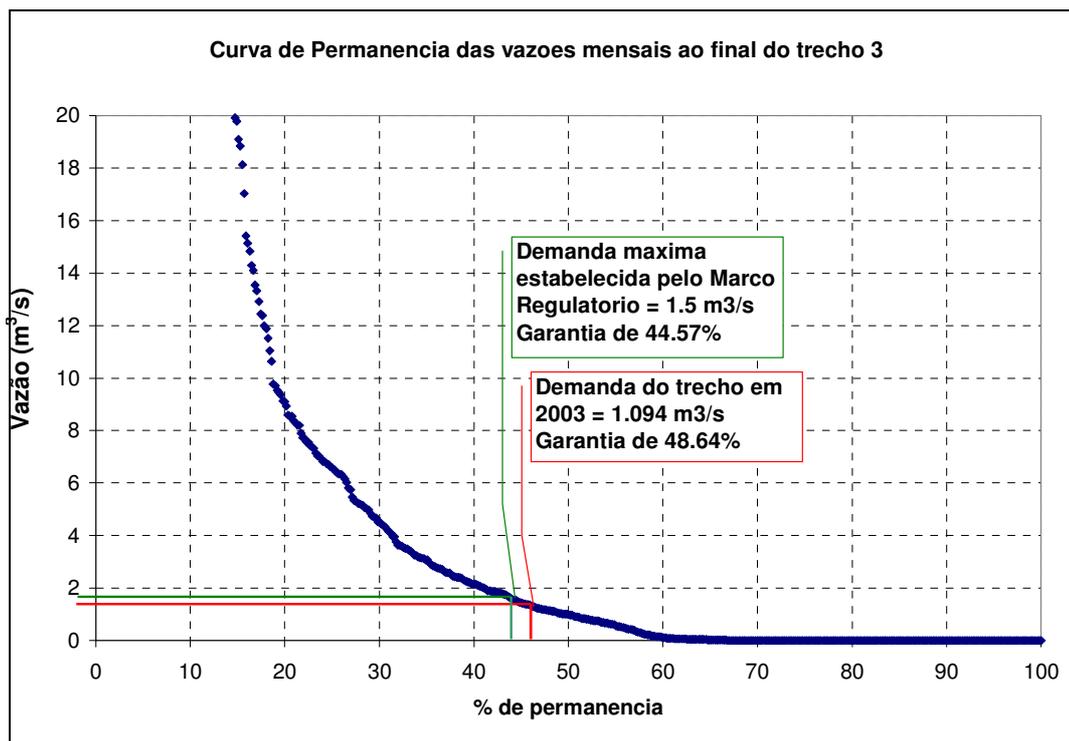
Somando-se a essa curva, as vazões das curvas dos outros dois afluentes e as vazões do posto Jardim de Piranhas, têm-se a curva de permanência ao final do trecho 3, que é mostrada na **Figura 77**, juntamente com as garantias de atendimento às demandas nesse trecho.



**Figuras 77 - Curvas de permanência das vazões mensais na seção do rio Piranhas- Açú no final do trecho 3**

A próxima curva mostrada refere-se apenas às vazões sintéticas afluentes ao rio nesse trecho, ou seja, o resultado da simulação das bacias contribuintes do rio nesse trecho: bacia do rio Espinharas, bacias livres a jusante dos açudes Santa Rosa e Escondido, e bacia do rio Seridó.

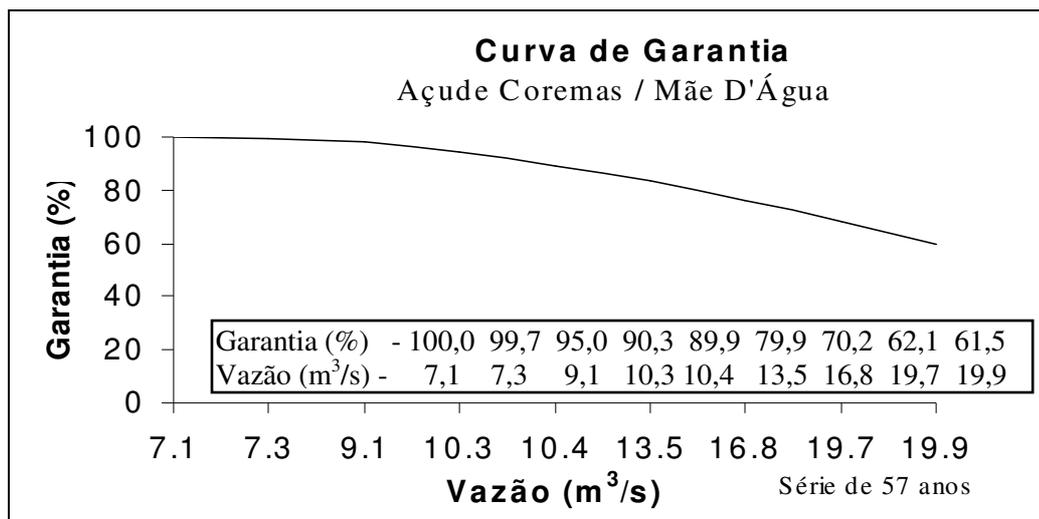
Percebe-se que somente a contribuição lateral dos deflúvios das bacias não seria suficiente para suprir a demanda requerida no trecho.



