

# **Estudo para Avaliação e Gerenciamento da Disponibilidade Hídrica da Bacia da Lagoa Mirim.**

**Volume 1 - Desenvolvimento do Estudo**



Instituto de Pesquisas Hidráulicas  
IPH/UFRGS

**SOPSH- SECRETARIA DAS OBRAS  
PÚBLICAS, SANEAMENTO E  
HABITAÇÃO-RS.**

**CRH- CONSELHO DE RECURSOS  
HÍDRICOS E SANEAMENTO-RS.**

**DRH- DEPARTAMENTO DE  
RECURSOS HÍDRICOS E  
SANEAMENTO-RS.**

**FRH- FUNDO DE INVESTIMENTOS EM  
RECURSOS HÍDRICOS-RS.**

**SB/ CLM - SEÇÃO BRASILEIRA DA COMISSÃO  
MISTA BRASIL-URUGUAI PARA O  
DESENVOLVIMENTO DA BACIA DA LAGOA MIRIM**

# **Estudo para Avaliação e Gerenciamento da Disponibilidade Hídrica da Bacia da Lagoa Mirim.**

**INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul**

**Julho, 1998.**

## APRESENTAÇÃO

O Estado do Rio Grande do Sul, através da Secretaria das Obras Públicas, Saneamento e Habitação e seu Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento, da Comissão Lagoa Mirim (CLM) e da Divisão de Hidrografia do Ministério dos Transportes e Obras Públicas do Uruguai, com recursos do Fundo de Investimentos em Recursos Hídricos e aprovação do Conselho de Recursos Hídricos, formalizou um convênio com o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para desenvolver estudos que permitam conhecer o balanço hídrico das bacias e lagoas que drenam para a Lagoa Mirim.

O balanço hídrico envolve a avaliação da disponibilidade hídrica, a demanda de água e as relações hidrológicas hidráulicas que condicionam o comportamento e uso dos recursos hídricos desta região do Estado.

Este trabalho originou um banco de dados que contém as séries climatológicas, de evaporação e precipitação, e fluviométricas, de níveis e vazões, utilizadas. Para a maioria das estações hidrometeorológicas, as séries se compõem de dados diários. O banco de dados é apresentado em forma digital, no formato do aplicativo Excel do Windows e encontra-se em anexo a este relatório.

## **AGRADECIMENTOS**

À Divisão de Hidrografia do Ministério dos Transportes e Obras Públicas do Uruguai que forneceu os dados hidrológicos e características físicas das bacias em território uruguaio.

À Agência da Lagoa Mirim Regional Pelotas-RS que forneceu as informações disponíveis sobre os sistema hídrico, principalmente da parte brasileira do mesmo.

À Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, através da Companhia Pesquisa e Recursos Minerais - CPRM, pelo fornecimento de dados hidrológicos.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
Instituto de Pesquisas Hidráulicas

**Equipe do Projeto**

Coordenação	Lawson F.S. Beltrame - Coordenador Geral Carlos E. M. Tucci - Coordenador Adjunto
Hidrologia	Carlos E. M. Tucci <sup>01</sup> , Eraly Alves Silva, Andréa O. Germano, Adolfo O. N. Villanueva, E. Mário Mendiando
Engenharia de Água e Solo	Lawson F. S. Beltrame <sup>02</sup> , Marcelo de Almeida Bastos, José A. S. Louzada, Marcos I. Leão <sup>1</sup> , Alfonso Risso <sup>03</sup>
Hidrometria	César D. de Castro, César Alves, Pedro Vany S. Silva e José Carlos R. Nunes
Estagiários	Elessandro F. Santos, João Ilton R. Oliveira, André Mito, Paulo Araújo, Sheila P. F. Costa
Colaboradores de outras instituições	Eng <sup>os</sup> Luis Loureiro (Diretor), Alfredo Marusich, Daniel Costa - Divisão de Hidrografia/MTOP Uruguai.

**Direção do Instituto de Pesquisas Hidráulicas  
Gestão 1997 - 2000**

Diretor  
Vice-Diretor

Raul Dorfman  
Hélio F. Saraiva

**Estudo para Avaliação e Gerenciamento da Disponibilidade Hídrica da Bacia da Lagoa Mirim.** Organizado por Lawson F. S. Beltrame e Carlos E. M. Tucci. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS, Estado do Rio Grande do Sul, Secretaria das Obras Públicas, Saneamento e Habitação, Conselho de Recursos Hídricos, Fundo de Investimentos em Recursos Hídricos, Seção Brasileira da Comissão Mista Brasil-Uruguai para o Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim. 1998.

1. Lagoa Mirim 2. Disponibilidade Hídrica

# SUMÁRIO

	Página
<b>Volume 1</b>	
<b>SUMÁRIO EXECUTIVO</b>	<b>i</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<i>Lawson F. S. Beltrame, Carlos E. M. Tucci, Eraly A. Silva</i>	
1.1 Gerenciamento da Lagoa Mirim	1
1.2 Estudos Anteriores	3
1.3 Justificativas e objetivos do estudo	4
<b>2. BACIA DA LAGOA MIRIM</b>	<b>5</b>
<i>Lawson F. Beltrame, Eraly A. Silva, Marcos I. Leão, Carlos E. M. Tucci</i>	
2.1 Localização e Descrição	5
2.2 Climatologia	6
2.3 Geologia da Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim	7
2.3.1 Geologia da Bacia da Lagoa Mirim no Lado do Brasil	7
2.3.2 Geologia da Bacia da Lagoa Mirim no Lado do Uruguai	14
2.4 Pedologia	20
2.4.1 Descrição das Unidades de Mapeamento e Taxonômicas	21
2.4.2 Capacidade de Uso e Uso Atual dos Solos	28
<b>3. AS LAGOAS MIRIM E MANGUEIRA E O CANAL SÃO GONÇALO</b>	<b>31</b>
<i>Eraly A. Silva, Eduardo M. Menciondo, José C. R. Nunes, Cesar D. de Castro, César Alves, Pedro Vany S. Silva</i>	
3.1 Descrição	31
3.2 Levantamento Batimétrico	31
3.2.1 Perfis Batimétricos	32
3.2.2 Caracterização Planialtimétrica	32
3.3 Curvas Características	35
<b>4. DADOS HIDROCLIMATOLÓGICOS</b>	<b>40</b>
<i>Eraly A. Silva, Andréa O. Germano, Carlos E. M. Tucci, Alfonso Risso</i>	
4.1 Histórico da rede hidrométrica	40
4.2 Climatologia	41
4.2.1 Dados Obtidos para o Estudo Presente	41
4.3 Fluviometria	42
4.3.1 Dados Obtidos para o Estudo Presente	42
4.3.2 Avaliação dos Dados Fluviométricos	44
4.3.3 Análise de Representatividade Temporal/Espacial	51
4.4 Banco de Dados	53

<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DAS BACIAS CONTRIBUENTES</b>	<b>55</b>
<i>Eraly A. Silva, Andréa O. Germano, Marcos I. Leão</i>	
5.1 Séries de Precipitação	55
5.2 Séries de Evaporação	61
5.3 Séries Fluviométricas	61
5.3.1 Estrutura Metodológica	61
5.3.2 Simulação Hidrológica	62
5.4 Séries de Vazões Afluentes à Lagoa Mirim	71
5.5 Funções Hidrológicas	78
5.5.1 Curvas de Permanência	78
5.5.2 Curvas de Regularização	83
5.5.3 Curvas de Probabilidades de Vazões Mínimas	86
5.6 Águas subterrâneas na bacia da lagoa Mirim	90
<b>6. BALANÇO HÍDRICO DO SISTEMA DO TAIM</b>	<b>95</b>
<i>Adolfo O. N. Villanueva, Carlos E. M. Tucci, José A. S. Louzada, Eduardo M. Mediondo</i>	
6.1 Características do Sistema do Taim	95
6.2 Demanda agrícola	98
6.3 Condicionantes Ambientais	98
6.4 Sistema hidrológico	99
6.5 Sistema Hidráulico	101
6.6 Simulação do Sistema	101
6.6.1 Caracterização do Modelo e Sistema	103
6.6.2 Cenários de Análise	104
6.6.3 Resultados	106
6.7 Avaliação e Conclusão	110
<b>7. BALANÇO HÍDRICO DA LAGOA MIRIM</b>	<b>111</b>
<i>Adolfo O. N. Villanueva, Eraly A. Silva, Carlos E. M. Tucci, José A. S. Louzada</i>	
7.1 Metodologia de Análise	111
7.2 Características Hidráulicas do Sistema da lagoa Mirim	111
7.2.1 Circulação da Água no Sistema	111
7.2.2 Vazões Afluentes Através do Canal São Gonçalo	112
7.3 Demandas de Água na Bacia da lagoa Mirim	113
7.4 Simulação do Sistema	115
7.4.1 Características do Modelo	115
7.4.2 Ajuste do modelo	116
7.4.3 Cenários de Análise	116
7.5 Análise da Simulação dos Cenários	119
7.6 Conclusões da Simulação dos Cenários	125
<b>8. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>127</b>



# SUMÁRIO

## Página

### Volume 2

#### ANEXOS

Anexo A- Resumos dos Estudos Anteriores	A1
Anexo B- Especificações Técnicas para o Levantamento Batimétrico	A19
Anexo C- Pontos do Levantamento Batimétrico com Correções dos Níveis	A21
Anexo D- Avaliação dos Postos Fluviométricos	A26
Anexo E- Método de Dupla Massa nas Estações Pluviométricas	A31
Anexo F- Séries de Precipitação Mensal nas Sub-Bacias	A48
Anexo G- Modelo Hidrológico IPHMEN	A66
Anexo H- Aplicação do Modelo IPHMEN- Ilustrações	A73
Anexo I- Séries de Descarga Mensal nas Sub-Bacias	A104
Anexo J- Curvas de Permanência- Figuras	A124
Anexo K- Curvas de Permanência- Tabelas	A131
Anexo L- Curvas de Regularização- Figuras	A136
Anexo M- Curvas de Regularização- Tabelas	A143
Anexo N- Curvas de Probabilidades de Vazões Mínimas	A156
Anexo O- Séries de Vazões Mensais Afluentes à Lagoa Mirim	A166
Anexo P- Vazões e Volumes Demandados nas Sub-Bacias	A183

### Volume 3 - Anexo Q

## SUMÁRIO EXECUTIVO

A Lagoa Mirim é um dos principais sistemas naturais existentes no Rio Grande do Sul. O desenvolvimento da região é baseado fundamentalmente na disponibilidade de recursos hídricos e a sua interação com as demandas, existentes e de futuros cenários previstos. O principal recurso hídrico desta região, a Lagoa Mirim, é compartilhada com o Uruguai, desta forma envolve uma Gestão dos Recursos Hídricos baseada na administração do Estado, Federação e na estratégia do Brasil neste contexto.

Os condicionantes ambientais regionais envolvem a conservação da estação ecológica do Taim, administrada pelo IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente, que está sujeita a ações antrópicas, já que na sua bacia hidrográfica existe uma grande retirada de água para irrigação.

Este estudo é voltado fundamentalmente para uma avaliação global dos condicionantes de disponibilidade e demanda de recursos hídricos nesta região. O estudo foi contratado pelo estado do Rio Grande do Sul. Especificamente os objetivos são os seguintes:

- *Caracterização do comportamento da Lagoa Mirim e do sistema do Taim*
- *Estabelecer o balanço hídrico da Lagoa Mirim através da avaliação da sua disponibilidade hídrica, face as demandas de água existentes na região.*

### **Caracterização da Lagoa Mirim e sua bacia**

O sistema hídrico formado pela Lagoa Mirim, sua bacia contribuinte e sua ligação com a Lagoa dos Patos e o Oceano Atlântico tem características singulares tanto ambientais como sócio- econômica. A bacia da Lagoa Mirim é de 57.092 km<sup>2</sup> compartilhada entre Brasil (49%) e Uruguai (51%). A área de aportes à lagoa propriamente dita, até o início do canal São Gonçalo é de aproximadamente 43.000 km<sup>2</sup>, sem incluir a área do espelho de água. A diferença entre este último valor e o de 57.092 km<sup>2</sup> esta dada pela inclusão da área do espelho de água, das áreas que aportam ao canal São Gonçalo e de toda a faixa entre a BR 471 e o mar.

A parte brasileira da bacia está dentro do estado do Rio Grande do Sul, representando cerca de 10% da área do estado.

Na figura 1 pode-se observar que a Lagoa funciona como um Lago interno, tendo maior contribuição (e área) na sua margem esquerda, onde é grande a ocupação e uso dos recursos hídricos. Na faixa entre o Oceano e a Lagoa existe um sistema ambiental denominado *Taim* onde foi instituída uma Estação Ecológica com o mesmo nome (ESEC Taim). A área total desse sistema é de aproximadamente 2.800 km<sup>2</sup>, dos quais a ESEC Taim ocupa 340 km<sup>2</sup>. Nesta região existem várias lagoas interligadas por pequenos canais e superfícies inundáveis caracterizando um sistema de terras úmidas (*wetlands*).

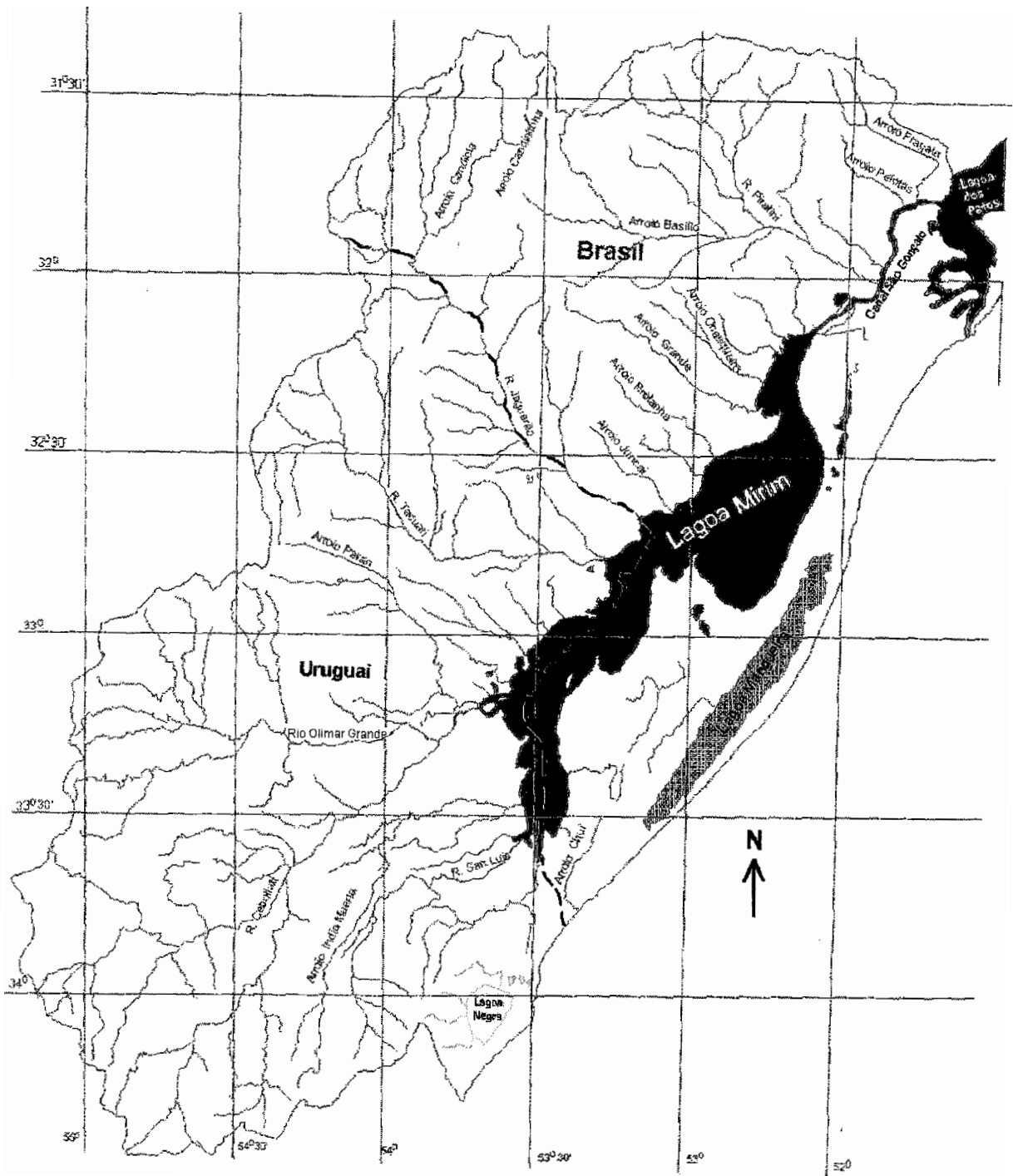


Figura 1 A lagoa Mirim e a sua bacia hidrográfica

No sistema natural da Lagoa Mirim, a principal ação antrópica nos dois países são as plantações de arroz irrigado, que têm uma alta demanda de água nos períodos de baixa precipitação. Desta forma, as lagoas existentes na bacia são utilizadas como reservatórios naturais de regularização. O canal de São Gonçalo (figura 1) possui um sistema de comportas, construído para evitar a salinização da Lagoa Mirim, mas que tem muito pouco efeito sobre a regularização da Lagoa.

A sustentabilidade hídrica da Lagoa Mirim é obtida por precipitações que variam entre 1.100 a 1.450 mm (de Sul para Norte). A evaporação média é da ordem de

1.000 mm. A vazão específica varia de 12 l/s.km<sup>2</sup> (378 mm) a 20 l/s.km<sup>2</sup> (630 mm) , no sentido de Sul a Norte. Desta forma, o coeficiente de escoamento varia entre 0,38 e 0,47.

A lagoa Mirim tem uma superfície da ordem de 3.500 km<sup>2</sup>, variando de 3.381 a 3863 km<sup>2</sup> entre as cotas 0 e 1,85 m (sobre o nível do mar). O volume no qual a lagoa pode flutuar em função das condições hidrológicas e saída no canal de São Gonçalo é de 12,4 . 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>. Sendo a vazão média de afluência de 787 m<sup>3</sup>/s, este volume se renova a cada 205 dias aproximadamente (tempo de residência).

A sazonalidade hidrológica da bacia pode ser observada na variabilidade das precipitações médias sobre a bacia, na afluência média mensal, apresentados na figura 2. A evaporação é caracterizada pela temperatura, com valores mais altos no verão. Os trimestre com menos chuvas é de outubro a dezembro, e o de menor afluência é de dezembro a fevereiro. A defasagem entre os dois é causada pela influencia da evaporação. A variabilidade ao longo do ano não é muito alta. A relação entre o mês com mais chuva e o mais seco é 1,7, enquanto que entre as vazões afluentes respectivas é de 3,5, diferença também causada pela evaporação.

Pode-se observar destes elementos que a Lagoa Mirim representa um reservatório de regularização interanual e as suas condições críticas de nível baixo são resultado de uma sequência de anos secos.

Na figura 2 também são apresentados os níveis médios mensais da Lagoa Mirim. Pode-se observar que o trimestre com níveis mais baixos é de março a maio, em parte por causa da irrigação. Estes valores foram obtidos de uma séries compostas de valores simulados e observados de 1965 a 1995, representando 31 anos. Na figura 3 são apresentados os valores anuais de precipitação, vazão e níveis adimensionalizados com relação a sua média. Os valores menores indicam anos mais secos da série. Da mesma, pode-se verificar que o período de 1968 a 1976 foi o mais crítico, principalmente pela duração, e em 1989 - 1990 aconteceu uma seca muito forte, mais pontual. Utilizando os dados de um posto com a série mais longa disponível na região, verificou-se que uma situação ainda mais grave que a de 1968 - 1976 aconteceu na década de '40.

## **Sistema do Taim**

O sistema de Taim tem um significado especial nesta região devido a preservação da Estação Ecológica do Taim e a grande pressão antrópica do uso de água para irrigação na região.

O sistema Hidrológico Mangueira-Taim é apresentado na figura 5. O sistema é composto de um conjunto de pequenas Lagoas no Norte e a Lagoa Mangueira ao Sul. O mesmo tem um fluxo regional em grande parte formado por lagoas e banhados nos quais predominam os processo de amortecimento. A jusante o sistema é delimitado pela BR-471, com apenas uma saída por extravasores. Em resumo, os sistemas internos são os seguintes:

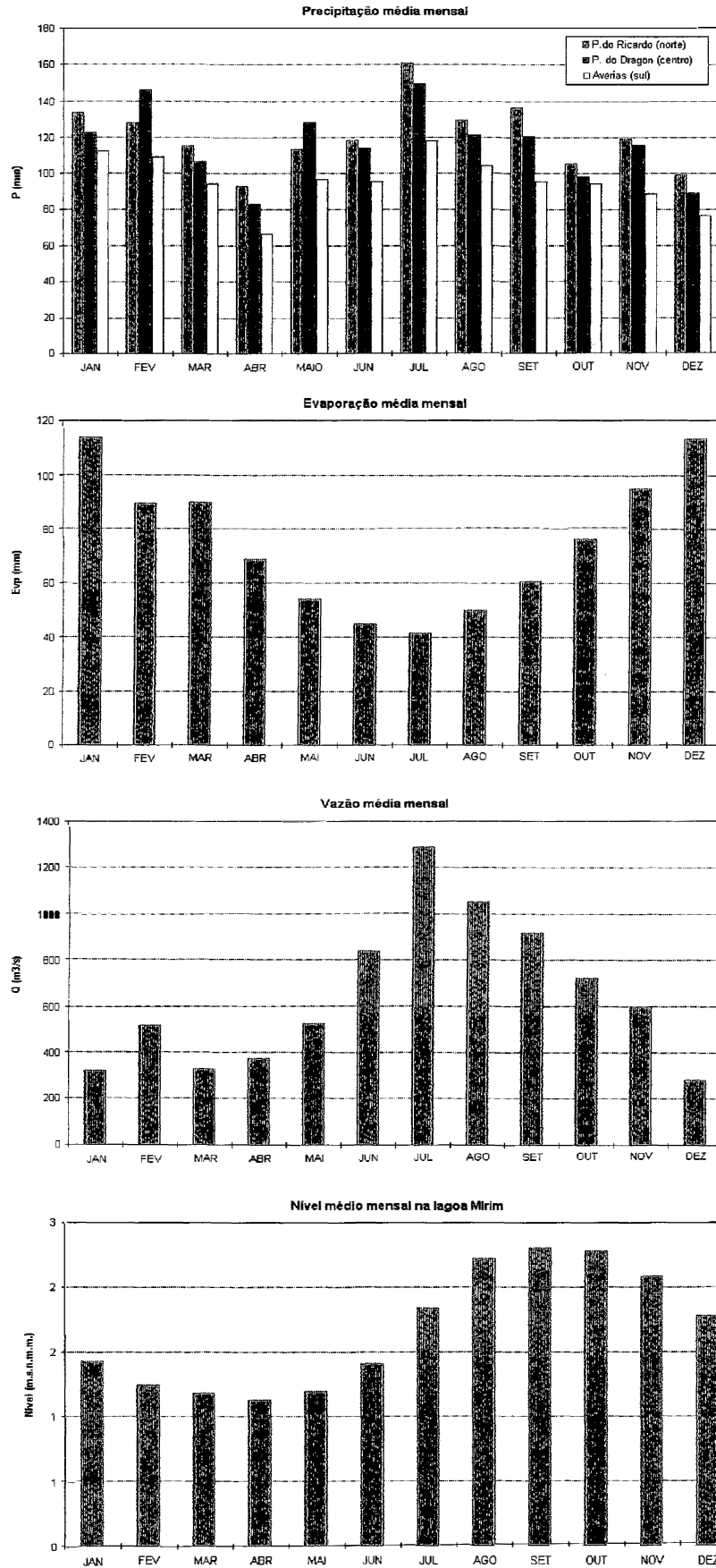


Figura 2 Médias mensais de precipitação, evaporação, vazão afluente e níveis na lagoa Mirim

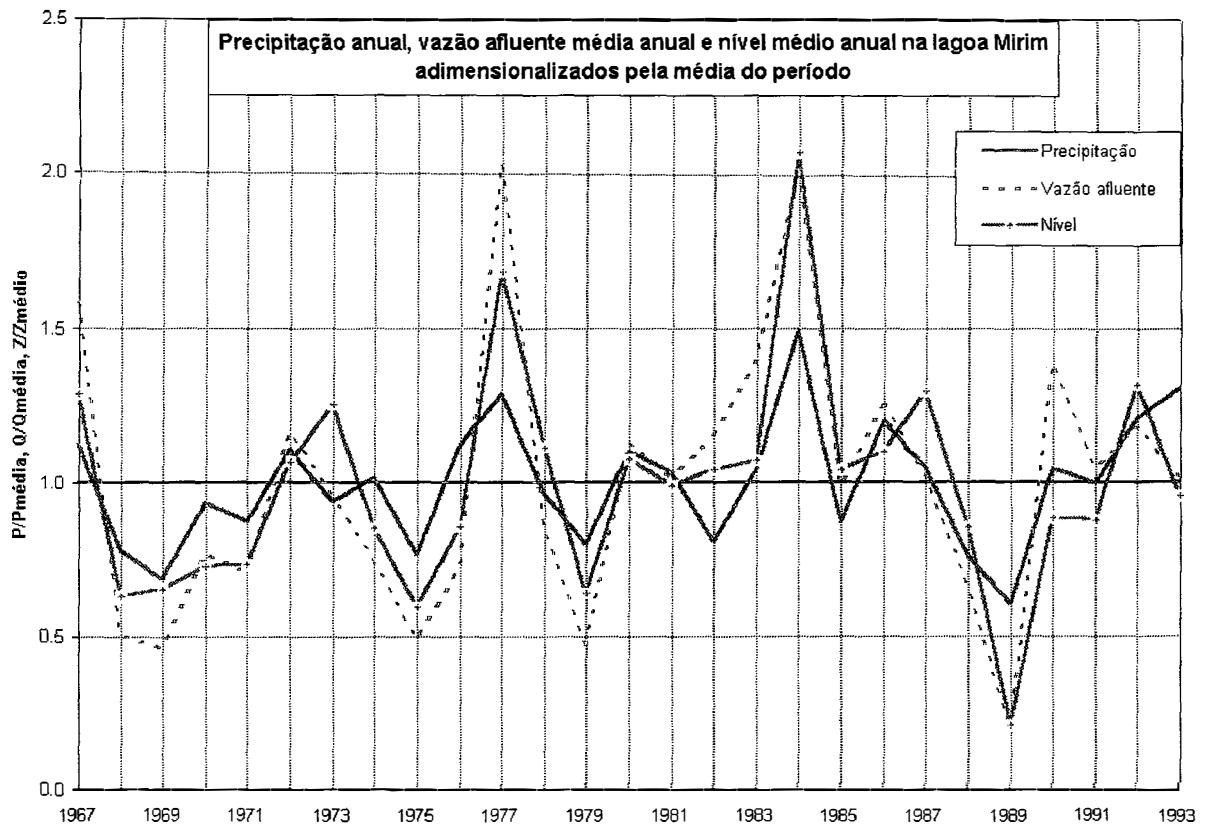


Figura 3 Precipitação anual, vazão afluente e nível médio anual adimensionalizados pelas médias no período.

**Lagoa Mangueira:** Esta lagoa tem uma superfície líquida de cerca de 800 km<sup>2</sup> e uma bacia de contribuição da mesma ordem de grandeza. As saídas da Lagoa são por evaporação, demanda de irrigação e para o banhado do Taim. O sentido geral do escoamento é na direção do Taim e deste para a Lagoa Mirim em função os níveis de água.

**Banhado do Taim:** A ligação do Taim com a Lagoa Mirim é realizado através de um canal que é interrompido pelo aterro da rodovia BR-471. Neste aterro existem dois sistemas de galerias submersas, em níveis diferentes. O sistema foi originalmente projetado para drenar a área, no entanto como não existem mais as comportas do sistema, este funciona sem operação e depende dos níveis do Taim e da Mirim. Nos anos em que a Lagoa Mirim está com cotas muito altas poderá ocorrer fluxo no sentido do Taim, mas é raro. Atualmente o sistema tem tábuas obstruindo a passagem, buscando manter os níveis do Taim altos para evitar o risco de que o banhado fique muito seco.

**Sistema Norte:** composto pelas lagoas Caiubá, Flores e banhado do Marisco. Este sistema atualmente contribui com pouco volume em direção à Lagoa Mirim, devido a à retirada de água para irrigação e o fechamento periódico dos canais de saída pelos irrigantes. Seu funcionamento se resume na precipitação direta sobre a lagoa e a bacia, escoamento da bacia em direção às lagoas, as quais armazenam a água, que é evaporada, retirada para irrigação e nas enchentes escoam em parte na direção do Taim.

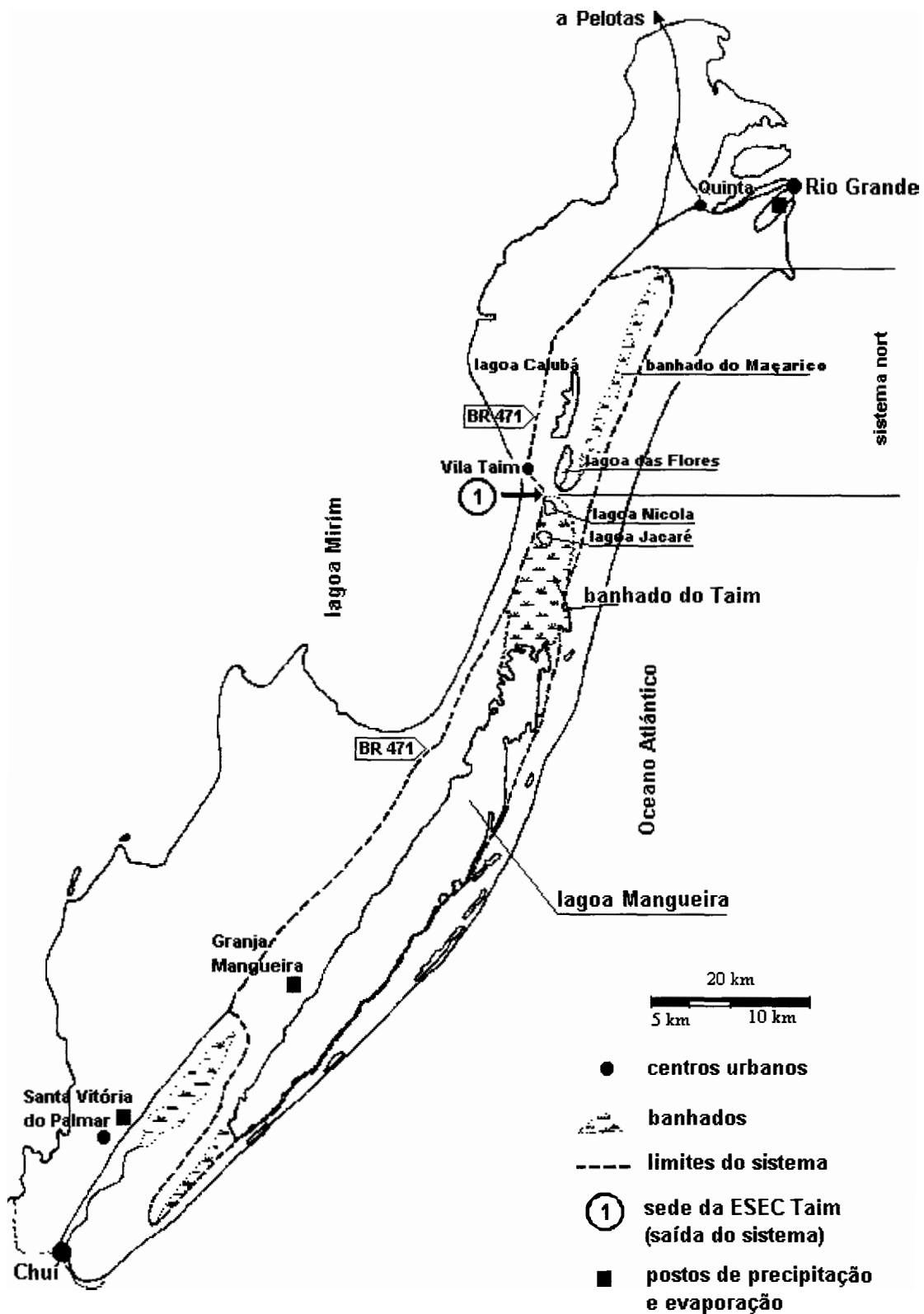


Figura 5 Sistema hidrológico Mangueira - Taim.

O principal impacto ambiental incidente na região quanto a recursos hídricos é a orizicultura, que afeta o balanço hídrico regional. A irrigação de arroz envolve o período de outubro a março, sendo que o uso mais intenso de irrigação ocorre à partir de dezembro. Estes meses usualmente são também os de menor precipitação e maior evaporação, portanto, o efeito conjunto desses fatores provoca uma diminuição dos níveis das lagoas que potencialmente pode impactar a fauna e flora local. Além disso, também podem ocorrer alterações na qualidade das águas devido ao aporte de nutrientes e produtos fitosanitários. O incremento na extração de água para as culturas de arroz nos últimos anos tem sido menor, em função de uma maior atividade de fiscalização pelo IBAMA quanto a retirada de água, e pela estabilização da área cultivada.

Os estudos (IPH, 1996) mostraram que o nível do banhado deve flutuar, tendo como referência as bordas das lagoas internas (Nícola e Jacaré). Ao longo do tempo essas lagoas têm flutuado naturalmente em torno desse nível, sazonalmente e entre seqüência de anos secos e úmidos. A manutenção de níveis de água permanente altos produziria os seguintes efeitos: (i) transformar o meio ambiente terrestre em aquático, alterando as condições anteriores; (ii) prejudicar o uso do solo pela população na vizinhança dos lagos e canais; (iii) garantir volumes para períodos críticos.

Como se observa existem interesses conflitantes na definição do nível do banhado. Para irrigação, a saída fechada melhora a disponibilidade de água, retendo volumes que escoariam para a Lagoa Mirim. Para a conservação ambiental é necessário que ocorra a flutuação natural dos níveis, evitando-se a manutenção permanente de níveis muito altos.

Os cenários simulados analisaram diferentes combinações dos fatores que influenciam o Taim e sobre os quais é possível agir, que são os seguintes: (i) a estrutura de saída do banhado para a Lagoa Mirim; e (ii) a retirada de água para irrigação.

Para preservar as características biológicas do banhado do Taim é necessário manter os níveis adequados e permitir que os mesmos oscilem, reproduzindo o hidroperíodo que constitui a *assinatura* do banhado. Isto impede que seja adotada uma solução de fechamento total das saídas do mesmo e impõem a necessidade de controlar as retiradas de água para irrigação, para evitar níveis muito baixos durante períodos prolongados.

As simulações dos cenários com irrigação sem restrições mostrou que o sistema não tem condições de suportar a extração do volume atualmente demandado para irrigação. Se esta extração de água não for limitada, seja pela imposição de limites ao volume extraído ou por diminuição da demanda, o sistema sofrerá sérios danos, e as alterações deles decorrentes poderão se tornar permanentes, acabando com o ecossistema como o conhecemos.

A combinação adequada de uma nova estrutura de saída do Taim e uma regra limitando a extração de água para irrigação permite conservar o sistema. Com a combinação recomendada nenhuma das "partes" envolvidas consegue sua situação ideal, que seria volume livre para irrigação e níveis históricos na Mangueira e no



Taim, além do hidroperíodo no banhado. No entanto, a situação resultante (níveis um pouco mais baixos na Mangueira, um pouco mais altos no Taim, e diminuição de 25 % no volume extraído para irrigação), não é crítica para nenhuma das “partes”, o que permite compatibilizar o uso dos recursos com a conservação do sistema.

O impacto da limitação à extração de água da lagoa Mangueira pode ser resolvido através do uso da água da lagoa Mirim, de forma complementar. Essa alternativa foi contemplada na formulação de cenários para o balanço da lagoa Mirim, cujos resultados mostraram que a lagoa Mirim tem condições de fornecer os volumes necessários para complementar a irrigação na área atualmente servida pela lagoa Mangueira.

## **Demanda Hídrica**

Na bacia da lagoa Mirim são identificados usos da água em atividades econômicas diversas, como a agricultura, a indústria e abastecimento humano. Dentre estas, a atividade que demanda maior quantidade de água é a irrigação do arroz.

Segundo a Divisão de Recursos Hídricos da Direção Nacional de Hidrografia do Uruguai, em várias bacias hidrográficas deste país têm sido limitada a extração de água para irrigação devido à escassa disponibilidade em épocas de estiagem, incapaz de satisfazer à demanda. São citadas neste caso as bacias do rio Tacuarembó e a bacia da lagoa Mirim, na região que cobre os departamentos de Cerro Largo, Treinta y Tres e Rocha.

Na zona uruguaia da bacia, com base nos dados das safras de 1994 e 1995, fornecidos pelo Inventário Nacional do Aproveitamento dos Recursos Hídricos, do total de 102 pontos de usuários de água cadastrados, contemplando os três usos da água, o maior número de pontos foi para a irrigação com 95 pontos, seguido dos pontos para abastecimento industrial, 1 ponto, e para abastecimento público, 6 pontos. A demanda hídrica para irrigação corresponde a 107.963 l/s e equivale a 99,78% da demanda total na zona uruguaia. Para o abastecimento público, a demanda é de 218 l/s (0,20% do total) e para o abastecimento industrial, esta corresponde a 15 l/s (0,02%). Observou-se que, do total de 56.273 ha irrigados por retiradas diretas de água, as sub-bacias ali conhecidas como da lagoa e do rio Cebollati representam 40,22%.

Na parte brasileira da bacia, do total de 556 pontos de usuários de água cadastrados, contemplando três usos - irrigação, abastecimento público e abastecimento industrial - o maior número de pontos foi também para a irrigação, com 256 pontos de extração direta do rio e 159 de barragens/açudes. A demanda hídrica para irrigação corresponde a 315.454 l/s e equivale a 97,52% da demanda total na zona brasileira. Para o abastecimento público, a demanda é de 5.672,06 l/s (1,75% do total) (Magna Eng., 1997, pg. 116) e para o abastecimento industrial, esta corresponde a 2.354,91 l/s (0,73%).

As informações levantadas mostram que o maior número de pontos se concentra na região que corresponde à margem leste da lagoa Mirim e do canal São

Gonçalo (125 pontos), seguida da sub-bacia do Rio Jaguarão (margem esquerda) com 118 pontos e da região da lagoa Mangueira e faixa litorânea com 102 pontos cadastrados. Em termos de área, do total de 151.558 ha irrigadas, as regiões das margens da lagoa Mirim e da lagoa Mangueira e faixa litorânea correspondem a 50% da área irrigada total da zona brasileira da bacia da lagoa Mirim. Dos 56.273 ha irrigados por retiradas diretas de água, as sub-bacias da lagoa Mirim e do rio Cebollati representam 40,22%.

A extração de água para irrigação é feita de duas maneiras: i) extraído diretamente da lagoa ou dos cursos durante o período de irrigação, e ii) acumulando água em açudes ou reservatórios durante o inverno, e depois extraído deles durante o período de irrigação. O primeiro caso é simples de considerar, já que a distribuição no tempo das retiradas é bem definida, acontece entre dezembro e março, fora alguns casos de plantio de variedades precoces ou tardias. Neste trabalho, considerou-se que toda a demanda direta é retirada nos meses de dezembro a março, assumindo que nos meses de dezembro e março se irriga durante metade do mês, e em janeiro e fevereiro durante o mês todo, de maneira a completar 100 dias de irrigação.

O caso da irrigação a partir de açudes ou reservatórios é mais complicado, já que, embora a irrigação seja igual ao caso anterior, a forma em que a água é retirada dos cursos pode variar de ano para ano, e entre açudes. Dado que é impossível conhecer as diferentes políticas de acumulação e uso de água dos açudes e reservatórios, foi adotada a seguinte distribuição para a extração de água dos rios e arroios:

1. metade do volume necessário para irrigação é extraído dos cursos de água entre abril e novembro, com valores iguais para todos os meses, e acumulado nos açudes para uso no período de irrigação; e
2. a outra metade é extraída dos cursos de água durante o período de irrigação (dezembro a março).

## **Simulação do Balanço Hídrico**

**Modelo:** O modelo utilizado para o balanço baseia-se na equação da continuidade de volumes, que depende do seguinte:

- vazões afluentes a Lagoa Mirim, incluindo o canal de São Gonçalo;
- a saída através do canal de São Gonçalo;
- retirada de água para irrigação e outras demandas e;
- evaporação e precipitação sobre a lagoa.

A série de vazões afluentes foi determinada com base nos dados disponíveis utilizando a seguinte metodologia: (i) ajuste de um modelo hidrológico mensal, denominado de IPHMEN aos dados de vazão e precipitação disponíveis em alguns postos da região (17 postos); (ii) extensão das séries de vazão para estes postos com base em série de precipitação de 1965 a 1995; (iii) extrapolação das séries geradas para as sub-bacias sem dados; (iv) somatório das vazões mensais de entrada, deter-

minando a série afluenta a Lagoa para o período citado.

A única saída de água da lagoa Mirim é através do canal São Gonçalo, que é um canal natural de aproximadamente 76 km de comprimento entre ela e a lagoa dos Patos. O sentido mais comum de escoamento é da Mirim para a lagoa dos Patos, que, no entanto, pode se reverter quando a lagoa Mirim está muito baixa. Para evitar o risco de salinização da Mirim nestas situações, no final da década do 70 foi construído, no extremo do canal próximo à lagoa dos Patos, um conjunto de comportas e uma eclusa, conhecidos como “Barragem-eclusa do canal São Gonçalo”. A palavra “barragem” não é uma descrição adequada do funcionamento da estrutura, cujas comportas não tem condições de suportar desníveis entre montante e jusante maiores que 0,50 m, que em termos operativos se reduzem a 0,35 - 0,45 m. Isto significa que a estrutura não serve para reter água na lagoa Mirim em épocas secas, a diferença do que a expressão “barragem” poderia fazer pensar. De fato, em geral a estrutura simplesmente deixa passar a água que vem da lagoa Mirim, e quando há risco de inversão de fluxo (Patos  $\Rightarrow$  Mirim) as comportas são fechadas. Segundo os operadores, quando o nível na lagoa Mirim cai por baixo de  $\sim 0,50$  m, a operação do sistema de comportas é feita de maneira a dificultar a saída de água, mas as características da estrutura impedem que este efeito seja importante.

O resultado do exposto anteriormente é que a “barragem-eclusa” não exerce praticamente influencia sobre o balanço de volumes na lagoa Mirim para prazos maiores que uns poucos dias. Portanto, como a análise neste trabalho é feita a nível mensal, o cálculo da vazão efluente só levou em conta a “barragem-eclusa” para impedir a inversão no escoamento quando os níveis na lagoa dos Patos são maiores que os da Mirim, e como uma limitação da saída de água quando os níveis na lagoa Mirim são menores que 0,50 m.

A vazão que sai pelo canal foi calculada utilizando uma seção representativa para o cálculo da condutância hidráulica (K), e o desnível entre as lagoas Mirim e dos Patos para cálculo da declividade.

As demandas foram estimadas como citado no item anterior, enquanto que a evaporação foi obtida com base na relação cota  $\times$  área da Lagoa e na série de evaporação construída com base nos dados da região.

**Ajuste:** Para verificar a capacidade do modelo para representar o sistema, foi feita uma simulação utilizando uma série histórica de demandas para irrigação. Essa série foi estimada a partir da evolução da superfície cultivada no estado de Rio Grande do Sul, e supondo que a evolução na parte uruguaia da bacia tenha sido a mesma

A comparação entre os níveis médios observados na lagoa Mirim e os calculados pelo modelo mostrou que o modelo tem uma boa capacidade de representar o sistema da lagoa. Os resultados do ajuste foram bons, especialmente considerando as incertezas envolvidas (níveis na lagoa, vazões afluentes e efluentes, e demanda para irrigação). O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) do ajuste foi 0,89, com um erro padrão de 0,29 cm. Na figura 6 são apresentadas as curvas de permanência de níveis.