**Figuras 78 - Curvas de permanência das vazões sintéticas mensais no trecho 3**

Os resultados expostos mostram que o rio Piranhas-Açu, nos trechos estudados, suporta as demandas atuais que somam um total de 4,064 m<sup>3</sup>/s. Mas isso só é possível devido, principalmente, à vazão regularizada pelo açude Coremas-Mãe D' água. Sem essa fonte firme de água, os resultados da simulação indicam que haveria baixa eficiência no atendimento às demandas.

A seguir é mostrada a curva de garantia do açude Coremas-Mãe D' água contida no Plano Diretor de Recursos Hídricos das Bacias do Alto Piranhas e rio do Peixe:

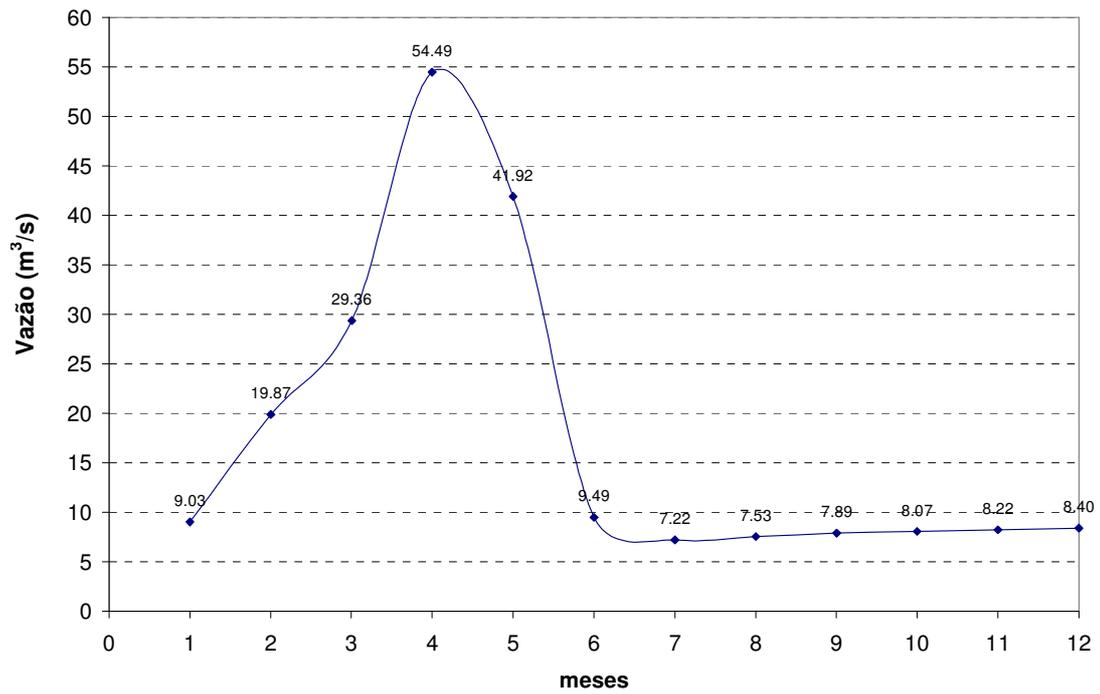


**Figura 79- Curva de Garantia do açude Coremas-Mãe D'água**

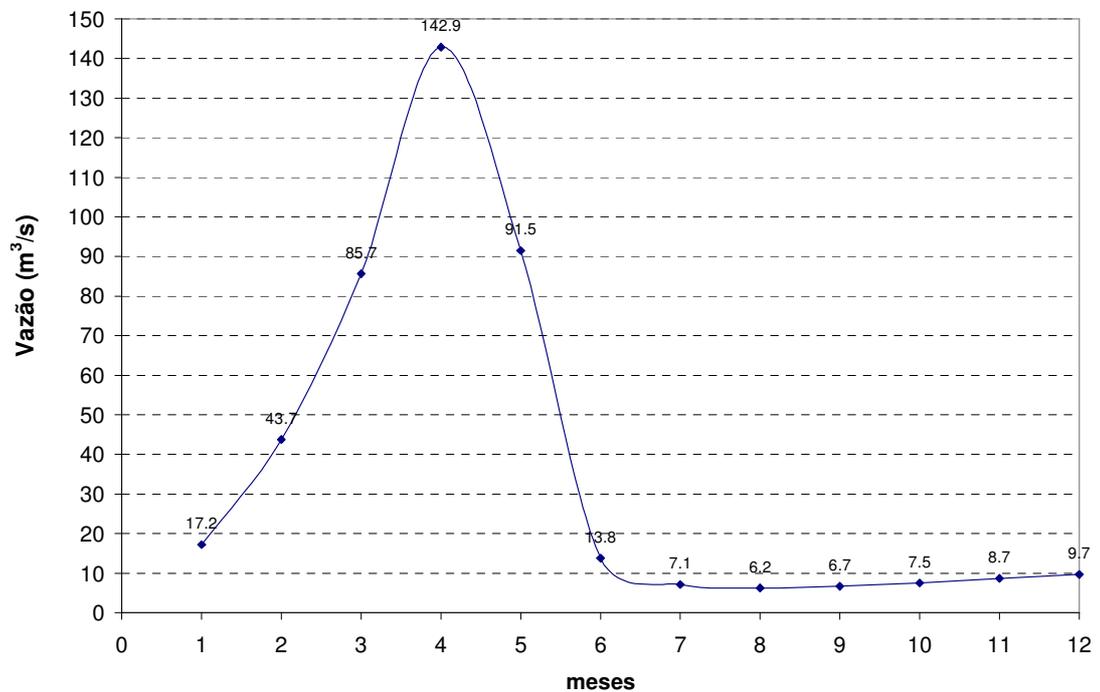
Caso aconteça um incremento no valor da demanda, conforme foi mostrado nas tabelas dos estudos da ANA sobre o Marco Regulatório (**Tabelas 01 e 02**); em 2015 a demanda total desses três trechos do rio Piranhas-Açu seria de 7,207 m<sup>3</sup>/s. Somando esse valor com a demanda prevista para o entorno do açude Coremas (4,218 m<sup>3</sup>/s) daria uma demanda de 11,425 m<sup>3</sup>/s. Ou seja, o açude Coremas teria que liberar uma vazão igual ou superior a esse valor para atender de forma eficiente às demandas ao longo do rio até à montante do açude Armando Ribeiro Gonçalves. Entretanto, como ele possui uma vazão regularizável de 7,1 m<sup>3</sup>/s com 100% de garantia, então certamente iria ocorrer demanda reprimida.

No entanto, essas considerações apenas levam em conta as águas regularizadas do Açude Coremas, sem incluir outras contribuições importantes ao longo do trecho Coremas - Armando Ribeiro Gonçalves. Mas será que estas vazões afluentes elevam tanto a vazão regularizada pelo Açude Coremas a ponto de suprir a demanda prevista para 2015 nesse trecho? Ou melhor, será que essa demanda seria atendida durante a estação seca?