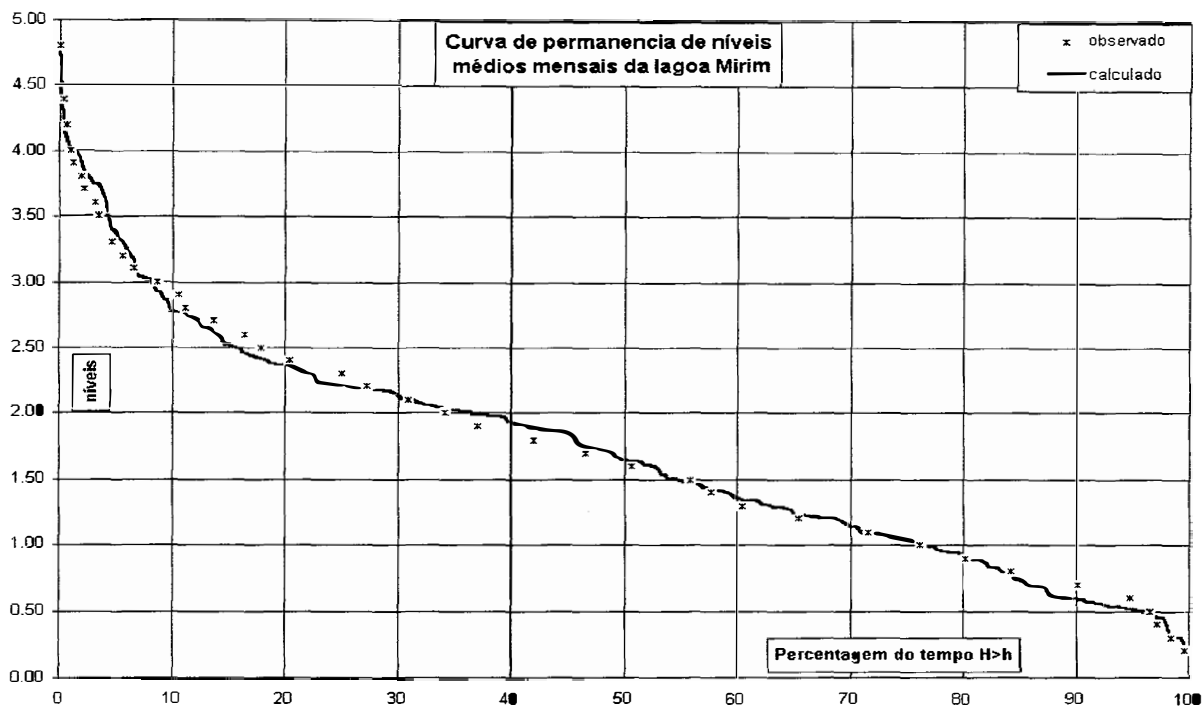


Figura 6 Curvas de permanência de níveis para a irrigação histórica.

**Cenários de Análise:** Os cenários definidos neste estudo são apresentados na tabela 1. Para a simulação dos diferentes cenários foram considerados diferentes valores de demanda, constantes ao longo de todo o período simulado. As demandas utilizadas nos cenários analisados estão maximizadas, e provavelmente as condições reais serão um pouco mais favoráveis. Por exemplo, não foi considerado o limite para a demanda representado pela localização das áreas disponíveis para cultivo, que nem sempre podem extrair água diretamente da lagoa, e estão condicionadas à vazão dos rios. No caso da demanda da lagoa Mangueira, foi considerada a transferência de toda sua demanda para a lagoa Mirim, quando só seria necessário transferir parte dela.

Além disso, as demandas foram consideradas constantes (iguais para todos os anos), sem diminuições por fatores climáticos, como a ocorrida na safra 89/90, devida à seca. Na tabela 1 estão os valores de demanda correspondentes a cada um dos cenários e a descrição.

Para estes cenários foi também analisada a possibilidade de aumentar um pouco o tempo de permanência na lagoa Mirim, restringindo ao máximo a saída de água pelas comportas do canal São Gonçalo, para níveis na lagoa Mirim iguais ou menores que 1,50 m.

**Simulação dos Cenários :** A análise das simulações dos diferentes cenários mostra que o impacto do aumento da demanda é bastante localizada nos meses de retirada de água. Na figura 7 é possível observar que três meses depois do fim da retirada o impacto se reduz à metade, e seis meses depois a diferença entre as alternativas é praticamente desprezível. Isso também é visível nas curvas de permanência, onde a maior diferença está nos níveis mais baixos (permanência > 50 %).

Tabela 1 Demandas para irrigação nos diferentes cenários

N	Cenário	Descrição	irrigação de açudes m <sup>3</sup> /s	extração direta m <sup>3</sup> /s
1	Atual (safra 96/97)	Irrigação constante no valor da safra 96/97: é a situação que aconteceria se a demanda registrada na safra 96/97 tivesse acontecido durante todo o período simulado	97,0	300,80
2	Máximo histórico	Corresponde aproximadamente a 1,3 vezes a safra de 96/97, que se considera que saturaria a área cultivável, nas condições atuais.	126,10	391,04
3	Máxima histórico + Mangueira	Este cenário foi formulado a partir da necessidade de restringir a extração de água da lagoa Mangueira, para conservar o banhado do Taim (cap. 6 deste relatório). A situação analisada foi extrema, transferindo toda a demanda existente sobre a lagoa Mangueira para a lagoa Mirim.	126,10	469,04
4	Arroz pre-germinado	Generalização da adoção de arroz pre-germinado, que poderia diminuir a necessidade de rotação de culturas, aumentando a área cultivada. Este valor foi definido como 2 vezes o valor da safra 96/97;	194,00	601,60
5	Arroz pre-germinado + Mangueira	Considera-se que é a máxima demanda esperável na região.	194,00	721,60

Isto significa que a recuperação do nível e do volume da lagoa Mirim é rápida, com pouca propagação interanual dos diferentes cenários de demanda. Isto não ocorre com a lagoa Mangueira, que nos anos mais críticos não consegue se recuperar completamente durante os meses úmidos.

Nas comparações entre cenários, a demanda da safra 96/97 (cenário 1) tem sido tomada como padrão de comparação, porque é a mais representativa da que tem acontecido durante a última década.

Na figura 8 são apresentados os níveis mensais para os cenários 1, 2 e 4. Nos resultados fica claro que a propagação interanual do efeito da demanda é pequeno, dado que a diferença entre cenários, para os meses úmidos, é praticamente nula. Já para os níveis mínimos anuais (geralmente no mês de março), a diferença entre os cenários 1 e 4 oscila entre 0,20 e 0,50 m. Em termos práticos, isto significa que neste caso extremo, o limite de níveis da lagoa Mirim desceria aproximadamente 0,30 m, e

sua média aproximadamente 0,25 m. Se a comparação é feita entre os cenários 1 e 2, a diferença fica da ordem dos 0,10 m. Na figura 9 estão as curvas de permanência para os cinco cenários simulados, e na tabela 3 os valores correspondentes.

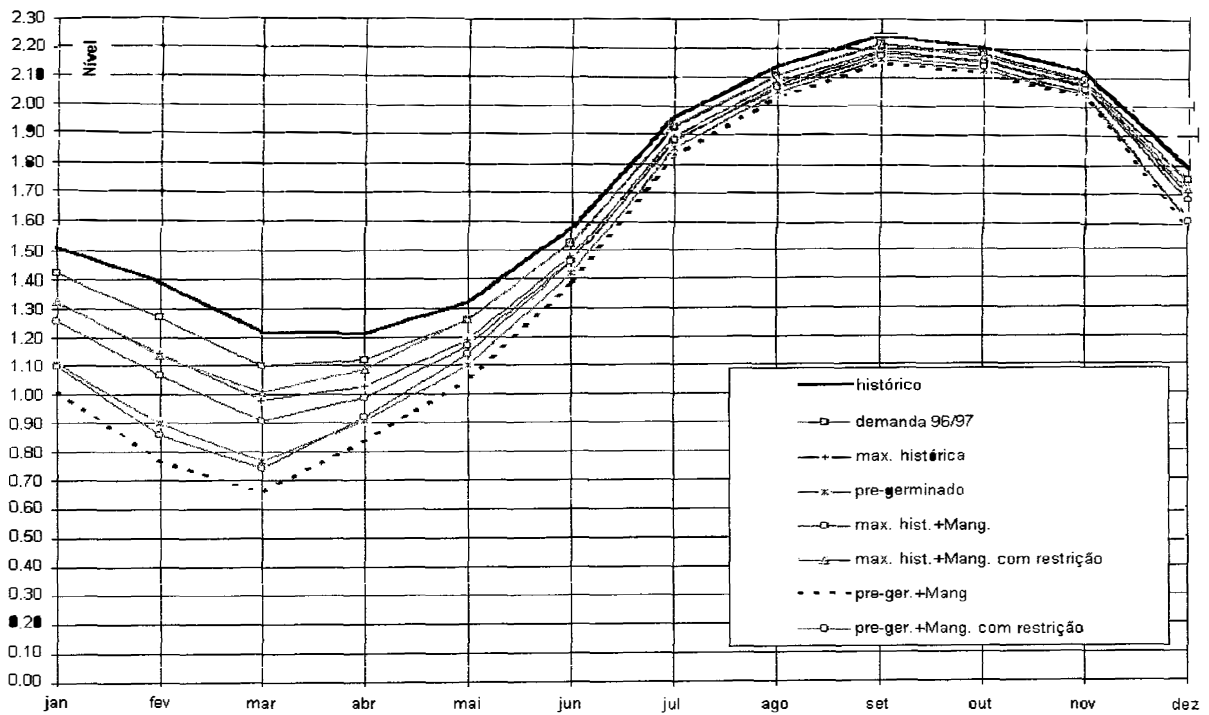


Figura 7: Nível médio de cada mês, para os cenários considerados.

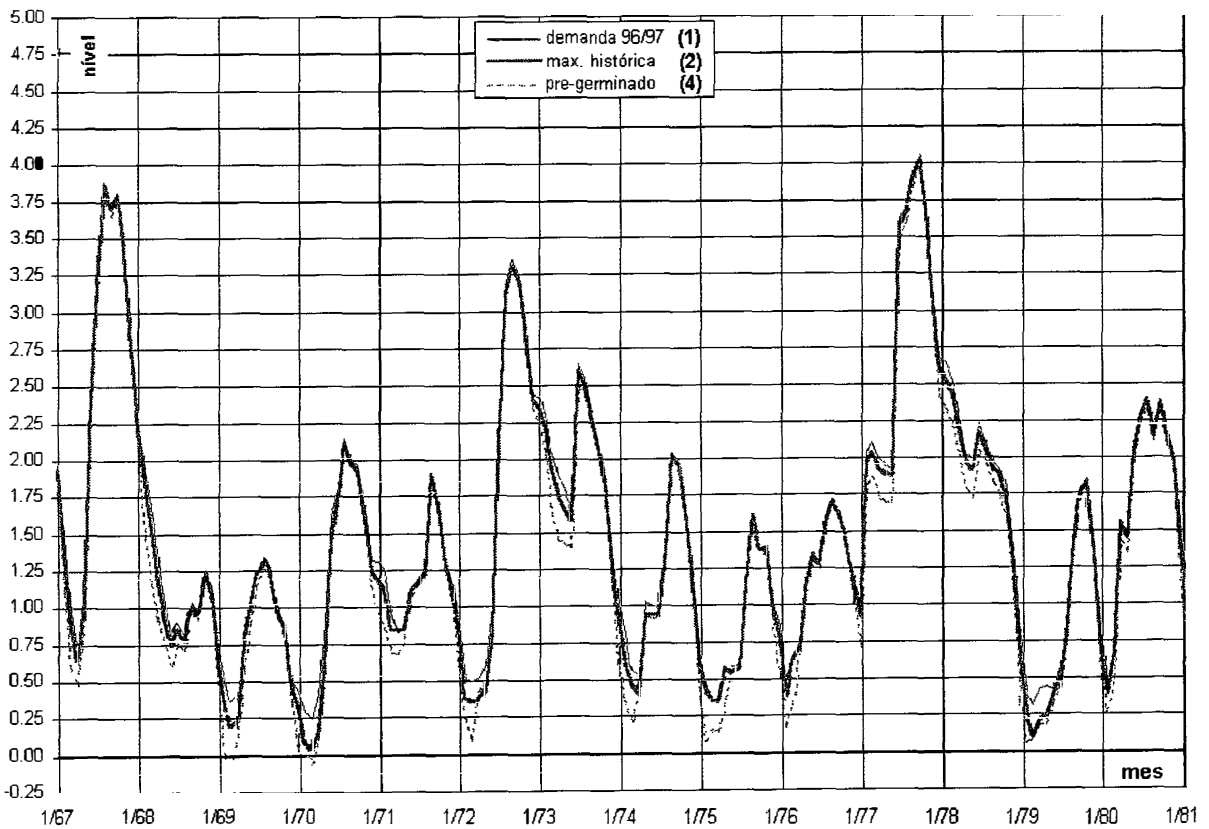


Figura 8 Níveis mensais da lagoa Mirim para os cenários 1, 2 e 4.

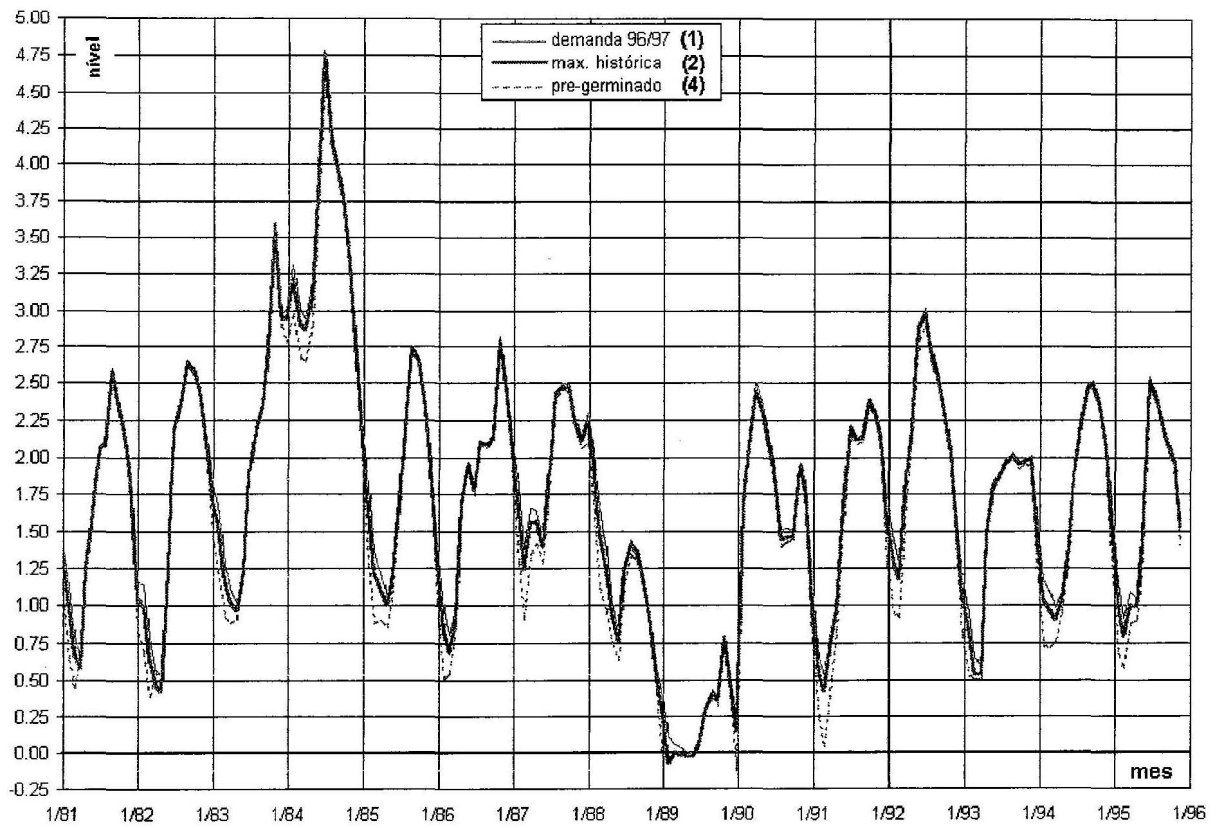


Figura 8 (cont.): Níveis mensais da lagoa Mirim para os cenários 1, 2 e 4.

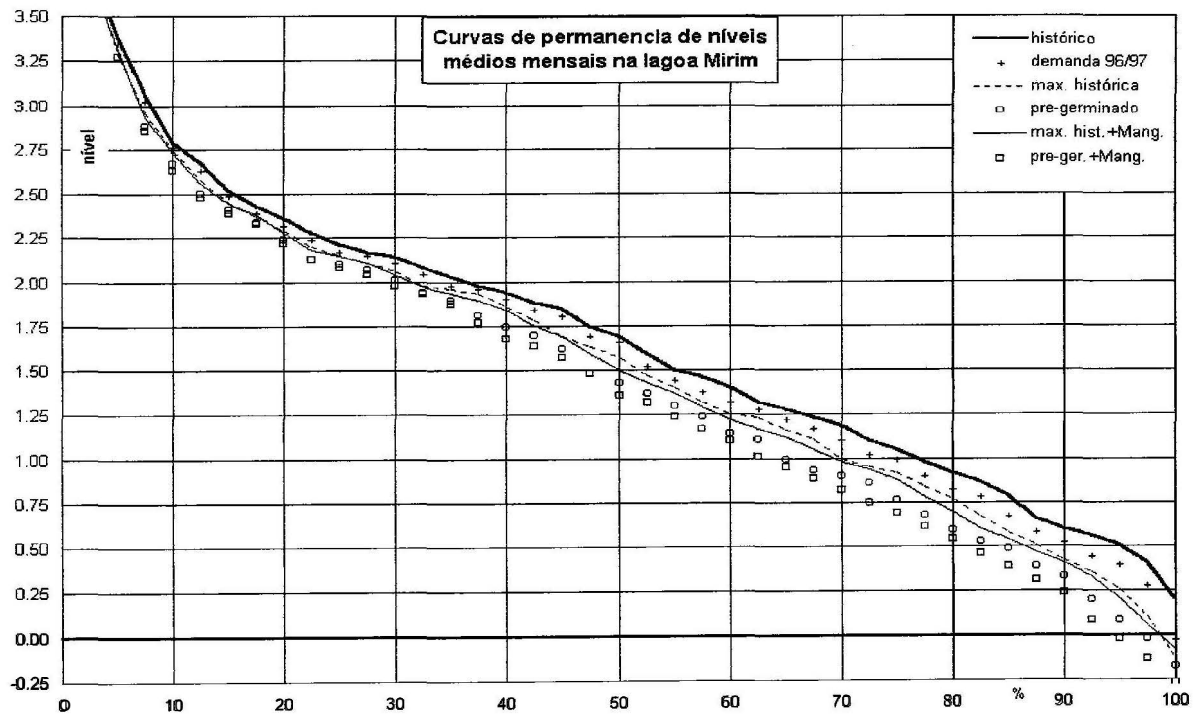


Figura 9 Curvas de permanência de níveis para os cenários simulados.

Tabela 3 Valores da curva de permanência.

Permanência %	histórico	Demanda	máxima	max.	hist.pre-germ.	pre-germ.
		96/97	histórica	+Mang.		+Mang.
		1	2	3	4	5
95	0.51	0.40	0.26	0.21	0.08	-0.02
90	0.60	0.52	0.42	0.41	0.33	0.24
85	0.79	0.67	0.58	0.54	0.49	0.39
80	0.92	0.82	0.77	0.70	0.59	0.54
75	1.05	0.99	0.92	0.88	0.76	0.69
70	1.19	1.10	0.99	0.98	0.90	0.82
65	1.28	1.22	1.16	1.12	0.99	0.95
60	1.40	1.32	1.25	1.22	1.14	1.10
55	1.50	1.44	1.40	1.37	1.30	1.24
50	1.69	1.66	1.57	1.50	1.43	1.36
45	1.85	1.80	1.69	1.69	1.62	1.57
40	1.94	1.90	1.86	1.84	1.74	1.68
35	2.03	1.98	1.96	1.93	1.89	1.87
30	2.14	2.11	2.06	2.04	2.01	1.98
25	2.21	2.17	2.15	2.15	2.10	2.08
20	2.36	2.32	2.29	2.28	2.24	2.22
15	2.52	2.49	2.45	2.44	2.41	2.39
10	2.79	2.76	2.74	2.73	2.67	2.63
5	3.39	3.34	3.29	3.31	3.27	3.27

Com relação ao impacto da transferência da demanda de água da lagoa Mangueira para a lagoa Mirim, para preservação do banhado do Taim, a comparação entre os cenários 2 e 3 (fig. 10), e 4 e 5 (fig. 11), mostra que o impacto seria da ordem de 0,05 a 0,10 m, nos meses de concentração da demanda. Este impacto pode ser considerado aceitável, especialmente porque, como já foi comentado, a análise foi feita considerando que toda a demanda sobre a lagoa Mangueira seria transferida para a lagoa Mirim. Isto constitui uma situação extrema, já que a recomendação é de transferência parcial. Portanto, o impacto da transferência recomendada seria ainda menor que o observado na situação simulada.

Uma situação adicional contemplada na análise foi a possibilidade de aumentar o armazenamento na lagoa Mirim durante os meses de irrigação, se fosse possível exercer um pequeno controle com as comportas da "barragem-eclusa". Na figura 11 pode-se ver o efeito desse tipo de operação para a alternativa do arroz pre-germinado, e na figura 12 e na tabela 4 o mesmo efeito analisado nas curvas de permanência. Como esperado, o ganho obtido seria pequeno, da ordem de 0,10 m. No entanto, esse ganho de armazenamento compensaria o efeito da transferência de demanda da Mangueira para a Mirim



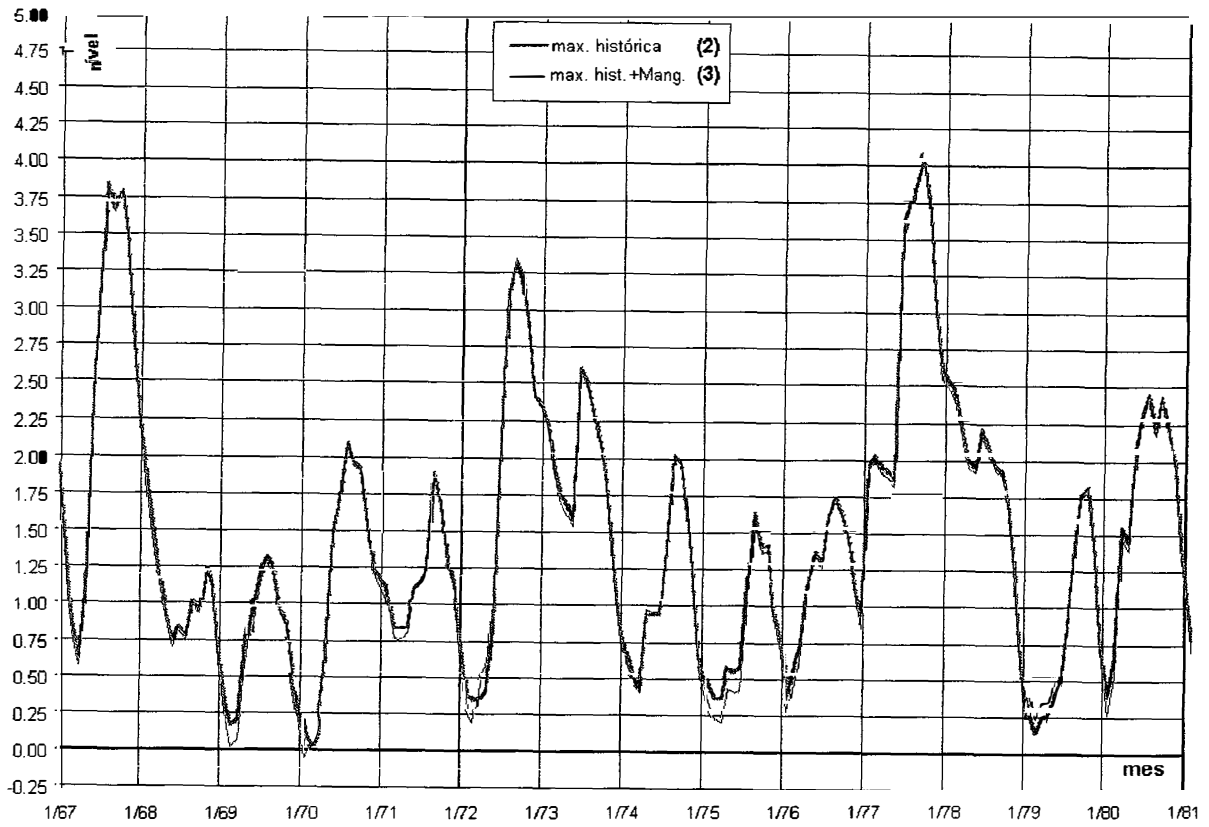


Figura 10: Efeito da transferencia da demanda da lagoa Mangueira.

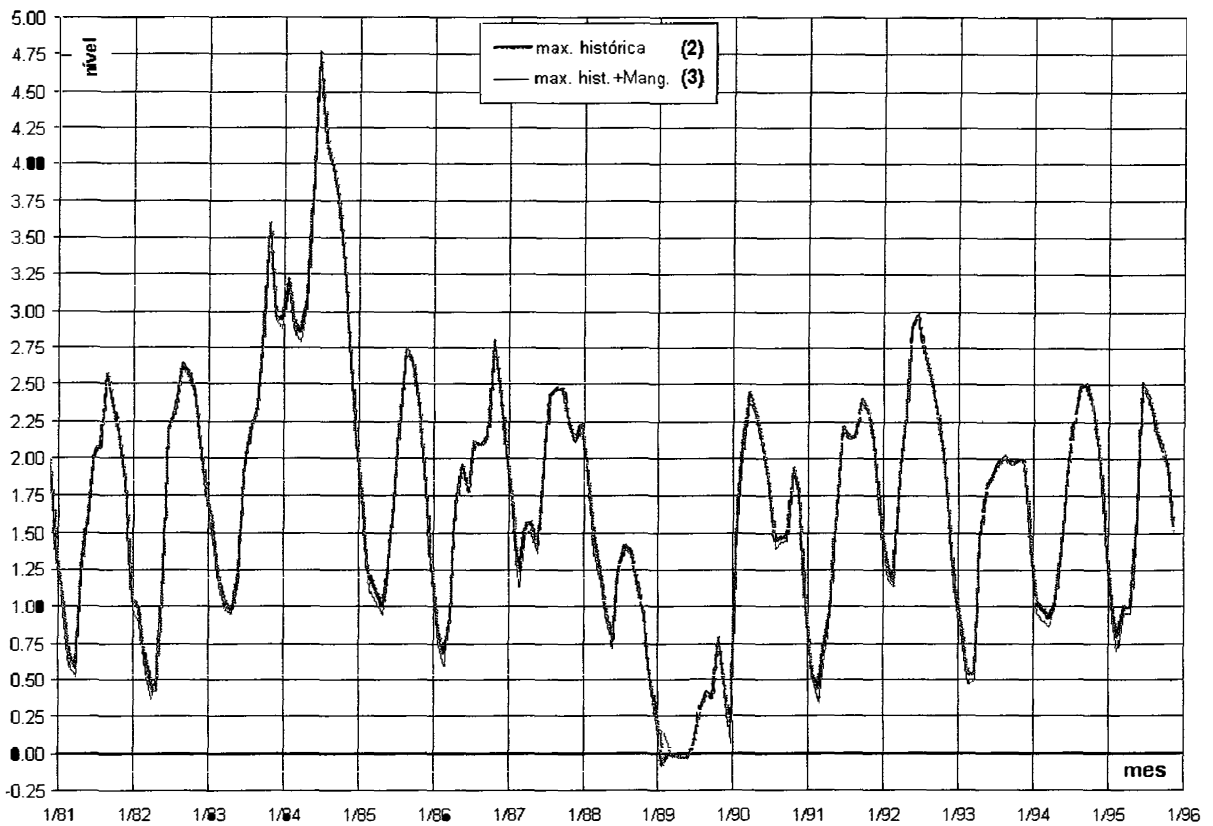


Figura 10 (cont.): Efeito da transferencia da demanda da lagoa Mangueira.

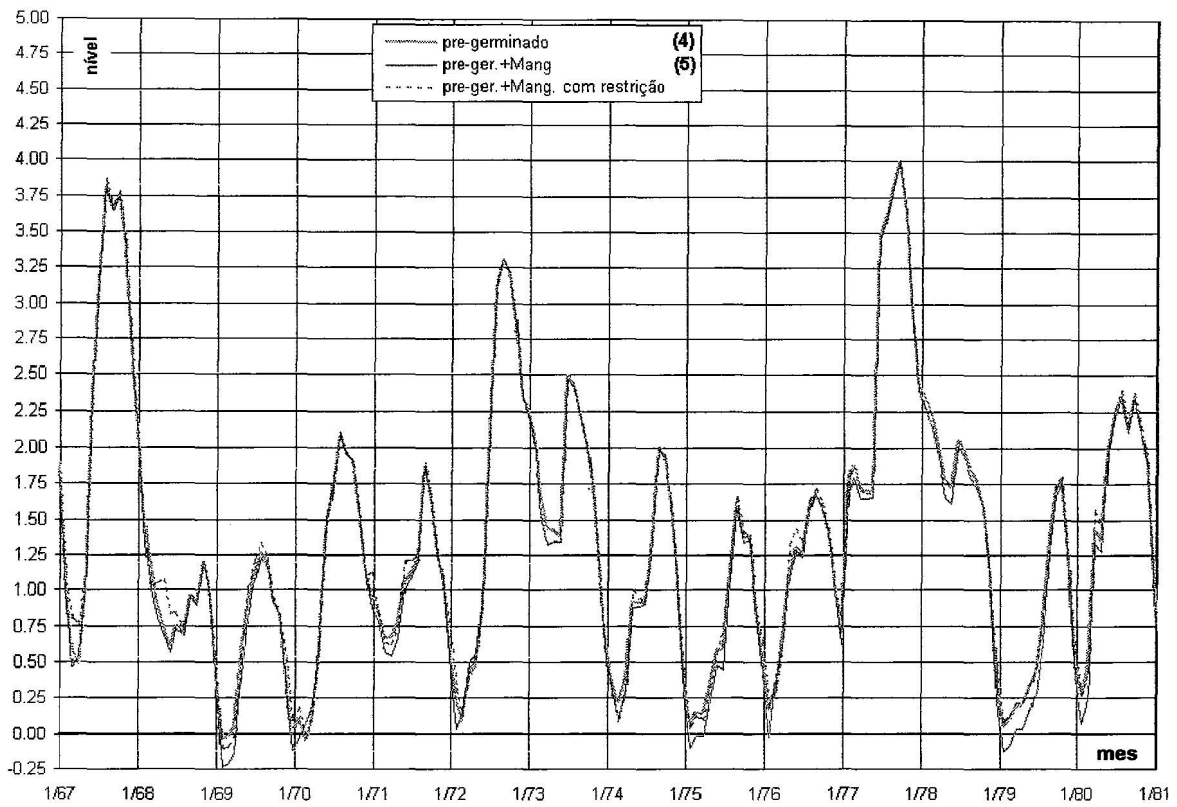


Figura 11: Efeito de restringir a saída de água pelas comportas.

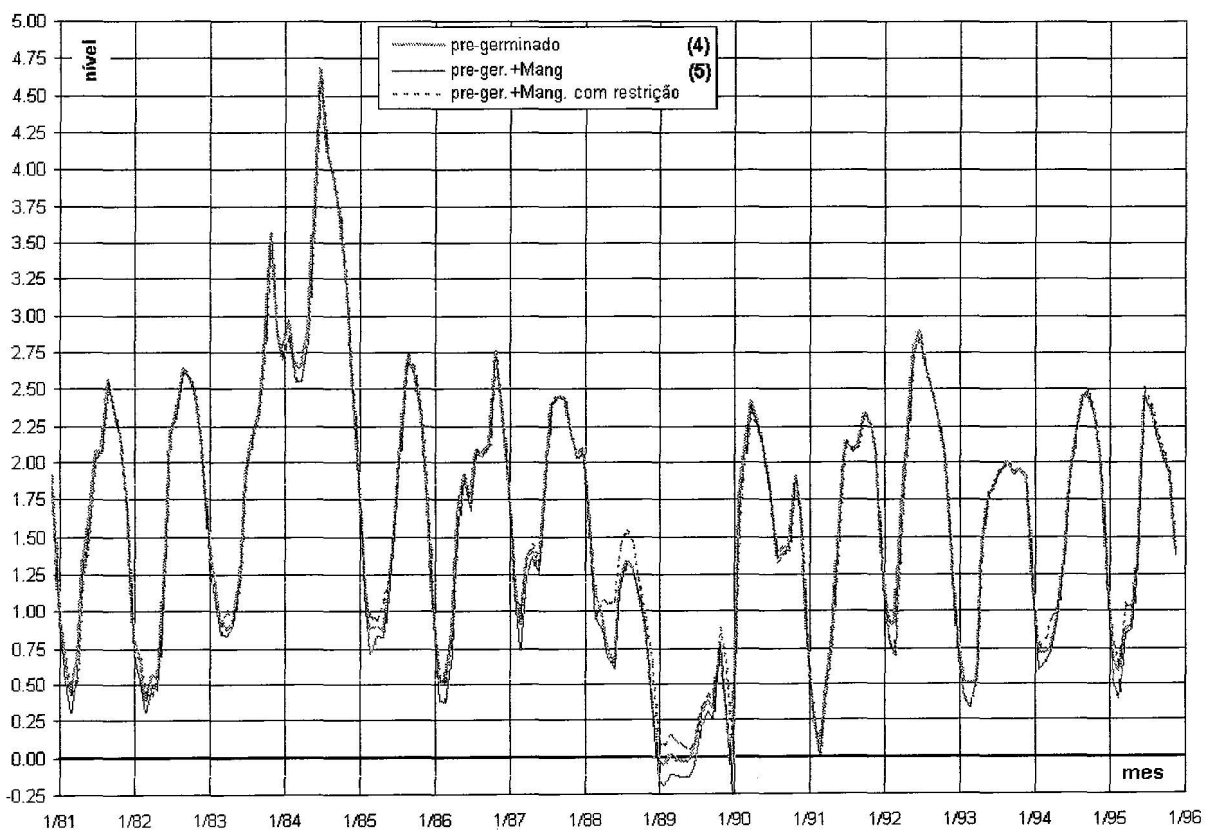


Figura 11 (cont.): Efeito de restringir a saída de água pelas comportas.

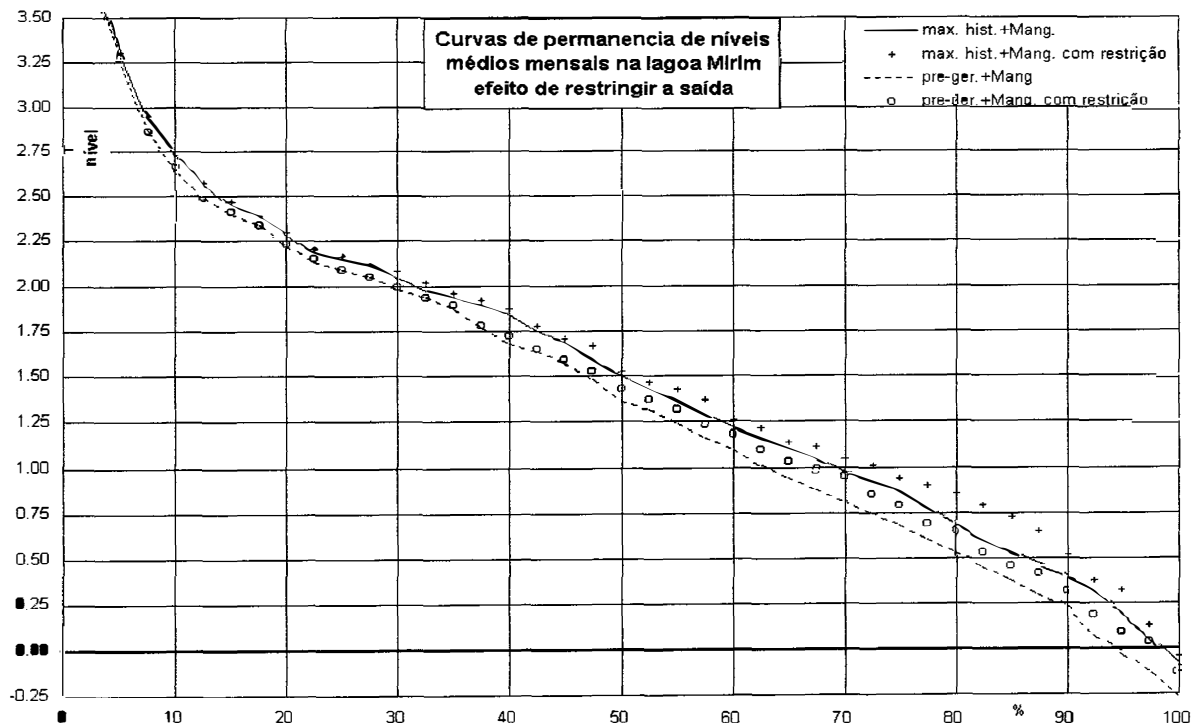


Figura 12 Curvas de permanência com operação mais restritiva nas comportas.

Tabela 4 Curvas de permanência com operação mais restritiva nas comportas

Permanência %	max. hist. +Mang.	max. hist. +Mang. Restrição	Max. hist. pre-germ. +Mang.	Max. hist. pre-germ. +Mang. restrição
95	0.26	0.21	0.34	0.08
90	0.42	0.41	0.52	0.33
85	0.58	0.54	0.73	0.49
80	0.77	0.70	0.86	0.59
75	0.92	0.88	0.95	0.76
70	0.99	0.98	1.05	0.90
65	1.16	1.12	1.15	0.99
60	1.25	1.22	1.26	1.14
55	1.40	1.37	1.43	1.30
50	1.57	1.50	1.53	1.43
45	1.69	1.69	1.71	1.62
40	1.86	1.84	1.87	1.74
35	1.96	1.93	1.96	1.89
30	2.06	2.04	2.08	2.01
25	2.15	2.15	2.16	2.10
20	2.29	2.28	2.30	2.24
15	2.45	2.44	2.46	2.41
10	2.74	2.73	2.73	2.67
5	3.29	3.31	3.30	3.27

A figura 13 mostra o efeito da demanda total (extração direta + açudes) sobre os níveis das curvas de permanência. Cabe lembrar que o impacto da demanda dos açudes é menor, porque parte dela se distribui ao longo do ano. Como já foi comentado, o efeito ocorre principalmente para os níveis correspondentes a permanências de 50 % ou maiores (menores níveis). A maior diminuição de níveis é da ordem de 0,25 m, e aconteceria no caso em que a demanda fosse maior do que o dobro do valor atual. No entanto, analisando os valores médios de cada mês, e as séries completas de valores mensais, é possível ver que existem impactos, geralmente no meses de fevereiro e março, que excedem esses valores, chegando a 0,50 m em casos extremos.

A diminuição dessa magnitude nos níveis poderia afetar alguns ecossistemas tipo wetland (banhados), existentes nas margens da lagoa Mirim. Caso seja planejado aumentar a demanda muito além da máxima histórica (~550 m<sup>3</sup>/s), medidas para a conservação destes ecossistemas deveriam ser estudadas. Outro aspecto a ser levado em conta é o aumento de carga poluente que poderia ser provocado pelo aumento de área cultivada e/ou pela mudanças nas tecnologias utilizadas na lavoura.

Com relação ao problema da preservação do banhado do Taim, as simulações mostram que a transferência da demanda da lagoa Mangueira para a Mirim não tem um impacto significativo sobre esta última, e eventualmente poderia ser compensada operando as comportas do canal São Gonçalo, segundo regras orientadas a maximizar a retenção de água na lagoa Mirim.

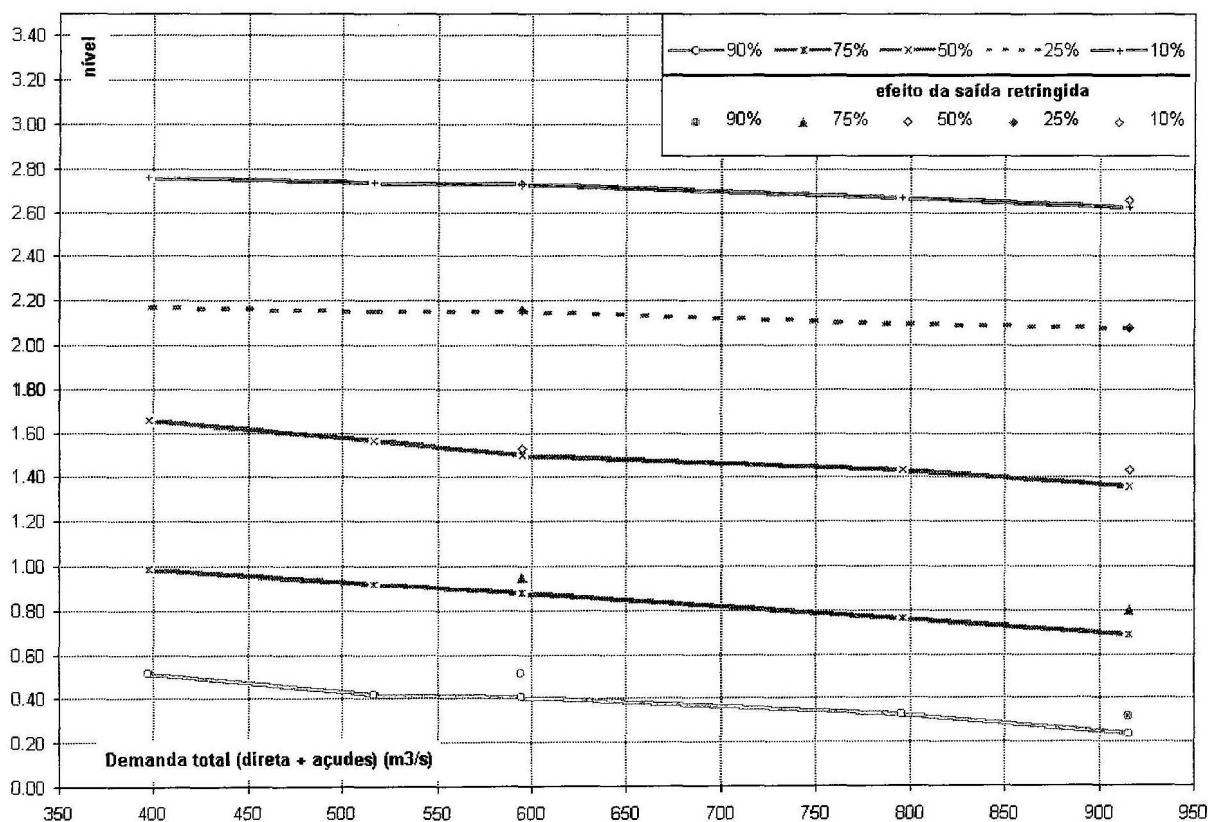


Figura 13 Efeito da demanda sobre os níveis da curva de permanência.

## **Conclusões e recomendações**

O sistema formado pela lagoa Mirim e sua bacia de contribuição apresenta características de regularização natural de grandes volumes de água, o que gera uma alta sustentabilidade quanto ao uso dos recursos hídricos. Pelo fato de ter uma grande área de contribuição, a recuperação anual da lagoa é rápida, o que reduz o impacto dos aumentos na demanda.