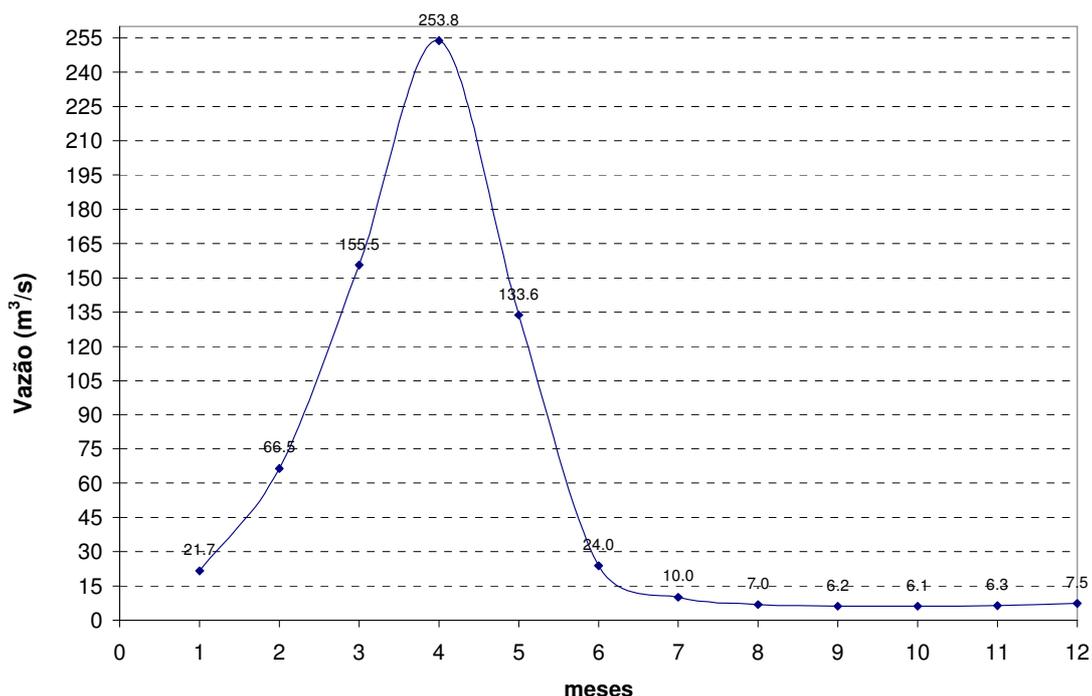
A fim de realizar tal análise, foram construídos os hidrogramas das vazões médias mensais em algumas seções do trecho do rio. As **Figuras 80 a 82** mostram esses hidrogramas.



**Figura 80- Hidrograma das vazões médias mensais na seção do Posto Pau Ferrado**



**Figura 81- Hidrograma das vazões médias mensais na seção do Posto Sitio Vassouras**



**Figura 82- Hidrograma das vazões médias mensais na seção do Posto Jardim de Piranhas**

Os hidrogramas mostram que há um aumento muito grande das vazões durante a estação chuvosa, e portanto, a contribuição dos afluentes aumentam significativamente os valores dos deflúvios no rio principal. Já as vazões nos meses de estiagem apresentam-se bem menores, porém não inferiores a  $6,1\text{m}^3/\text{s}$ .

A demanda prevista para 2015, por trecho estudado, é mostrada na **Tabela 42** abaixo.

**Tabela 42- Demandas futuras para cada trecho**

Trechos	Demanda futura ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) (ano de 2015)
Trecho 01	2,424
Trecho 02	2,918
Trecho 03	1,865

Ou seja, avaliando dessa outra forma, não haveria problemas de atendimento às demandas para esse cenário previsto.

## 5 CONCLUSÕES

Conseguiu-se realizar um levantamento completo dos recursos hídricos superficiais do trecho do rio Piranhas-Açu entre os açudes Coremas-Mãe D' água e Armando Ribeiro Gonçalves, e de suas bacias de contribuição, com levantamento de informações e dados importantes para o conhecimento acadêmico e para subsidiar estudos posteriores na bacia.

Conclui-se que o modelo chuva-vazão empregado, o MODHISA, apresentou boa adequação às características hidrológicas das sub-bacias contribuintes do rio Piranhas-Açu e seus afluentes; tornando-se uma ferramenta de fácil aplicação e de bons resultados.

O encadeamento da aplicação do MODHISA nas sub-bacias juntamente com o balanço hídrico nos grandes açudes permitiu a construção de um modelo que mostra o efeito provocado pela precipitação no armazenamento mensal de água nos açudes (se este irá verter ou não; ou quanto seu nível irá aumentar ou baixar), tendo como dados de entrada apenas a chuva medida nos postos e o volume inicial do açude.

Além disso, essa simulação permitiu analisar valores de deflúvios mensais em seções ao longo do trecho do rio Piranhas - Açu e de seus afluentes.

A simulação da operação dos açudes forneceu curvas de garantias cujos valores assemelharam-se aos contidos nos Planos Diretores de algumas bacias, principalmente para as vazões com porcentagem de 100% de garantia. Porém, para a maioria dos açudes, os valores das vazões regularizadas sintéticas mostraram-se maiores que aquelas dos Planos de suas bacias, onde o modelo chuva-vazão utilizado foi outro.

A avaliação da disponibilidade hídrica e da demanda hídrica nos três sub-trechos em que foi dividido o rio Piranhas-Açu até o Açude Armando Ribeiro Gonçalves mostrou que, para as atuais vazões de água bruta captadas no rio, as garantias de atendimento são elevadas, já que a porcentagem de permanência destas no trecho do rio é alta.

Da mesma forma, as vazões de captação previstas para 2015 também não teriam restrições significativas na garantia.

Em síntese, o problema da escassez hídrica da bacia do rio Piranhas-Açu decorre da falta de infra-estrutura para encaminhar a água do rio para as

localidades cujos açudes não são capazes de suprir a demanda na época da estiagem, como por exemplo, as cidades localizadas a margem esquerda do rio, como Santa Cruz.

Por outro lado, é assaz importante a continuação desse estudo no trecho restante do rio até a sua foz, onde as demandas para a carcinicultura entram em conflito com as retiradas de água para irrigação e abastecimento.

A conscientização dos usuários para a preservação das matas ciliares e da qualidade da água do rio, assim como a mobilização dos órgãos gestores dos dois Estados para o controle da sua demanda hídrica são fundamentais para conservação da vida desse manancial.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAGISA- Agência de Águas, Irrigação e Saneamento da Paraíba.(2004). *Relatório Medição de Vazão no Rio Piranhas- Divisa PB e RN.*

AESA- Agência Executiva de gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br>. Acessado em: 13 fev 2006.

ANA - Agência Nacional de Águas. Resolução nº 687, de 03 de dezembro de 2004. Brasília-DF.

ARAÚJO, E. J. R.; MATTOS, A. (2004). *Disponibilidade Hídrica do Estado de Alagoas Utilizando a Distribuição Gama.* In: VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, São Luís-MA.

ATECEL- Associação Técnico-Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior.(2000) *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Piranhas- Açú.*

AZEVEDO, L. G. T. e PORTO, R. L. L (1997). *MODSIM: Modelo de Rede de Fluxo para Simulação de Bacias Hidrográficas - manual do usuário e estudos de casos.*

BRAGA, C. F. C.; DINIZ, L. S.; GARJULLI, R. (2004). *Construção do marco regulatório do Sistema Curema-Açu.* In Anais do VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, São Luís.

CARVALHO, F. S.; BUARQUE, D. C.; CARVALHO, G. S.(2002). *Disponibilidade Hídrica da Bacia Hidrográfica do Rio São Miguel, am Alagoas.* In: VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Maceió-AL.

CONSÓRCIO-CNEC-SOGREAH (1975). *Aproveitamento Hidro-Agrícolas dos Açudes de Itans, Sabugi, Cruzeta e Pau dos Ferros-RN.* Ministério do Interior- Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. Volume 2.

CRUZ, J.C. (2001). *Disponibilidade Hídrica para Outorga: Avaliação de Aspectos Técnicos e Conceituais.* Tese de doutorado do programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do IPH/UFRGS. 205p Porto Alegre, RS.

CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L.; SILVEIRA, A. L. L.; RAFAEL, C. C.(2003). *Disponibilidade Hídrica para Outorga: Sistemática Modular de Avaliação.* In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba-PR

CUNHA, R. G. L; SANTANA, A. G; PEREIRA, J. S.; CARVALHO, G. S. (2002). *Avaliação da Disponibilidade Hídrica Superficial: a Fio D'água e com Regularização de Vazão, no Rio Coruripe-ALAGOAS.* In: VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Maceió-AL.

DNOCS- Departamento Nacional de Obras Contra as Secas.

EMPARN- RN- Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte

HARGREAVES, G. H (1974). Estimation of potential and crop evapotranspiration. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 17, n. 4, p. 701-704.

HIDROWEB – Sistemas de Informações Hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/> . Acesso em: 01 mar 2006

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2000. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/>. Acessado em: 8 fev 2006

LANNA, A. E.; SCHWARZBACH, M. (1989). *MODHAC – Modelo Hidrológico Auto-calibrável*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. 55p. (Recursos Hídricos Publicação n. 21).

LEÃO, J. C. & SOARES, T. P.S. (2004). *Avaliação de Demanda e Simulação do Reservatório de Bocaína*. In: VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, São Luís-MA.

LIMA, C. A. G.; CURTI, W. F.; CURTI, R. C.(2005). *Sustentabilidade Hídrica do Sistema Coremas-Mãe D'água: Diagnóstico*. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa- PB.

LMRS-PB- Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba.