Os cenários analisados mostram que o aumento da extração de água para irrigação poderá reduzir o nível médio da lagoa em 0,30 m, chegando essa redução até 0,53 m nos períodos de estiagem, ou seja entre dezembro e abril. Considerando que a região adjacente à lagoa Mirim é muito plana, essa mudança nos níveis resultaria em alterações importantes quanto às áreas inundadas ciclicamente pela lagoa, com um forte potencial de impacto ambiental, especialmente nos banhados ribeirinhos.

Este estudo buscou analisar de maneira global o balanço dos processos envolvidos. As principais recomendações quanto a estudos complementares, necessários para o adequado gerenciamento do sistema são:

- 1- Avaliação do impacto do uso da água nas sub-bacias, analisando o problema de forma distribuída espacialmente;
- 2- Avaliação do impacto ambiental dos cenários simulados neste estudo;
- 3- Recuperar o monitoramento hidrológico da bacia e da lagoa, e atualizar a rede. Isto é fundamental para um sistema eficiente de gerenciamento;
- 4- Avaliação distribuída da disponibilidade hídrica em cada sub-bacia, com base nos dados atuais e nos que seriam coletados com a nova rede de monitoramento;
- 5- Avaliar o uso potencial da “barragem-eclusa” do canal São Gonçalo, modificando suas características hidráulicas (o que, eventualmente, implicaria numa nova estrutura), para melhorar a retenção de água nos períodos de estiagem;
- 6- Analisar as possibilidades de crescimento futuro da demanda, em função das expectativas de desenvolvimento regional;
- 7- Avaliar o balanço para um período mais extenso, visando especialmente incluir a década do '40, considerada a mais seca deste século no estado.

# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 Gerenciamento da lagoa Mirim**

A lagoa Mirim é um dos principais corpos de água do Estado do Rio Grande do Sul, no Brasil, e do Uruguai. Os dois países compartilham não só a própria lagoa como também as bacias hidrográficas que contribuem para a mesma.

No passado, Brasil e Uruguai firmaram um acordo para o desenvolvimento conjunto de estudos e ações na lagoa Mirim, onde foram desenvolvidos vários estudos, compilados neste relatório, visando a avaliação do comportamento do sistema.

A área total da bacia da lagoa Mirim é de aproximadamente 57092 km<sup>2</sup>, cerca de 20% da área do Rio Grande do Sul, sendo que deste total 51% se encontra em território uruguaio. Como pode-se observar na figura 1.1, a lagoa funciona como um lago interno, comunicando-se com a lagoa dos Patos próximo ao Oceano, através do canal de São Gonçalo que, juntamente com a lagoa Mangueira, que se encontra totalmente em território nacional, são os grandes mananciais reguladores de água da região.

Esta capacidade regularização tem permitido o uso intensivo da água, principalmente para a irrigação de arroz por inundação, um dos usos com maior consumo. A vantagem da região, que permite este tipo de consumo, é que o balanço hídrico de longo prazo é fortemente positivo. Este balanço, associado à capacidade natural de regulação, tem permitido uma importante concentração de produção de arroz. No entanto, como em todo sistema natural, aqui também existem limites, seja na retirada da água como na manutenção de condições adequadas à preservação ambiental.

Dentro deste contexto, deve-se destacar a existência da estação ecológica do Taim, que fica a jusante da lagoa Mangueira e a montante da lagoa Mirim, na faixa litorânea entre a Mirim e o mar. Este sistema tem características ambientais que devem ser preservadas dentro do gerenciamento regional dos recursos hídricos.

O gerenciamento de um sistema como o da lagoa Mirim envolve vários aspectos, onde se destacam os seguintes:

- Institucionais;
- Sistemas de informações e o real entendimento do funcionamento do sistema hídrico;
- Avaliação das ações antrópicas quanto à ocupação e utilização dos recursos naturais como a água;
- Conservação ambiental;
- Planejamento e operação futura do sistema

Este estudo se insere dentro da visão de criar uma base de conhecimento adequado do sistema hídrico, avaliando o seguinte:

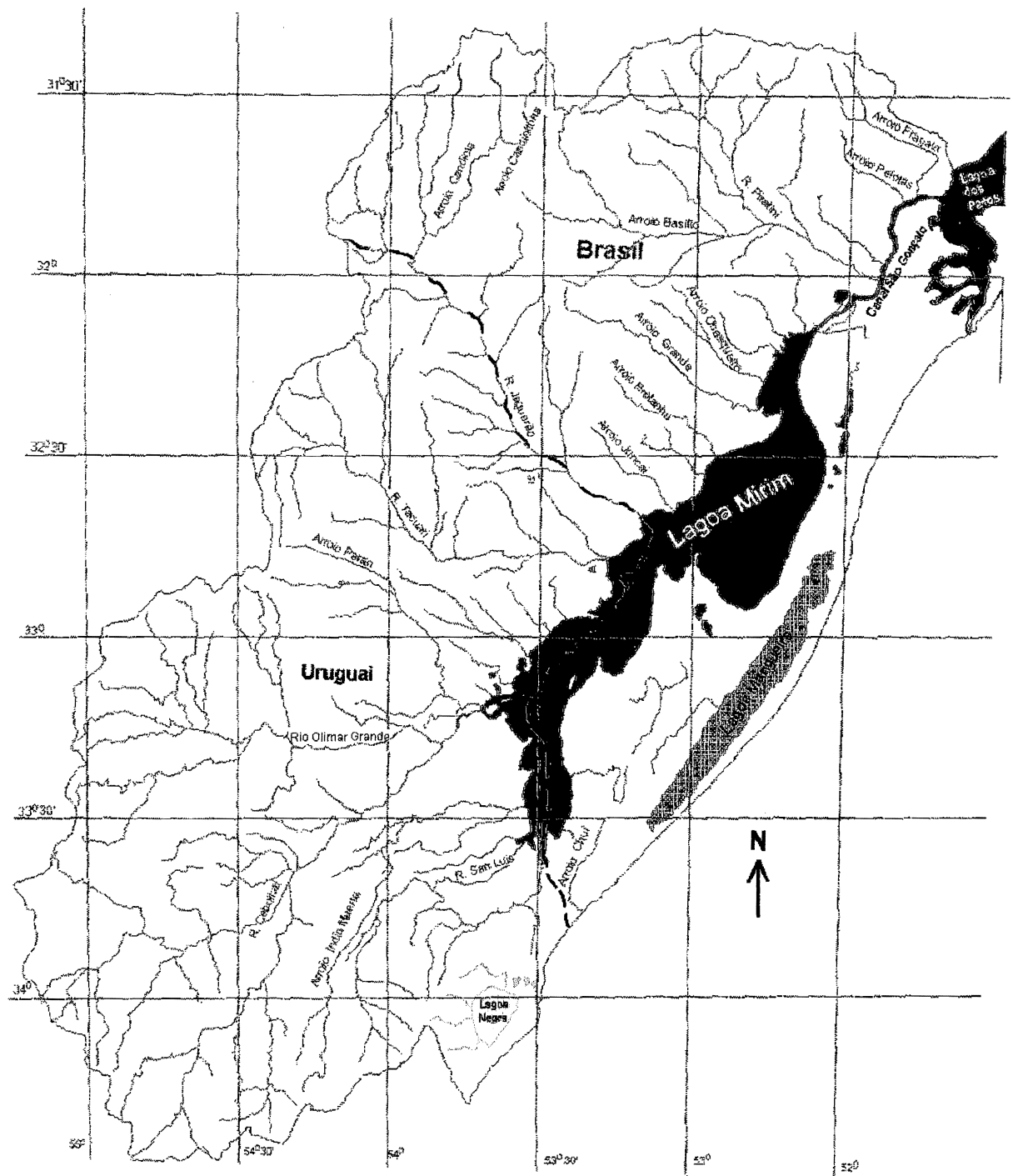


Figura 1.1 Localização da lagoa Mirim e a sua bacia hidrográfica

- **Demanda;**
- **Disponibilidade de água;**
- **Funcionamento do sistema;**
- **Cenários dos impactos do uso dos recursos hídricos.**

Estes elementos são **fundamentais** para o adequado gerenciamento do sistema da lagoa Mirim, dentro da visão de recursos hídricos compartilhados pelas duas nações envolvidas.

## **1.2 Estudos anteriores**

A grande maioria dos estudos anteriormente elaborados na bacia da lagoa Mirim foram desenvolvidos pela UNDP/FAO/CLM, até o ano de 1970, no Projeto Regional da lagoa Mirim, que elaborou publicações técnicas que aludem à **interdisciplinaridade** dos estudos do projeto.

As pesquisas realizadas na bacia podem ser divididas em três partes:

### 1- Hidrologia básica

- Descrição geral das características da bacia;
- Resumo da climatologia;
- Precipitação;
- Evaporação e estudos associados;
- Níveis;
- Descargas;
- Águas subterrâneas;
- Qualidade de água.

### 2- Engenharia hidrológica

- Escoamento em barragens;
- Estudos de operação de reservatórios.

### 3- Estudos na lagoa Mirim

- Correção dos níveis da lagoa Mirim para alguns Datum;
- Estimativa de níveis na lagoa para o período de 1911 a 1968;
- Análise da variação da capacidade do lago;
- Efeitos do vento na lagoa;
- Defluxo pelo canal São Gonçalo;
- Balanço hídrico da lagoa para o período de 1966 a 1968;
- Modelo de propagação da bacia lagoa Mirim.

Todos esses estudos foram apresentados na forma de Boletins e Notas Técnicas.



Além desses, foram identificadas publicações anteriores ao início do projeto em notas técnicas de Hidrologia em Rio Grande.

No Anexo A é apresentado a relação dos estudos divulgados pela FAO no período de janeiro de 1966 a março de 1971, catalogadas na publicação Index to Hydrological Studies (Janeiro 1966-Março 1970), com um resumo de apresentação para aqueles cuja obtenção para a elaboração do presente estudo foi possível.

### **1.3 Justificativas e Objetivos do Estudo**

Para o adequado gerenciamento dos recursos hídricos de uma bacia com um sistema hídrico como a lagoa Mirim, é necessário conhecer seu funcionamento, buscando entender suas potencialidades e fragilidades. Desta forma é possível planejar o desenvolvimento adequado, dentro de bases sustentáveis, tanto econômicas quanto sociais e ambientais.

Nesta bacia foram realizados estudos anteriores e coletados dados desde a década de 60. Neste mesmo período a economia regional passou por diferentes fases de investimentos e uso dos recursos hídricos. Com o aumento de informações hidrológicas, atualmente com cerca de 30 anos, é possível analisar a potencialidade da disponibilidade hídrica com menos incertezas.

O objetivo principal do estudo é criar elementos básicos para o gerenciamento dos recursos hídricos do sistema formado pela bacia da lagoa Mirim, e sua interação com a lagoa dos Patos, através do canal São Gonçalo.

Os elementos básicos mencionados envolvem o conhecimento das seguintes variáveis:

- Disponibilidade hídrica;
- Demanda potencial.

Os objetivos específicos são:

- Levantamento batimétrico das lagoas Mirim e Mangueira e canal São Gonçalo;
- Balanço Hídrico do sistema formado pelas lagoas Mirim e Mangueira;

## 2 BACIA DA LAGOA MIRIM

### 2.1 Localização e Descrição

A bacia da lagoa Mirim localiza-se entre o norte do Uruguai e o sul do Estado do Rio Grande do Sul, no Brasil (figura 1.1). A área de aportes à lagoa propriamente dita, até o início do canal São Gonçalo é de aproximadamente 43.000 km<sup>2</sup>, sem incluir a área do espelho de água. Considerando como parte da bacia a área do espelho de água, as áreas que aportam ao canal São Gonçalo e toda a faixa entre a BR 471 e o mar chegam-se a uma área de 57.092 km<sup>2</sup>, sendo 29.081 km<sup>2</sup> em território uruguaio e 28.010 km<sup>2</sup> em território brasileiro.

A bacia da lagoa Mirim tem uma forma alongada e irregular, com os seguintes limites:

- *Norte*: Serra do Canguçu, orientada para o Leste, servindo de divisor da bacia do Arroio Pelotas, Coxilha de Santo Antônio, Cerro da Madeira e Serra dos Correias;
- *Sul*: movimentos do sul da Coxilha Grande, na República do Uruguai;
- *Leste*: a restinga que se prolonga desde o canal de São Gonçalo, na parte norte da bacia, até a localidade de La Coronilla, na República do Uruguai, no sul da bacia;
- *Oeste*: divisor de águas formado pela Coxilha Grande, em terras uruguaias e, mais ao norte, divisor de águas constituído pela Coxilha Seca, em terras brasileiras.

O núcleo da bacia é um corpo d'água principal, com 3.673 km<sup>2</sup> de área (para o nível 1,2 m, média de longo período), chamado de lagoa Mirim. As bacias contribuem diretamente para a lagoa ou para um canal que a liga à lagoa dos Patos, denominado de canal de São Gonçalo.

O canal de São Gonçalo chega na lagoa dos Patos próximo à ligação desta com o Oceano Atlântico. Este canal tem um comprimento de 76,0 km e o escoamento é controlado por um conjunto de comportas, visando evitar a penetração do fluxo salino para a lagoa Mirim.

As principais sub-bacias que do sistema da lagoa Mirim são:

- Rio Piratini: está na margem esquerda do canal de São Gonçalo e tem uma bacia de 6.061 km<sup>2</sup>;
- Rio Jaguarão: está na margem oeste da lagoa Mirim e a bacia tem 8.731 km<sup>2</sup>. Este rio representa a divisa entre o Brasil e Uruguai no lado oeste da lagoa Mirim;
- Rio Taquari: bacia em território uruguaio, contribui na margem oeste da lagoa Mirim, com área de 4.533 km<sup>2</sup>;

- Rio Cebollati: está na parte sul da lagoa Mirim, no Uruguai, e a área da bacia é de 9.977 km<sup>2</sup>;
- Sistema Mangueira-Taim: encontra-se na margem leste da lagoa Mirim, em território brasileiro. A divisa entre Uruguai e Brasil na margem direita é o Arroio Chuí. O sistema envolve várias lagoas, onde se destaca a lagoa Mangueira, pela sua área e volume. Este sistema tem uma saída controlada por comportas junto à localidade de Taim. Dentro desta bacia contribuinte de 2000 km<sup>2</sup>, existe uma estação ecológica (banhado do Taim) que engloba uma parte menor da bacia.

A bacia contribuinte à lagoa Mirim é composta por campos gramados ondulados com alturas até 400 metros, sendo que as maiores altitudes estão na região brasileira. A vegetação é principalmente constituída de pastagens naturais com poucas árvores ou florestas, exceto ao longo das margens dos riachos e rios.

## **2.2 Climatologia**

A bacia se localiza em um centro de alta pressão sub-tropical e, conseqüentemente, experimenta muita influencia de anti-ciclones. Isto resulta em um clima caracterizado por dias claros e noites de temperaturas amenas.

Ao contrário do que ocorre nas regiões mediterrâneas de equivalentes latitudes, as massas de ar polares que penetram pelo Uruguai nos meses de verão não são bloqueadas por massas de terra que, devido à absorção de calor pela radiação solar, as enfraquecem. O resultado é que a bacia da lagoa Mirim experimenta chuvas durante todo o ano, sem possuir um período de seca definido, exceto as secas originadas do efeito sazonal das variações nas taxas de evaporação.

As passagens oscilatórias das massas de ar de origens polar e tropical originam sistemas frontais que ocorrem tanto no verão quanto no inverno. Entretanto, durante os meses de verão as precipitações convectivas são comuns.

A precipitação média anual varia em torno de 1300 mm, sendo que a ocorrência se dá ao longo de todo o ano; no entanto, os meses de novembro e dezembro tendem a ser mais secos.

A bacia situa-se na faixa subtropical e dentro da classificação de Koeppen seu clima é Cfa, sendo que: C - temperatura média do mês mais frio entre -3°C e 18°C; temperatura média do mês mais quente superior a 10°C; f - pelo menos 30 mm de precipitação em cada mês do ano; a - pelo menos um mês com temperatura média superior a 22°C.

No período de 1961 a 1990, de acordo com dados meteorológicos da estação de Santa Vitória do Palmar, a temperatura máxima absoluta foi de 39,2°C em 26/01/64 e a mínima absoluta de -1,8°C em 14/06/67. Convém esclarecer que a referida estação situa-se na região de fronteira entre o Uruguai e o Brasil, na faixa litorânea, onde as temperaturas são mais amenas e regulares.

A umidade média do ar é da ordem de 75% com valores superiores na região costeira. Durante o inverno, os valores médios diários são em torno de 80 a 85% enquanto que no verão estes são de 65 a 70%.

As direções predominantes dos ventos são norte e leste, e as velocidades médias são de 12 a 20 km/h, com os maiores valores ocorrendo na faixa litorânea.

O número de horas de insolação solar na região da bacia é em média de 6 a 7 ao longo do dia e a evapotranspiração potencial anual para a cultura de pastagem, estimada pelo método de Penman, é da ordem de 1100 a 1200 mm. A evaporação potencial das superfícies líquidas são, em média, entre 1400 e 1500 mm.

Para exemplificar o clima da região, na tabela 2.1 são apresentados alguns dados climatológicos da estação de Santa Vitória do Palmar. Estes dados referem-se ao período de 1961 a 1990 e foram publicados pelo Departamento Nacional de Meteorologia (1992).

Tabela 2.1. Variabilidade mensal dos parâmetros climatológicos.

	Temperatura Média (°C)	Precipitação Total (mm)	Umidade Relativa (%)
J	22,2	105,4	75
F	22,1	120,4	78
M	20,5	95,6	80
A	17,3	74,0	81
M	14,4	93,2	83
J	11,5	102,1	84
J	11,3	120,9	85
A	12,0	107,5	84
S	13,5	105,6	82
O	15,7	87,1	80
N	18,2	95,8	77
D	20,5	83,4	75
<b>Média</b>	16,6		80
<b>Total</b>		1190,9	

## 2.3 Geologia da bacia hidrográfica da lagoa Mirim

### 2.3.1 – Geologia da bacia da lagoa Mirim no lado do Brasil

No presente trabalho caracterizou-se a geologia da bacia da Lagoa Mirim, tanto do lado brasileiro como do lado uruguaio. A descrição foi feita procurando preservar as descrições apresentadas para cada País, sem procurar efetuar associações de litologias, mantendo as nomenclaturas utilizadas nos mapas geológicos do Brasil e do Uruguai. Esta metodologia, fez com que o mapa geológico da bacia contenha duas colunas estratigráficas.

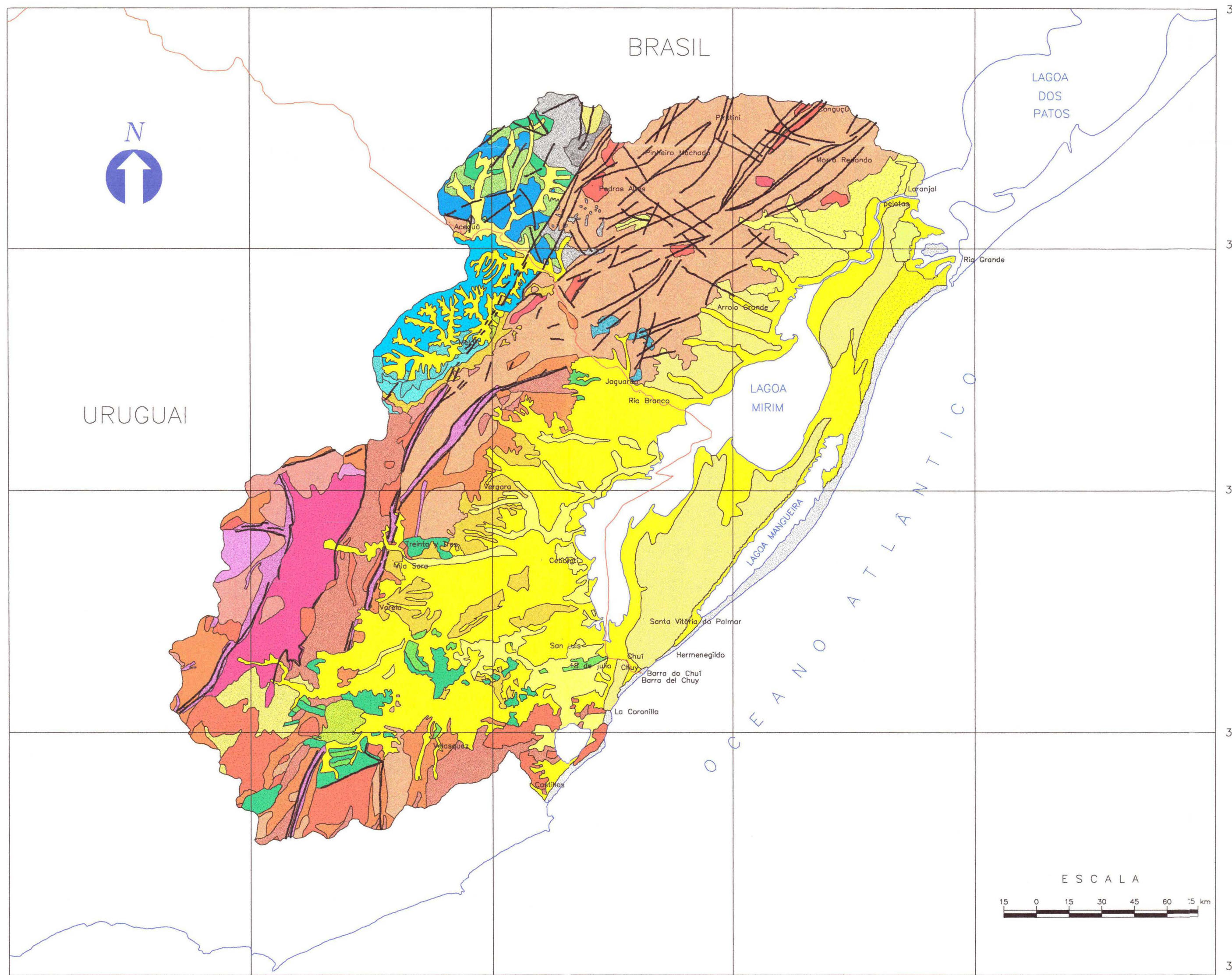
Os estudos foram baseados, para o lado brasileiro, nos mapeamentos produzidos pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM,1989), pelo Projeto RADAMBRASIL, e no estudo da MAGNA Engenharia- Levantamento Cadastral de Usuários de Água na Bacia da Lagoa Mirim- Julho/97), para o Conselho de Recursos Hídricos do Estado do RS. Para o lado uruguaio, foi utilizada a Carta Geológica do Uruguai, na escala 1:500.000.