MARGI MOSS. Disponível em:[http://360graus.terra.com.br/extremoss/popup\\_foto\\_bda.asp?did=10547&numerofoto=7](http://360graus.terra.com.br/extremoss/popup_foto_bda.asp?did=10547&numerofoto=7). Acessado em: 3 mar 2006

MARQUES, R.L.M; PEREIRA NETO,A. (1997). *Documento Referencial do Pólo de Desenvolvimento Integrado Alto Piranhas na Paraíba*. Disponível em: [http://www.bnb.gov.br/content/Aplicacao/ETENE/Rede\\_Irrigacao/Docs/Documento%20Referencial%20do%20Polo%20Alto%20Piranhas.PDF](http://www.bnb.gov.br/content/Aplicacao/ETENE/Rede_Irrigacao/Docs/Documento%20Referencial%20do%20Polo%20Alto%20Piranhas.PDF). Acessado em: 6 nov 2005.

MAUAD, F.F.; ALBERTIN, L.L.; CORRÊA FILHO, C. R. R.; BARBOSA, A. R. A.; OLIVEIRA, H. R..(2003). *Avaliação de Conflitos de Usos Múltiplos de Água em Sistemas de Recursos Hídricos: o Estado da Arte*. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba-PR

MEDEIROS, V. M. A (2005). *Bacia Experimental de Serra Negra do Norte, RN- Implantação, Monitoramento e Modelagem*. Dissertação de Mestrado, à Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN

MOREIRA, F. M.; ARAÚJO, L.M.N.; MELO, C. R.;SANTOS, A.S.(2003). *Disponibilidade Hídrica e Regime Hidrológico da Região Metropolitana do Recife (RMR)*. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba-PR

NASCIMENTO JÚNIOR, C. N.S. N.(2004). *Transformação Chuva/Vazão na Bacia Hidrográfica do Rio Espinharas – Aplicação do Modelo Hidrológico Distribuído*

*Açumod*. Dissertação de Mestrado, à Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN

PAIVA, A.E.D.B.; ALBUQUERQUE, D.J.S.; PASSERAT DE SILANS, A.M.B.; ALMEIDA, C.N. (1999). *Aplicação do modelo hidrológico distribuído AÇUMOD à bacia do Rio Taperoá – Estado da Paraíba*. Anais eletrônico do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, Novembro, 1999.

PANTE, A. R.; NÓBREGA, M. T.; FREITAS, M. A. S. (2004). *Disponibilidade Hídrica Superficial nas Bacias do Rio Poti e Longá*. In: VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, São Luís-MA

SILVA FILHO, E. B. *Coremas, seu lugar na História*. Disponível em: <http://www.pbnet.com.br/openline/ebsfilho/sobre.html>. Acesso em: 3 out 2005.

SILVA, S. R.; COSTA, A. M.; OLIVEIRA, O. F.; MAIA, L. M.; FREITAS, V.A.L.; SÁ, A. M. F. (2004). *Demanda e Oferta Hídrica em Pernambuco: Uma Abordagem Indicativa*. In: VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, São Luís-MA.

RIGHETTO, A. M.; GUIMARÃES FILHO, J. A. (2003). *Utilização Ótima dos Recursos Hídricos Superficiais do Estado do Rio Grande do Norte*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 8 n.2, abr/jun 2003, 19-29.

RIGHETTO, A. M.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. A.; MELO, J. M. B. G. (2002). *Aplicação do Modelo MODHISA para Geração de Vazões Médias Mensais em Rios do Semi-Árido Nordestino*. In: VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Maceió-AL.

SCIENTEC - Associação para o Desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia (1996). *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe*.

SCIENTEC - Associação para o Desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia (1997). *Plano Diretor de Recursos Hídricos: Bacia do Piancó e do Alto Piranhas*.

SCIENTEC - Associação para o Desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia (1998). *Plano Diretor de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte-Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas – Açu no Território Paraibano*.

SERHID- RN- Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos. *Plano Estadual de Recursos Hídricos. Relatório Síntese* (1998). Hidroservice Engenharia Ltda. 267 p.

SERHID- RN(2005). *Sustentabilidade Hídrica para a Implantação da Barragem de Oiticica, município de Jucurutu/RN*. Relatório Final de Consolidação. Acquatool Consultoria S/S Ltda.

SILANS<sup>1</sup>, A. M. B. P.; ALMEIDA, C. N.; ALBUQUERQUE, D. J. S.; PAIVA, A. E. D. B.(2000). *Aplicação do Modelo Hidrológico Distribuído AÇUMOD à Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe-Estado da Paraíba*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos- RBRH. Vol 5, n. 3, jul/set