A geologia da bacia hidrográfica da Lagoa Mirim é bastante complexa, onde são encontradas associações de rochas sedimentares, ígneas e metamórficas, normalmente recobertas por sedimentos Quaternários/Recentes. Na figura 2.1 é apresentado o Mapa Geológico da Bacia e nas tabelas 2.2 e 2.3 as legendas relacionadas ao mesmo.

Predominam, no lado brasileiro da bacia, as rochas da Bacia do Paraná, do Complexo Granítico-Gnáissico Pinheiro Machado e do Grupo Patos, distribuídos em seqüência de oeste para leste. Com ocorrências de menor expressão, estão as rochas pertencentes ao Grupo Cerro dos Madeiras, ao Complexo Granítico Dom Feliciano, às Formações Maricá e Acampamento Velho, além de Depósitos Sedimentares.

Estratigraficamente, ocorrem as seguintes unidades litológicas, apresentadas no Mapa Geológico da Bacia (figura 2.1):

- Complexo Granítico-Gnáissico Pinheiro Machado
- Suite Metamórfica Porongos  
Grupo Cerro dos Madeiras
- Complexo Granítico Dom Feliciano
- Formação Maricá  
Membro Mangueirão
- Formação Acampamento Velho
- Grupo Guatá
- Grupo Passa Dois  
Formação Iratí  
Formação Estrada Nova  
Formação Rio do Rasto
- Grupo São Bento  
Formação Serra Geral
- Grupo Patos  
Formação Graxaim  
Formação Chuí  
Formação Itapoã



UNIDADES GEOLÓGICAS NO URUGUAI	
IDADE	UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS
Q	Depósitos Aluviais
Qw	Formação Villa Sotano
Qd	Formação Dolores
Qch	Formação Chuy
Tpp	Formação Paso del Puerto
Elk	Formação Arcaquia
Kfr.ch	Formação Vello Chico
Jpg	Formação Puerto Gomes
Tre	Formação Cuero
B	Basaltos Mesocânicos Indiferenciados
Py	Formação Yaguarí
Pm	Formação Mergulho
Platin	Formação Prato Muroio
Pmi	Permiano Médio Indiferenciado
Pli	Formação Tres Iles
CPg	Formação San Gregorio
ser	Formação Sierra de los Rios
ep eAy	Gnaibidias Tardi-Pós Tectônicas
ep eAba	Grupo Barriga Negra
ep eAab	Formação Sierra Ballena
ep eAlc	Grupo Lavalleja-Rocha
ep eAd	Formação Paso del Dragón
ep eA	Complexo Onalo-Migmatítico
ep eAG	Gnaibidias Sintocânicos e Indiferenciados
pecy	Gnaibidias Tardi-Pós Tectônicas
peov	Formação Valentinas
peop	Formação Paves
peCa.h	Complexo Basal
peCG	Gnaibidias Indiferenciados
peCo	Unidade Barranco

UNIDADES GEOLÓGICAS NO BRASIL	
IDADE	UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS
Qe	QUATERNÁRIO RECENTE
Ql	Depósitos Aluviais
Qd	Depósitos Lacustres
Qm	Depósitos Marinhos
Qn	Depósitos Melanchicos
TQpg	GRUPO PATOS
Qpo	Formação Guaraní
Qpi	Formação Chui
Qpi	Formação Raposo
JKag	GRUPO SÃO BENTO
JKag	Formação Serra Geral
Pi	GRUPO PASSA DOIS
Pun	Formação Itaipu
Pun	Formação Estrela Nova
Pr	Formação Rio do Rasto
Pg	GRUPO GUATÁ
ama	FORMAÇÃO ACAMPAMENTO VELHO
peam	FORMAÇÃO MARIÁ
peam	Membro Mangueirão
en	COMPLEXO GRANÍTICO DOM FELICIANO
pepm	SUÍTE METAMÓRFICA PORONGOS
pepm	Grupo Cerro das Madalenas
peo	COMPLEXO GRANÍTICO-GRÁBICO PINHEIRO MACHADO
XX	Linhas Tectônicas
---	Divisão Internacional



MAPA GEOLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DA LAGOA MIRIM - BRASIL / URUGUAI (FIG. 2.1)

FONTE:  
 Cartas do SGE e IBGE  
 Projeto RADAMBRASIL  
 Carta Geológica do Uruguai

RESPONSÁVEL TÉCNICO:  
 Geol. MARCOS IMÉRIO LEÃO

GEOPROCESSAMENTO:  
 Eng. ALFONSO RISSO  
 Bols. FELIPE FACCONI

Tabela 2.2. Mapa geológico da bacia - Legenda para a região do Brasil.









UNIDADES GEOLÓGICAS NO BRASIL	
IDADE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS
	QUATERNÁRIO/RECENTE
	Depósitos Aluvionares
 Ql	Depósitos Lacustres
	Depósitos Eólicos
	Depósitos Marinhos
	GRUPO PATOS
TQpg	Formação Graxaim
Qpc	Formação Chuí
Qpi	Formação Itapoã
	GRUPO SÃO BENTO
 JKsg	Formação Serra Geral
	GRUPO PASSA DOIS
 Pi	Formação Iratí
 Pen	Formação Estrada Nova
 Prr	Formação Rio do Rasto
	GRUPO GUATÁ
 Pg	
ε ma	FORMAÇÃO ACAMPAMENTO VELHO
	FORMAÇÃO MARICÁ
p ε mm	Membro Mangueirão
	COMPLEXO GRANÍTICO DOM FELICIANO
 ε n	
	SUÍTE METAMÓRFICA PORONGOS
 p ε pm	Grupo Cerro dos Madeiras
	COMPLEXO GRANÍTICO-GNÁISSICO PINHEIRO MACHADO
p ε c	

Tabela 2.3. Mapa geológico da bacia - Legenda para a região do Uruguai.

UNIDADES GEOLÓGICAS NO URUGUAI		
	IDADE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS
	Q	Depósitos Atuais
	Qvs	Formação Villa Soriano
	Qd	Formação Dolores
	Qch	Formação Chuy
	Tpp	Formação Paso del Puerto
	Kla	Formação Arequita
	Klv.ch	Formação Valle Chico
	Jpg	Formação Puerto Gomes
	Trc	Formação Cuaro
	B	Basaltos Mesozóicos Indiferenciados
	Psy	Formação Yaguarí
	Pm	Formação Mangrullo
	PMfm	Formação Fraile Muerto
	Pmi	Permiano Médio Indiferenciado
	Pti	Formação Tres Islas
	CPsg	Formação San Gregório
	ε sr	Formação Sierra de los Rios
	ε p ε Ay	Granitóides Tardi-Pós Tectônicos
	ε p ε Ab.n.	Grupo Barriga Negra
	ε p ε As.b.	Formação Sierra Ballena
	ε p ε Ai.r.	Grupo Lavalleja-Rocha
	ε p ε Ap.d.	Formação Paso del Dragón
	ε p ε A	Complexo Gnaise-Migmatítico
	ε p ε AG	Granitos Sintectônicos e Indiferenciados
	p ε cy	Granitos Tardi-Pós Tectônicos
	p ε cv	Formação Valentines
	p ε cp	Formação Pavas
	p ε Cc.b.	Complexo Basal
	p ε CG	Granitos Indiferenciados
	p ε Co	Unidade Berrondo



Tabela 2.2. Mapa geológico da bacia - Legenda para a região do Brasil.














































UNIDADES GEOLÓGICAS NO BRASIL		
	IDADE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS
	Qe	QUATERNÁRIO/RECENTE Depósitos Aluvionares
	Ql	Depósitos Lacustres
	Qd	Depósitos Eólicos
	Qm	Depósitos Marinhos
	TQpg	GRUPO PATOS Formação Graxaim
	Qpc	Formação Chuí
	Qpi	Formação Itapoã
	JKsg	GRUPO SÃO BENTO Formação Serra Geral
	Pi	GRUPO PASSA DOIS Formação Irati
	Pen	Formação Estrada Nova
	Prr	Formação Rio do Rasto
	Pg	GRUPO GUATÁ
	ε ma	FORMAÇÃO ACAMPAMENTO VELHO
	pεmm	FORMAÇÃO MARICÁ Membro Mangueirão
	εn	COMPLEXO GRANÍTICO DOM FELICIANO
	pεpm	SUÍTE METAMÓRFICA PORONGOS Grupo Cerro dos Madeiras
	pεc	COMPLEXO GRANÍTICO-GNÁISSICO PINHEIRO MACHADO

Tabela 2.3. Mapa geológico da bacia - Legenda para a região do Uruguai.

UNIDADES GEOLÓGICAS NO URUGUAI		
	IDADE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS
	Q	Depósitos Atuais
	Qvs	Formação Villa Soriano
	Qd	Formação Dolores
	Qch	Formação Chuy
	Tpp	Formação Paso del Puerto
	Kla	Formação Arequita
	Klv.ch	Formação Valle Chico
	Jpg	Formação Puerto Gomes
	Trc	Formação Cuaro
	β	Basaltos Mesozóicos Indiferenciados
	Psy	Formação Yaguarí
	Pm	Formação Mangrullo
	PMfm	Formação Fraile Muerto
	Pmi	Permiano Médio Indiferenciado
	Plti	Formação Tres Islas
	CPsg	Formação San Gregório
	ε sr	Formação Sierra de los Rios
	ε p εAy	Granitóides Tardi-Pós Tectônicos
	ε p εAb.n.	Grupo Barriga Negra
	ε p εAs.b.	Formação Sierra Ballena
	ε p εAi.r.	Grupo Lavalleja-Rocha
	ε p εAp.d.	Formação Paso del Dragón
	ε p εA	Complexo Gnaise-Migmatítico
	ε p εAG	Granitos Sintectônicos e Indiferenciados
	p εcy	Granitos Tardi-Pós Tectônicos
	p εcv	Formação Valentines
	p εcp	Formação Pavas
	p εCc.b.	Complexo Basal
	p εCG	Granitos Indiferenciados
	p εCo	Unidade Berrondo

## Quaternário/Recente

### Depósitos Aluvionares, Lacustres, Eólicos e Marinhos

#### **Complexo Granítico-Gnáissico Pinheiro Machado (p∈c)**

Foi assim denominado por Fragoso César (1991), é composto por uma associação de granitóides foliados de caráter calcico-alcalino alto-potássio que englobam septos do embasamento gnáissico de alto grau metamórfico. Ocorre nas imediações dos municípios de Pinheiro Machado, Piratiní, Canguçu e Jaguarão. Recebe outras denominações em diferentes estudos, tais como, Grupo Cambaí e Complexo Canguçu.

#### **Suite Metamórfica Porongos (p∈p)**

Foi definida por Jost & Bitencourt (1980). É subdividida em Grupo Cerro dos Madeiras (seqüência clasto-químicas) em Complexo Cerro da Árvore (seqüência vulcano-sedimentar). Na área ocorre somente rochas do Grupo Cerro dos Madeiras.

#### **Grupo Cerro dos Madeiras (p∈cm)**

Ocorre na porção noroeste da bacia, nas proximidades de Pinheiro Machado e Candiota, ocupando uma área muito pequena. É constituído por uma seqüência metassedimentar, onde ocorrem metarcóseos, quartzitos, xistos e pequenos corpos de anfibolitos e serpentinitos.

#### **Complexo Granítico Dom Feliciano (∈n)**

Está representado, na bacia, por alguns corpos granitóides distribuídos nas localidades de Capão do Leão, Pinheiro Machado, Pedras Altas e Herval.

#### **Formação Maricá (p∈m)**

Está representada, na bacia, por uma pequena ocorrência do Membro Mangueirão.

**Membro Mangueirão (p∈mm):** Ocorre próximo ao município de Herval, ocupando cerca de 50 km<sup>2</sup>, em meio as litologias do Complexo Granítico-Gnáissico Pinheiro Machado. É composto por uma variada gama de sedimentos, com contribuição vulcânica subordinada.

#### **Formação Acampamento Velho (∈ma)**

Ocorre na parte central da bacia, em uma área muito pequena. É composta por rochas vulcânicas a sub-vulcânicas ácidas, sendo comuns diques de álcali-riolitos, riolitos, granófiros, riodacitos, dacitos e intrusões de quartzo sienitos e sienitos.

## **Grupo Guatá (Pg)**

Ocorre nas proximidades do município de Pinheiro Machado. É caracterizado pela presença de arenitos finos a grosseiros, ortoquartzíticos a subarcoseanos, de coloração branca e amarelo clara, com acamamento plano-paralelo e estratos cruzados acanalados de médio porte.

## **Grupo Passa Dois**

Na bacia, está representado pelas Formações Iratí, Estrada Nova e Rio do Rasto, ocorrendo na parte oeste, próximo à divisa com o território Uruguaio.

**Formação Iratí (Pi):** Ocorre ao sul do município de Bagé, nas proximidades do município de Herval, sendo constituída por folhelhos pretos, pirobotuminosos, que constituem duas camadas intercaladas com argilitos pretos e cinza-chumbo, com lentes de calcário.

**Formação Estrada Nova (Pen):** Pode ser encontrado na porção oeste, ao sul do município de Bagé. É constituída por argilitos e siltitos argilosos de cor cinza-chumbo a cinza claro, apresentando fraturamento conchoidal.

**Formação Rio do Rasto (Prr):** Ocorre nas cercanias dos municípios de Bagé Pinheiro Machado. Está representada por uma seqüência de sedimentos constituídos , na porção inferior, por siltitos micáceos e argilitos, com intercalações de siltitos calcíferos, e na porção superior, por camadas acunhadas e corpos arenosos lenticulares com estratificação cruzada acanalada.

## **Grupo São Bento**

Está representado pela Formação Serra Geral em uma pequena porção, na parte sudoeste da bacia.

**Formação Serra Geral (Jksg):** Ocupa a parte superior do Grupo São Bento, correspondendo ao climax vulcânico do encerramento da evolução gonduânica da Bacia Sedimentar do Paraná. O contato inferior são as Formações Botucatu e Rosário do Sul. Na bacia, a ocorrência é próximo a cidade de Jaguarão, e tem pequena expressão geológica, sendo definidas como riolitos e quartzolitos.

## **Grupo Patos**

Abrange as Formações Graxaim, Itapoã e Chui, ocorrendo na porção leste da bacia .

**Formação Graxaim (Tqpg):** Ocorre nos municípios de Pelotas, Capão do Leão, Pedro Osório e Arroio Grande. É composta por arenitos arcoseanos, com fácies siltico-argilosa e areno-conglomerática, fracamente consolidados, constituindo depósitos de leques aluviais.

**Formação Chuí (Qpc):** É a unidade do Grupo Patos de ocorrência mais expressiva na bacia. Ocorre na restinga que separa a Lagoa Mirim do Oceano Atlântico e também no Chuí, Santa Vitória do Palmar, Jaguarão, Arroio Grande, Pelotas e Rio Grande.

Estratigraficamente, estão assentados sobre a Formação Graxaim e são recobertos pela Formação Itapoã e pelos sedimentos Quaternários/Recente. É constituída por areias quartzosas médias a finas, bem selecionadas, pouco siltico-argilosas.

**Formação Itapoã (Qpi):** É a unidade do Grupo Patos de menor expressão na bacia, ocorrendo de forma localizada nos municípios de Capão do Leão e Rio Grande. Está sobreposta às Formações Graxaim e Chuí, sendo recoberta em alguns locais, por sedimentos holocênicos. É constituída por areias quartzosas, de granulação fina a média, siltico-argilosas, com grãos bem arredondados.

#### **Quaternário/Recente**

Está representado na bacia, pelos depósitos sedimentares aluvionares, lacustres, eólicos e marinhos.

**Depósitos Aluvionares(Qa):** Correspondem aos depósitos fluviais recentes, sendo constituídos por cascalhos, areias, siltes e argilas. Ocorrem nos Rios Jaguarão, Candiota e Piratiní, normalmente em áreas sujeitas a enchentes. Podem servir de suprimento de areias e cascalho para a construção civil e como fonte de argila para a produção de cerâmica.

**Depósitos Lacustres (Ql):** São constituídos por areias, siltes, argilas e turfas, em parte provenientes da carga fluvial que alimenta as lagoas costeiras e, em parte, provenientes do retrabalhamento dos sedimentos litorâneos mais antigos. Na bacia, localizam-se ao longo da Lagoa Mirim, na área da Lagoa Mangueira e ao longo do Canal São Gonçalo.

**Depósitos Eólicos (Qd):** São compostos por dunas fixas ou móveis, atuais, compostas por areias finas e médias, quartzosas, ocorrendo, na bacia, ao longo do litoral, desde o Chuí até Rio Grande.

**Depósitos Marinhos (Qd):** Ocorrem, na área da bacia, entre os campos de dunas ativas, a leste, e o sistema lagunar a oeste, sendo caracterizados por uma sucessão de lombadas baixas, intercaladas com depressões alagadiças, dispostas paralelamente à atual linha de praia e representando o gradual recuo da mesma. São constituídos por areias quartzosas finas a muito finas, bem selecionadas e, em menor proporção, por silte e argilas.

### **2.3.2 – Geologia da Bacia da Lagoa Mirim no lado do Uruguai**

A descrição da geologia da bacia da Lagoa Mirim, no lado uruguaio, foi

baseada na Carta Geológica do Uruguai, na escala 1:500.000. Não se buscou, neste trabalho, efetuar a correlação entre as diversas formações geológicas do Uruguai com as do Brasil. Mas, sabe-se que algumas delas podem ser correlacionadas, por apresentarem as mesmas características mineralógicas e estruturais. São descritas 30 unidades geológicas, no lado uruguaio, como pode ser observado na figura 2.1.

### **Unidades do Pré-Cambriano Médio**

**Complexo Basal e Granitos Indiferenciados ( $p \in Cc.b$  ;  $p \in CG$ ):** Estas unidades estão caracterizadas por serem um conjunto litológico que se manifesta através de relações complexas, e representam as unidades geológicas mais antigas ocorrentes na Bacia da Lagoa Mirim. É citada junto à essas unidades, a Unidade Berrondo ( $p \in Co$ ), que se caracteriza por ser constituída de Anfibolitos granonematoblásticos. Essa unidade tem uma ocorrência muito pequena na bacia.

O Complexo Basal está representado por gneisses muscovíticos e/ou biotíticos, gnaisses anfibolíticos e anfibolitos; ortogneisses ácidos e básicos; quartzitos; leptinitos; migmatitos de textura variada e metamorfitos profundos.

Nos Granitos Indiferenciados estão incluídos granitos de composição e mineralogias variadas predominando os granitos calco-alcálicos, e hornblenda biotíticos. Se incluem, também, litologias mais básicas como granodioritos e dioritos, e também, metagranitos e granitos orientados.

O Complexo Basal e os Granitos Indiferenciados ocorrem na bacia próximos ao município de Treinta y Tres.

**Formação Pavas ( $p \in cp$ ):** Esta formação é constituída por Anfibolitos de grão fino à médio, gnaisses anfibolíticos e granitos. Cloro-xistos, micaxistos e intercalações graníticas. Esta formação ocorre nos departamentos (municípios) de Lavalleja e Treinta y Tres, em contato com o chamado Ciclo Orogenético Moderno a leste e separada do Complexo Basal e Granitos Indiferenciados pela Falha de Cueva del Tigre a oeste.

**Formação Valentines ( $p \in cv$ ):** Esta formação aparece como um conjunto intensamente dobrado e metamorfizado, estando associada a uma seqüência de metamorfismos de alto grau. Litologicamente, esta formação é constituída por gnaisses oligoclasticos, quartzitos e anfibolitos quartzosos, piroxenitos e migmatitos. Podem ocorrer granitos intercalados. A ocorrência dentro da bacia se restringe a uma área na parte oeste da bacia, já no divisor hidrográfico.

**Granitóides Tardi-Póstectônicos ( $p \in cy$ ):** São, litologicamente compostos por leuco-granitos, granitos, granodioritos, microgranodioritos biotíticos e dioritos. Tem uma ocorrência muito restrita na bacia.

### **Unidades do Pré-Cambriano Superior**

**Granitos Sintectônicos e Indiferenciados ( $p \in A$ ):** Litologicamente é composto

por granitos heterogranulares, grossos, porfiroblásticos, de texturas variadas. Podem ocorrer mineralogias mais básicas. Metagranitos e granitos orientados. Tem sua ocorrência distribuída dentro da bacia; entre os municípios de Velasquez e Aigua e ao norte de Treinta y Tres.

**Complexo Gnaissico-Migmatítico ( $\epsilon p \in A$ ):** Este complexo é composto por ortognaisses ácidos e básicos, gnaisses quartzo feldspáticos e anfibolíticos, anfibolitos, leptinitos e xistos de natureza variada. Apresenta, também, rochas relacionadas espacial ou geneticamente a granitos metamórficos: migmatitos ofthalmíticos, que podem se intercalar com os ortognaisses e granitos.

**Formação Passo del Dragon ( $\epsilon p \in Ap.d.$ ):** Esta formação se desenvolve no extremo oriental do departamento (município) de Cerro Largo, sendo constituído, litologicamente por uma seqüência de metamorfismo médio constituída por micaxistos, anfibolitos e xistos de natureza variada.

**Grupo Lavalleya-Rocha ( $\epsilon p \in Ai.r.$ ):** Os metamorfitos do Grupo Lavalleya-Rocha, são os de maior extensão e representatividade, desenvolvendo-se como dois cinturões separados entre si pelas áreas gnaissico migmatíticas e graníticas do Pré-Cambriano Superior Moderno. O primeiro se desenvolve contíguo ao “zocalo” da bacia do Rio da Prata (Pré-Cambriano Médio), desenvolvendo-se nos departamentos de Maldonado, Lavalleya, Treinta y Tres e Cerro Largo. O segundo é contíguo ao Litoral Atlântico, desenvolvendo-se exclusivamente no departamento de Rocha. É composto de uma seqüência vulcano-sedimentar onde ocorrem filitos sericíticos, cloríticos, quartzosos e grafitosos, quartzitos, calcáreos, dolomitos, metarenitos e metaconglomerados, metavulcanitos básicos e intermediários e ácidos. É composto, também, por uma seqüência de metamorfismo médio, onde ocorrem xistos quartzo-feldspáticos e anfibolíticos, leptinitos, micaxistos, gnaisses e mármore.

**Formação Sierra Ballena ( $\epsilon p \in As.b.$ ):** Esta formação se manifesta como um extenso cordão que nasce em Punta Ballena sobre o Rio da Prata e se estende até o Cerro Largo no departamento de Cerro Largo. Outras faixas de cataclasitos e milonitos ocorrem nos departamentos de Treinta y Tres e Cerro Largo, com direção N30°E no sul a N60°E no norte (limite superior da formação Passo del Dragón). Está constituída do ponto de vista litológico, por cataclasitos e milonitos de composição e textura variáveis, em função dos terrenos afetados. Esta formação foi reativada, provavelmente, numerosas vezes durante o Cambro-Proterozóico.

**Grupo Barriga Negra ( $\epsilon p \in Ab.n.$ ):** Este grupo se encontra constituído por uma seqüência sedimentar que se deposita de forma discordante sobre as formações subjacentes. Dentro deste grupo se distinguem tres unidades:

- uma unidade conglomerática; constituída por níveis conglomeráticos, notáveis pela porcentagem e tamanho dos grãos. As vezes está associada a uma sedimentação argilosa rítmica tendo, em alguns lugares, estruturas várnicas. Esta unidade deve ser dentro do grupo, a mais moderna.
- uma unidade arenosa, de origem detrítica, sendo caracterizada por areias de

grãos finos a médio, bem selecionadas, de matriz argilosa; areias grossas, as vezes conglomeráticas, de matriz argilosa, e; arcóseos de grãos finos a médio, geralmente bem selecionados

- uma unidade calco-pelítica, onde estão incluídos níveis de calcáreo (em parte dolomíticos), siltitos calcáreos, siltitos argilosos.

**Granitóides Tardi-Póstectônicos:** Esses granitóides se manifestam por quase toda a área da bacia, através de corpos intrusivos que afloraram na superfície. Suas denominações são as mais variadas, em função da sua variabilidade mineralógica e estrutural.

Próximo a costa atlântica, circundando a Laguna Negra, na região de La Coronilla, aflora o chamado Complexo Santa Tereza, que representa o maior corpo intrusivo conhecido no país e está contíguo ao Grupo Lavallega-Rocha. Litologicamente é um granito porfiróide com grandes fenocristais de feldspato potássico que podem ter tamanho maior que 10 cm.

No limite sul da área, próximo a localidade de Aiguá, ocorre o Granito Aiguá, que se manifesta com uma extensão considerável, se estendendo para fora da bacia da Lagoa Mirim, é constituído de granitos de grão fino a médio, anfibólicos, e leucogranitos finos a muscovita.

Próximo a localidade de Mariscal, em direção oeste, ocorre o Complexo Granítico Arroyo del Soldado, que são compostos por granitos calco-alcálicos e granodioritos.

Em direção quase paralela a Lagoa Mirim, bordeando a planície lagunar, ocorrem uma série de corpos intrusivos pertencentes à esses granitóides, podendo se citar entre eles o Granito del Yermal, Granito Jose P. Varela, Granito de los Guazunambi, Granito Olimar Grande, Granito Arroyo de los Molles, Granito Treinta y Tres, Granito Maria Albina, Granito Pueblo Sauce e Arroyo Gutierrez.

## **Unidades do Cambriano e Pré-Ordoviciano**

**Formação Sierra de los Rios (€sr):** Esta formação ocorre no extremo NE do departamento de Cerro Largo, próximo a localidade de Centurion, se manifestando, estruturalmente, na forma de filões e/ou derrames, sendo constituído petrográficamente por riolitos pórfiros.

## **Unidades do Permo-Carbonífero**

Estas unidades integram a bacia intracratônica do Norte do País, ocupando, em superfície, a maior parte do noroeste do Uruguai, nos departamentos de Cerro Largo, Rivera, Centroeste de Tacuarembó e a zona oriental do departamento de Durazno.



**Formação San Gregório (Cpsg):** Esta formação constitui os depósitos de base cujos sedimentos refletem a influência de climas frios. Ela se caracteriza por ser formada por diamictitos, arenitos e lutitos (ritmitos). Tem sua ocorrência próxima a localidade de Melo.

### **Unidades do Permiano Inferior**

**Formação Tres Islas (Piti):** Esta formação tem sua ocorrência na região de Melo. São sedimentos de carácter fundamentalmente arenoso, e estratigraficamente, estão depositados sobre a formação San Gregorio. Esta formação sofreu uma primeira associação, com a formação Rio Bonito, no Brasil, por White (1908), sendo reconhecida por Walter (1911), no Uruguai com a mesma denominação. Caorsi-Goñi (1956) designaram esta formação como Tres Islas.

São arenitos finos à conglomeráticos de seleção regular, argilosos de cor branco amarelado, podendo ser encontrada intercalações de limonitas e leitos carbonosos.

### **Unidades do Permiano Médio**

**Formação Fraile Muerto (Pmfm):** Esta formação está depositada em cima da formação Tres Islas, sendo litologicamente constituída por arenitos finos a muito finos, siltitos arenosos e siltitos. Foi descrita pela primeira vez por Falconer (1931), sendo denominada de formação Palermo, em correlação à formação ocorrente no Brasil, e descrita por White (1908), como unidade superior do Grupo Tubarão.

**Formação Mangrullo (Pmm):** Esta formação, litologicamente é composta por siltitos argilosos, lutitos argilosos, esquistos pirobetuminosos finamente laminados. O ambiente de deposição é sub-aquático de águas calmas e condições redutoras. Foi correlacionada, pela primeira vez por Guillemain (1908), com os esquistos da formação Iratí, no Brasil, que representam a unidade inferior do grupo Passa Dois, em Santa Catarina. Caorsi-Goñi (1958), trocam a denominação de Iratí para Mangrullo.

### **Unidades do Permiano Superior**

**Formação Yaguarí (Psy):** Esta formação foi separada em dois Membros, um **membro inferior**, constituído por siltitos e arenitos finos, subordinadamente, lutitos; e um **membro superior**, constituído por arenitos finos a grossos, com intercalações de níveis argilo-arenosos e lutitos. O ambiente de deposição é sub-aquático de dinâmica variável. Walther (1924), correlacionou esta formação com a formação Estrada Nova e com os arenitos da formação Rio do Rasto. Bossi (1966) deu a denominação de Yaguarí para os dois membros.

### **Unidades do Triássico**

**Basaltos Indiferenciados ( $\beta$ ):** Estas ocorrências se manifestam de maneira isolada

dentro da bacia da Lagoa Mirim, na região de Jaguarão, e tem como idade o Mezozóico.

**Formação Cuaró (T,c):** Esta formação é constituída por rochas efusivas hipoabissais básicas, de estrutura em filões e sills. Tem sua ocorrência de afloramentos isolados de pequena extensão em direção a região sul da localidade de Melo.

### **Unidades do Jurássico**

**Formação Puerto Gomez (Jpg):** Esta formação é constituída por lavas básicas geralmente amigdalóides, de derrames em fossas tectônicas, normalmente em meio sub-aquático. Tem sua ocorrência nas proximidades das localidades de Lascano, Velazquez, Aíguá, Mariscal, Pirarajá e Treinta y Tres.

### **Unidades do Cretáceo Inferior**

O Cretáceo Inferior, no Uruguai, é constituído por cinco formações: Arapey, Conglomerado de la California, Valle Chico, Arequita e Migues. Na bacia da Lagoa Mirim, ocorre somente as formações Valle Chico e Arequita.

**Valle Chico (Kiv.ch):** Esta formação é um complexo intrusivo de rochas com tendência alcalina, vinculada a eventos efusivos em que os termos vulcânicos se colocam mais na parte periférica, e os de maior cristalização e esfriamento mais lento, na parte mais central.

Litológicamente é composta de sienitos, microsienitos e pórfiros traquitos, e tem sua ocorrência próximo a localidade de Mariscal.

**Formação Arequita (Kia):** Esta formação é constituída por rochas hipoabissais e efusivas ácidas com estruturas em derrames e filões. Litológicamente é composta de riolitos, dacitos e micro-pegmatitos. Tem sua ocorrência próximo a Aigua e Lascano.

### **Unidades do Terciário**

O Terciário é composto por, em ordem cronológica do mais antigo para o mais jovem, Oligoceno, Mioceno e Plioceno. Na bacia da Lagoa Mirim, ocorrem somente formações de idade Pliocênica.

**Formação Paso del Puerto (Tpp):** Esta formação é composta de depósitos de areias e arenitos finos a conglomeráticos, com intercalações de lentes argilosas e argilo arenosas. O ambiente de deposição é continental, fluvial a fluvio torrencial em clima semi-árido. Ela se deposita discordantemente sobre unidades do embasamento cristalino e sobre as formações Puerto Gomez e Fray Bentos.

Tem sua ocorrência, na bacia, em uma faixa que vai desde a localidade de Lascano, Jose P. Varela, passando por Treinta y Tres e Vergara.

## **Unidades do Quaternário**

O Quaternário está formado pelas formações de idade do Holoceno e do Pleistoceno. Dentro do Pleistoceno, ocorrem as Areias Indiferenciadas, a formação Las Arenas, Formação Chuy, Formação Libertad e Formação Dolores. No Holoceno, ocorrem a Formação Villa Soriano e os Depósitos Atuais. Dentro da bacia da Lagoa Mirim, tem-se as seguintes ocorrências:

**Formação Chuy (Qch):** A Formação Chuy é constituída de depósitos arenoso e argilo arenosos, finos a médios, depositados em um ambiente fundamentalmente marinho litorâneo. Tem sua ocorrência na faixa que vai da localidade de La Coronilla até o Chuy.

**Formação Dolores (Qd):** É constituída de depósitos argilo limosos e limo argilosos, com conteúdo variável de areias e gravas, e tem a deposição com características de ambiente continental em clima semi-árido com períodos de maior úmidade.. Tem sua ocorrência em uma faixa, não contínua, que vai desde Castilhos, passando por Chuy, sobe costeando a lagoa Mirim. Em Cebollati adentra até quase Treinta y Tres. Segue de Cebollati até Rio Branco, fronteira com o Brasil. Dentro desta formação foram incluídos, por uma questão de escala, os depósitos atuais fluviais que se localizam nas áreas imediatamente contíguas aos principais rios da bacia.

**Formação Villa Soriano (Qv.s.):** É constituída por sedimentos arenosos, argilo arenosos, em parteossilíferos, inconsolidados, de origem marinho litorâneo. Eles ocorrem disseminados por toda a parte Cenozóica da bacia, principalmente nas áreas contíguas aos rios. Para efeitos de correlação, e na tentativa de preservar as descrições geológicas de cada País, os depósitos aluvionares descritos na geologia do lado brasileiro da Bacia, no lado uruguaio foram englobados na formação Villa Soriano.

**Depósitos Atuais (Q):** Esses depósitos se caracterizam pela ocorrência de sedimentos mais recentes, de origem fluvial, costeiras e eólicas. Tem sua área de ocorrência, desde a localidade de Castilhos, na parte sul da bacia, até o Chuy. Correlacionando, estes mesmos depósitos se estendem até a altura da localidade de Rio Grande, no Brasil.

## **2.4 PEDOLOGIA**

Este trabalho utilizou como referência o Levantamento Exploratório de Solos do Projeto RADAMBRASIL - VOLUME 33 na escala de 1:1.000.000 (IBGE,1986). As unidades de mapeamento de levantamentos de solos de pequena escala e baixa intensidade de amostragem são constituídas, em sua maioria, por associações entre diversas classes de solos, criadas pela necessidade de generalização cartográfica nas pequenas escalas utilizadas. Uma unidade taxonômica é uma classe de solo definida e conceituada, segundo parâmetros de classificação, enquanto uma unidade de mapeamento é um conjunto de áreas de solos com relações e posições definidas na paisagem. As associações de solos são constituídas por duas ou mais classes distintas

de solos (unidades taxonômicas), com limites nítidos ou pouco nítidos entre si. (EMBRAPA, 1995). A distribuição espacial das unidades pode ser vista no mapa da figura 2.2.

### 2.4.1 DESCRIÇÃO DAS UNIDADES DE MAPEAMENTO E DAS UNIDADES TAXONÔMICAS

A tabela 2.4 relaciona as unidades de mapeamento, as unidades taxonômicas (classes de solo correspondente ao nível taxonômico de grande grupo) dominantes e a área parcial que cada unidade de mapeamento ocupa na área da bacia, na ordem em que aparecem no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (CAMARGO et al., 1987)

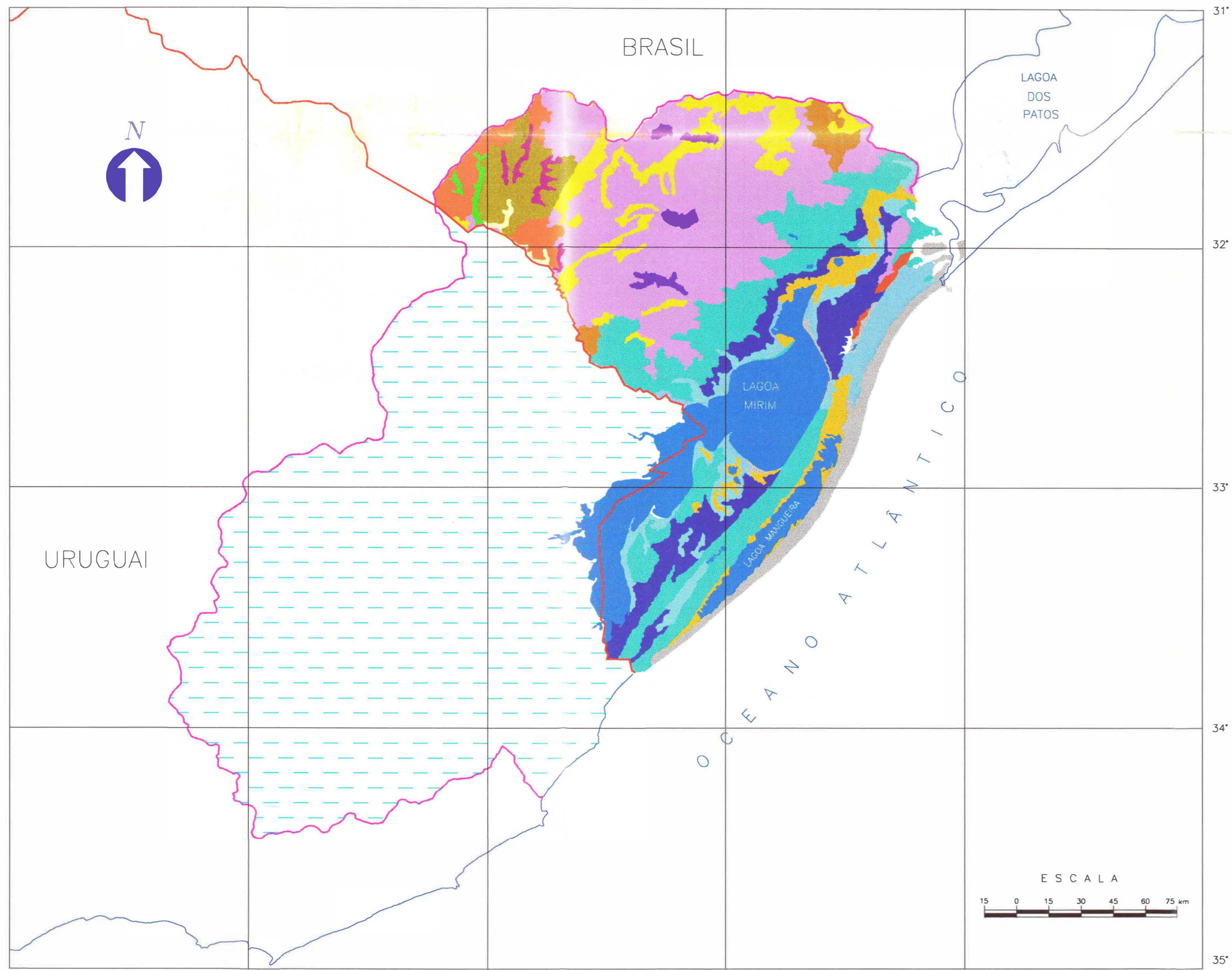
Tabela 2.4 Classes de solo na bacia da lagoa Mirim

Un.Map.	Classe de Solo	Área (Km <sup>2</sup> )
PV	Podzólico Vermelho-Amarelo	7.893
PB	Podzólico Bruno-Acinzentado	434
P	Podzol	826
B	Brunizém	850
BV	Brunizém Avermelhado	290
PL	Planossolo	4.936
PT	Plintossolo	99
GH	Glei Húmico	214
GPH	Glei Pouco Húmico	3.317
V	Vertissolo	1.023
R	Solo Litólico	1.836
A	Solo Aluvial	91
HO	Solo Orgânico	1031
DN	Dunas (Tipo de terreno)	1.131

A seguir, descreveremos as características das principais classes de solo (unidades taxonômicas) que ocorrem na área, sendo que algumas delas ocorrem em associação com outras classes, motivo pela qual não aparecem no quadro de áreas.

#### Podzólico Vermelho-Escuro (PE)


Esta classe compreende solos minerais, não hidromórficos, caracterizados pela presença de horizonte B textural, diferenciação textural marcante (às vezes abrupção) ou pouco pronunciada e argila de atividade baixa. Apresentam seqüência de horizontes A, Bt e C com horizonte A proeminente ou moderado. São solos profundos, de cores avermelhadas na maioria dos casos dentro dos matizes 2,5YR e 10R admitindo-se até 5YR. São solos profundos a medianamente profundos, muito ácidos, com baixa saturação em bases e alto teor e saturação com alumínio trocável (álícos). Apresentam perfis bem diferenciados, com horizonte A do tipo proeminente No Planalto Sul-Riograndense ocorrem sobre arenitos da Formação Santa Tecla (Triássico).



LEGENDA:

PV	PV
PE	PE
PB	PB
P	P
BV	BV
B	B
PL	PL
PLS	PLS
PT	PT
GH	GH
GPH	GPH
V	V
R	R
A	A
HO	HO
DN	DN
GHS	GHS
Corpos de água	Corpos de água





**INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS  
UFRGS**

**MAPA PEDOLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DA  
LAGOA MIRIM - BRASIL**

<p>FONTE:</p> <p>Cartas do SGE e IBGE Projeto RADAMBRASIL</p>	<p>RESPONSÁVEL TÉCNICO: MARCELO A. BASTOS</p> <p>GEOPROCESSAMENTO: ALFONSO RISSO ANDRÉ A. BASTOS</p>
---	--

56°      55°      54°      53°      52°      31'      32'      33'      34'      35'

### **Podzólico Vermelho-Amarelo (PV)**

Esta classe é constituída por solos minerais, não hidromórficos, caracterizando-se pela presença de horizonte B textural, com considerável iluviação de argila evidenciada pela expressiva relação textural e/ou recobrimento por filmes de materiais coloidal na superfície de contato das unidades estruturais. Apresentam seqüência de horizontes A, Bt e C, usualmente bem diferenciados, com horizonte A do tipo moderado ou proeminente, sobrejacente a um horizonte Bt geralmente argiloso com estrutura moderada ou fortemente desenvolvida. São solos medianamente profundos e profundos (raramente rasos), com coloração variável dentro dos matizes 5YR (valores e cromas altos) a 10YR. São solos bem drenados e apresentam argila de atividade baixa.

Em geral predominam solos de baixa fertilidade natural, tendo baixos valores da soma e saturação em bases. O alumínio trocável e a saturação com alumínio são altos, podendo caracterizar os solos álicos, porém mesmo nos solos distróficos os teores deste elemento são comumente elevados. Os solos eutróficos ocupam áreas pouco expressivas quando comparados aos demais. Ocorrem em áreas de relevo desde o suave ondulado até o forte ondulado e são derivados de diferentes litologias. Como variação das características morfológicas, encontram-se perfis cascalhentos, abruptos, plínticos e pouco expressivamente, sômbricos.

No Planalto Sul-Riograndense encontram-se solos derivados de gnaisses, migmatitos e granitos, apresentando solos pouco profundos, em geral cascalhentos, com horizonte A do tipo moderado ou proeminente, usualmente distróficos ou álicos e teores elevados de alumínio trocável. Encontram-se em associação com Solos Litólicos, Cambissolos, Podzólicos Bruno-Acinzentado e Afloramentos de Rocha.

### **Podzólico Bruno-Acizentado (PB)**

Compreendem solos minerais, não hidromórficos, caracterizados pela presença de horizonte B textural, marcante diferenciação entre os horizontes e valores médios a altos da atividade da argila. Características mais típicas nos perfis modais são: a presença de horizonte A moderado, com aspecto bastante eluvial e o escurecimento marcante no topo do horizonte B, devido à migração e acúmulo de matéria orgânica (possivelmente também manganês, em alguns casos) neste local. Podem ou não apresentar horizonte E (eluvial) e admitem ainda horizonte A do tipo proeminente.

São solos moderadamente drenados, pouco profundos e profundos, de coloração brunada, mais comumente nos matizes 7,5YR e 5YR, sendo a cor em muitos casos heterogênea no horizonte B (policromia). Apresentam seqüência de horizontes A, Bt, C, sendo a textura média ou argilosa no horizonte A. No horizonte B a textura é argilosa ou muito argilosa e a estrutura moderadamente desenvolvida em blocos subangulares, com cerosidade geralmente moderada e comum. Em relação à fertilidade, apresentam perfis álicos, distróficos e eutróficos, ocorrendo correlação entre a fertilidade e o material de origem.

### **Podzol (P)**

Esta classe compreende solos minerais com horizonte B podzol (horizonte subsuperficial no qual houve acumulação e precipitação de materiais amorfos, compostos de matéria orgânica e/ou alumínio, com presença ou não de ferro iluvial. São geralmente solos arenosos, com nítida diferenciação de horizontes, usualmente com seqüência A, E, Bh e/ ou Bir, podendo ocorrer horizonte Bhir ou Birh. O horizonte A tem cores bruno-acinzentado-escuras a pretas e o horizonte E é bruno-amarelado a bruno-acinzentado. O horizonte B apresenta cores variando de bruno-amareladas no Bir a bruno-acinzentado-escuras no Bh ou Bhir. Em relação à fertilidade, são solos ácidos, extremamente pobres em nutrientes minerais disponíveis para as plantas, sendo portanto baixos os valores da soma e saturação em bases. Localizam-se em áreas de relevo plano próximo ao município de Rio Grande e margem da lagoa Mirim, sendo desenvolvidos de sedimentos lacustres e marinhos referidos ao Quaternário.

### **Brunizém (B)**

São solos minerais, não hidromórficos, com saturação de bases superior a 50% (eutróficos) ao longo do perfil e horizonte A chernozêmico assente sobre horizonte B textural ou câmbico, sempre com argila de atividade alta. Apresentam seqüência de horizontes A, Bt ou Bi e C com elevada soma de bases e praticamente nulos ou muito baixos teores de alumínio trocável. Tem estrutura comumente granular no horizonte A e em blocos subangulares moderada e fortemente desenvolvida no B. Em comparação com a classe dos Brunizém Avermelhados, esses solos se diferenciam por apresentarem cores bruno-acinzentadas, brunas ou bruno-amareladas no horizonte B resultantes de condições de drenagem deficiente e/ou do material originário. Ocorrem como dominantes em pequenas áreas do Planalto Sul-Riograndense, desenvolvendo-se a partir de andesitos.

### **Brunizém Avermelhado (BV)**

Compreende solos minerais, não hidromórficos, como horizonte B textural, argila de atividade alta e eutrófico ao longo do perfil. A seqüência de horizonte é do tipo A, Bt e C, sendo o horizonte A chernozêmico, de coloração escura, contrastando com o horizonte B de cor bruno-avermelhada, podendo ou não apresentar mosqueado. São pouco profundos (50 e 100cm), ocorrendo variações para perfis rasos ou profundos. O horizonte Bt apresenta textura argilosa e estrutura moderada ou forte em blocos subangulares e angulares sendo a cerosidade usualmente bem expressa.

São solos moderadamente ácidos e neutros, com saturação em bases comumente superior a 60%, alta soma de bases e valores da relação molecular Ki entre 2,5 e 4,0. São praticamente nulos os teores de alumínio trocável. Ocupam relevo plano até forte ondulado e são desenvolvidos de litologias variadas. Na região do Planalto Sul-Rio-Grandense ocupam áreas de relevo suave ondulado até forte ondulado e são desenvolvidos de litologias dos complexos Vacacaí, Cambaí e Canguçu, do Pré-Cambriano. Os perfis em geral são poucos profundos, sendo os valores da soma de bases elevados. Ocorrem como solo dominante ou subdominante em associações com Solos Litólicos e Cambissolos eutrófico.

### **Planossolo (PL)**

São solos típicos de áreas baixas, onde o relevo permite excesso de água permanente ou temporário, ocasionado fenômenos de redução que resultam no desenvolvimento de perfis com cores cinzentas, indicativas de gleização. Característica marcante desta classe é a presença de horizonte superficial eluvial de textura arenosa ou média, que contrasta abruptamente com o horizonte subjacente B, de elevada concentração de argila. Em geral são solos mal ou imperfeitamente drenados, com seqüência de horizontes A, Bt e C. O horizonte A é do tipo moderado, quase sempre apresentando E (eluvial). O horizonte B usualmente tem argila de atividade alta.

Ocorrem como componente subdominante de algumas unidades de mapeamento na planície costeira. São derivados de sedimentos aluvionares referentes ao período quaternário, principalmente proveniente de arenitos e siltitos. Como variação, foram constatados perfis com horizonte A muito espesso e com saturação de alumínio elevada. Apresentam valores bastante variáveis da soma e saturação em bases na superfície, sendo usualmente distróficos. No horizonte B esses valores são muitos elevados, com a saturação em base chegando por vezes a atingir 100%. A classe dos **Planossolos Solódicos (PLS)** apresenta características físicas e morfológicas semelhantes aos da classe anterior (PL), diferindo no aspecto químico por apresentar saturação com sódio trocável apresentando valores entre 6 e 15 % no horizonte B e/ou C (caráter solódico), geralmente no B3 e/ou C, ou seja, a profundidade de ocorrência desta característica não chega a afetar o desenvolvimento normal das culturas agrícolas, o que, aliado à ocorrência de associações com Planossolos não solódicos, contribui para utilização com arroz irrigado em rotação com pastagens.

A maioria destes solos localiza-se na Planície Costeira Interna e Externa, derivando-se de sedimentos lacustres do Holoceno, sedimentos arenosos da Formação Chuí e arenitos arcoseanos mal consolidados da Formação Graxaim, ambos do Pleistoceno e todos referidos ao período Quaternário.

### **Solonetz Solodizado (SS)**

São solos minerais com seqüência de horizontes A-E-Btn-Cn, mal ou imperfeitamente drenados, geralmente pouco profundos, com horizonte B nátrico; o gradiente B/A ou B/E é abrupto. O horizonte Btn apresenta textura argilosa, estrutura bem desenvolvida, prismática ou colunar, com saturação por sódio 20% e CE <4 mS/cm, alta densidade e baixa permeabilidade. Morfológicamente assemelham-se aos planossolos, o que torna necessária a determinação da saturação por sódio para diferenciá-los.

A classe **Solonchak-Solonético (SK)** apresenta solos minerais halomórficos, intermediários entre Solonchak e Solonetz, correspondendo aos solo salino-sódicos, com altas concentrações de sais solúveis. Geralmente são hidromórficos, formados por salinização em áreas litorâneas ou por irrigação com água salgada. Estes solo tem perfil pouco diferenciado, com uma seqüência de horizontes A-Cgz ou Az-Cgz. O horizonte A tem coloração escura, e o horizonte C normalmente é cinzento ou bruno-acinzentado, com ou sem mosqueado. Apresentam >2% de sais, CE >4 mS, saturação com sódio



20%, pH alcalino, e eflorescências salinas na superfície durante a época seca. Devido a estas características não tem aproveitamento agrícola. São encontrados em áreas baixas mal drenadas, principalmente na Planície Costeira, a sul de Mostardas em direção ao Chuí, como inclusão em outras unidades de mapeamento.

### **Plintossolo (PT)**

Trata-se de uma nova classe de solo, utilizada inicialmente pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (EMBRAPA- SNLCS, 1980), com objetivo de incluir solos anteriormente classificados como Laterita Hidromórfica, parte dos Podzólicos Vermelho-Amarelo plínticos e parte dos Hidromórficos Cinzentos. O requisito principal é que a plintita (concreções de óxidos de ferro) ocupe no mínimo 25% da área do horizonte ou sub-horizonte e este tenha 15 cm ou mais de espessura.

São solos minerais formados sob condições de restrição à percolação de água, moderadamente, imperfeitamente ou mal drenados, ocupando as cotas mais baixas de superfícies planas ou suaves onduladas, apresentam horizonte B textural sobre ou coincidente com o horizonte plíntico, profundos ou medianamente profundos e bem diferenciados. A seqüência de horizontes é tipo A, Bt<sub>pl</sub> e C, com horizonte A moderado de textura arenosa ou média, às vezes cascalhenta, podendo ou não apresentar E. O horizonte B textural é argiloso, apresentando argila de atividade alta ou baixa. Ocorrem em áreas de relevo plano ou suave ondulado nas porções de cotas mais baixas do Planalto da Campanha sob vegetação do tipo Estepe Gramíneo-Lenhosa.

### **Glei Húmico (GH)**

São solos minerais, hidromórficos, medianamente profundos, mal drenados e com permeabilidade muito baixa. A seqüência de horizontes é A-Cg ou Ag-Cg ou A-Big-Cg, destacando-se a presença de horizonte glei dentro de 60 cm a partir da superfície do perfil; este horizonte glei apresenta coloração cinzenta ou cinzento-olivácea, indicadora de ambiente favorável a reações de oxiredução, com ou sem mosqueados vermelhos e amarelos. A ausência de gradiente textural B/A ou C/A, distingue estes solos do Planossolo e do Hidromórfico Cinzento.

A distinção entre **Glei Húmico** e **Glei Pouco Húmico** deve-se a presença de horizonte turfoso, ou A chernozêmico ou A proeminente no primeiro, e de horizonte A moderado no último. Esta diferença está representada numa menor espessura, menor teor de C orgânico e cores mais claras no horizonte A do **Glei Pouco Húmico**. São encontrados nas várzeas dos principais rios e na Planície Costeira, onde ocorrem áreas com solos **Glei Húmico Solódico** e **Glei Pouco Húmico Solódico**, que apresentam saturação com sódio >8%,

### **Glei Pouco Húmico (GP)**

Compreende solos hidromórficos com presença de horizonte glei dentro de 60 cm a partir da superfície. Este horizonte é formado em condições de excesso de umidade, temporário ou permanente, resultando em cores características de ambiente de redução, comumente cinzentas ou cinzento-oliváceas. Apresentam seqüência de horizontes do tipo A e Cg, com ou sem descontinuidade litológica,

horizonte A do tipo chernozêmico ou moderado, com teores de carbono orgânico menores que 4% no horizonte superficial. Geralmente apresentam argila de atividade alta e textura média ou argilosa nos horizontes subsuperficiais, tendo alguns perfis gradiente textural bem pronunciado, porém insuficiente para caracterização de mudança textural abrupta. Ocorrem em áreas deprimidas, sujeitas à inundações, principalmente ao longo da faixa litorânea, sendo desenvolvidos sobre sedimentos do Quaternário.

### **Vertissolo (V)**

São solos minerais, argilosos, pouco desenvolvidos, com seqüência de horizontes A-Cv-Cvg ou A-Biv-Cg. O horizonte A é do tipo chernozêmico, e apresentam coloração preta ou bruno-acinzentado-escuro no matiz 10YR. Contém elevada proporção de argilominerais esmectíticos, cuja capacidade de expansão e contração com a variação da umidade no solo, confere a estes solos as seguintes características: fendilhamento profundo quando secos, superfícies de fricção (slickensides), microrelevo gilgai. São solos com alta saturação e soma de bases, com elevados teores de cálcio e magnésio.

### **Solos Litólicos (R)**

Esta classe compreende solos pouco desenvolvidos, geralmente pouco profundos (rasos), que possuem o horizonte A diretamente assentado sobre a rocha ou sobre um pequeno horizonte C, geralmente com material de origem ainda em decomposição. Apresentam-se bem acentuadamente drenados e com características morfológicas, físicas e químicas variáveis em função do material originário. Na área correspondente ao Planalto Sul-Riograndense os solos apresentam maiores variações na sua fertilidade natural, principalmente em função da grande diversidade geológica encontrada.

Os solos distróficos derivam-se em geral de granitos, granitóides, migmatitos e gnaisses. Sua ocorrência nestas áreas engloba porções de relevo desde ondulado até montanhoso, aparecendo usualmente associados com Cambissolos, Podzólicos Vermelho-Amarelo e Brunizém Avermelhado.

### **Areias Quartzosas (AQ)**

São solos minerais pouco desenvolvidos, profundos, excessivamente drenados, originados de sedimentos arenosos inconsolidados. Tem seqüência de horizontes A-C de coloração clara, e textura nas classes areia e areia franca, sem gradiente textural que identifique um horizonte B. A classe das **Areias Quartzosas Hidromórficas** apresenta solos minerais imperfeitamente a mal drenados, com lençol freático próximo à superfície, essencialmente quartzosos e de textura arenosa. Apresentam seqüência de horizontes A-C, onde se destaca pela coloração escura o horizonte A turfoso, proeminente ou moderado; o horizonte C tem cores acinzentadas ou bruno-amareladas nos matizes 5YR a 10YR, geralmente com mosqueados. O elevado teor de matéria orgânica no horizonte A proporciona uma elevada capacidade de troca de cátions, em contraste com o horizonte C que é essencialmente quartzoso. Esta classe também aparece como inclusão em diversas unidades de mapeamento

### **Solos Aluviais (A)**

Esta classe apresenta solos pouco desenvolvidos, apresentando horizonte A usualmente do tipo moderado, sobrepondo-se a camadas estratificadas sem relações pedogenéticas entre si, com composição química, mineralógica e granulométrica variada. Distinguem-se dos Cambissolos formados sobre sedimentos aluviais pela ausência de horizonte B incipiente. Sua fertilidade natural está diretamente correlacionada com a textura e a mineralogia do material de origem. Ocorrem em áreas planas, constituindo a planície de inundação dos cursos d'água, sob Vegetação Pioneira de Influência Fluvial, desenvolvidos a partir de depósitos de sedimentos aluvionares lacustres, sofrendo freqüentes acréscimos por ocasião de inundações periódicas.

### **Solos Orgânicos (HO)**

São solos orgânicos, hidromórficos, constituídos essencialmente de compostos orgânicos acumulados em ambiente alagado. Apresentam seqüência de horizontes H-Cg, onde o horizonte H é turfoso, com espessura >40 cm; ou com espessura >60 cm se for constituído por fibras de esfagno (*Sphagnum*) e tiver densidade aparente ( $D_s$ ) <0,1 g/cm<sup>3</sup>. Os Solos Orgânicos podem apresentar caráter tiomórfico.

A diferenciação dos Solos Orgânicos em relação aos solos minerais hidromórficos é baseada num teor mínimo de carbono orgânico proporcional ao teor de argila entre 0 e 60%, conforme está especificado na definição de horizonte turfoso. Ou seja, um solo hidromórfico será Solo Orgânico se preencher o requisito de teor de carbono em espessura de 40cm ou 60cm.

## **2.4.2 CAPACIDADE DE USO E USO ATUAL DOS SOLOS**

### **Podzólico Vermelho-Escuro (PE) + Podzólico Vermelho-Amarelo (PV)**

A principal limitação ao uso agrícola destas solos está relacionada à baixa fertilidade natural. Devem ser adotadas práticas de calagem e adubação, visando à melhoria das condições de fertilidade. Outra limitação diz respeito à suscetibilidade à erosão em função do gradiente textural (horizonte superficial mais arenoso) e do relevo em que aparecem (suave-ondulado e ondulado).

São utilizados com pastagens naturais ou cultivadas, com destaque para a pecuária de corte. A calagem e adubações, principalmente a fosfatada, são fatores indispensáveis nestes casos para a obtenção de altas produções. Nas manchas de solos com perfis mais profundos e não-cascalhentos são encontradas lavouras de cultivos anuais, em áreas de relevo suave-ondulado a ondulado.

### **Podzólico Bruno-Acizentado (PB)**

O relevo e pedregosidade constituem as principais limitações para a sua utilização, sendo comum o uso de tração animal no preparo da terra, tendo ainda impedimento por fertilidade para solos álicos e distróficos. Necessitam de calagem e de adubações para a obtenção de bons rendimentos agrícolas, além de práticas de conservação de solo intensivas, a fim de minimizar os efeitos da erosão nas partes de maior declive. As áreas de relevo forte ondulado são mais propícias para reflorestamento ou culturas permanentes. Nos solos eutróficos, as principais

limitações de uso são devidas ao relevo, embora as adubações de manutenção e a utilização de calcário em pequenas doses sejam recomendáveis. Nos municípios de Canguçu e Herval, estes solos tem sido utilizados com pastagens, em grandes propriedades rurais. Nas áreas de pequenas propriedades coloniais existe uma maior diversificação de culturas, com destaque para o milho, feijão, batatinha além do pêssego.

#### **Brunizém (B) + Brunizém Avermelhado (BV)**

As principais limitações de uso destas classes referem-se à pequena profundidade dos perfis, exigindo práticas cuidadosas de manejo quando utilizados para agricultura. O relevo pode igualmente constituir fator restritivo ao uso em determinadas áreas, além disso exigem adubação com fósforo, devido à baixa disponibilidade deste elemento. Podem ser utilizados com a maioria das culturas, desde que se faça o controle da erosão, principalmente nas áreas mais dissecadas do relevo.

#### **Podzol (P)**

Devido à baixa fertilidade natural e textura arenosa, sua utilização agrícola é marginal, sendo utilizado com pastagens naturais.

#### **Planossolo (PL) + Planossolo Solódico (PLS)**

A principal limitação ao uso agrícola destes solos diz respeito à drenagem imperfeita, dificultando o manejo do solo pelo excesso de umidade. São adequadamente utilizados com arroz irrigado em rotação com pastagens, observando-se cultivos de soja em área de melhor drenagem e/ou drenagem artificial. Valores relativamente baixos da soma de bases no horizonte superficial constituem outra limitação.

#### **Solonetz Solodizado (SS) + Solonchak-Solonétzico (SK)**

Quando a presença de sódio está em maior profundidade no perfil, têm sido usados para pastagem e cultivo de arroz irrigado. Ocorrem mais freqüentemente na Planície Costeira, principalmente no Litoral Sul. Quando o sódio aparece em todo o perfil não devem ter aproveitamento agrícola.

#### **Plintossolo (PT)**

Sua principal limitação está relacionada à drenagem do perfil, quase sempre imperfeita

#### **Glei Húmico (GH) + Glei Pouco Húmico (GP)**

As principais limitações ao uso agrícola dizem respeito às propriedades físicas e drenagem deficiente (baixa condutividade hidráulica), sendo que o lençol freático mantém-se próximo à superfície. Nestas condições podem ser bem aproveitados para cultivos de arroz irrigado em rotação com pastagens, embora tenha problemas de manejo do solo, principalmente em relação ao preparo do solo devido à pegajosidade e plasticidade do horizonte superficial. Em situações nas quais a drenagem constitui prática economicamente viável, podem ser aproveitados com outras culturas anuais, sendo bastante recomendados para utilização com horticultura.

### **Vertissolo (V)**

Sua utilização agrícola para culturas anuais é restrita devido às propriedades físicas adversas que dificultam a operação de implementos: são muito duros quando secos, formando torrões compactos, e muito plásticos e muito pegajosos quando molhados, aderindo aos implementos agrícolas. Necessitam de um estado ótimo de umidade para serem arados, que corresponde a um período extremamente curto. Além disto, são suscetíveis à erosão hídrica. Devido a estas dificuldades, são mais utilizados com pastagens, e arroz irrigado nas áreas de relevo plano.

### **Solos Litólicos (R)**

Sua utilização agrícola, mesmo nos solos eutróficos, é restringida pela pequena espessura da camada superficial e pelo relevo em grande parte da área, bem como pela pedregosidade e presença de afloramentos rochosos nas porções muito dissecadas. Apresentam-se em maior proporção utilizados com pastagens naturais, de média a baixa qualidade, sendo também usados para a produção de culturas anuais como milho, feijão e outras, principalmente nas áreas de colônia, onde predominam pequenas propriedades rurais.

### **Solos Aluviais (A)**

As condições de má drenagem e o risco de inundação limitam a utilização agrícola destes solos, os quais são utilizados eventualmente no verão como pastagens extensivas. Devido às características únicas de seu ecossistema deveriam ser utilizados como reservas de proteção de flora e fauna.

### **Solos Orgânicos**

Em função do elevado teor de matéria orgânica que contém, os Solos Orgânicos sofrem intensa contração pela drenagem que pode inviabilizar o seu uso para o cultivo. Em face das dificuldades de manejo são parcialmente aproveitados com olericultura e pastagens.

## **3 AS LAGOAS MIRIM E MANGUEIRA E O CANAL SÃO GONÇALO**

### **3.1 Descrição**

A lagoa Mirim é um corpo de água de 3.673 km<sup>2</sup> de superfície, e volume de 14,57.10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> (para o nível 1,2 m, média de longo período). O volume no qual a lagoa pode flutuar em função das condições hidrológicas e saída no canal de São Gonçalo representa 12,4.10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>. A vazão média de afluência à lagoa e ao canal de São Gonçalo é de 787 m<sup>3</sup>/s e o seu tempo de residência de 205 dias (tempo médio de troca do volume).

A lagoa Mangueira possui área de espelho d'água de 802 km<sup>2</sup> e volume de 2400 hm<sup>3</sup>, para a cota de 3 metros.

O canal de São Gonçalo interliga as lagoas Mirim e dos Patos. Sua foz na lagoa dos Patos é próxima à ligação desta com o Oceano Atlântico. Este canal tem um comprimento de 76,0 km e o escoamento é controlado por um conjunto de comportas, visando evitar a penetração do fluxo salino para a lagoa Mirim.

A seguir são apresentados os procedimentos para levantamento batimétrico das lagoas Mirim e Mangueira e as curvas correspondentes de cota x área e cota x volume das mesmas, além das características batimétricas.

### **3.2 Levantamento batimétrico**

O levantamento batimétrico das lagoas Mirim e Mangueira e do canal São Gonçalo foi realizado no período de 09 de outubro a 25 de dezembro de 1996.

Para a elaboração desta atividade foram consideradas as especificações técnicas constantes no Anexo I do convênio 05-96-SOPSH-DRH-CRH-FRH/RS-UFRGS-IPH - SB/CLM e reproduzidas no Anexo B deste relatório.

O zero hidrográfico adotado foi o Datum de Torres, no Estado do Rio Grande do Sul. A CLM proporcionou os registros de níveis de água a partir de linigramas obtidos na estação fluviográfica de Santa Vitória do Palmar.

As bases topográficas para a determinação do tipo de navegação a ser executada, a distância total a ser percorrida, o número de perfis e o tempo necessários para o levantamento constituíram-se de documentos cartográficos da Divisão do Serviço Geográfico, nas escalas 1:50000 e 1:250000, carta batimétrica do levantamento realizado pelo Setor de Hidrografia do Projeto Regional da lagoa Mirim (UNDP/FAO-CLM, 1968), em escala 1:13000, e publicação da ENGEVIX/DNOS de 1967.

Foram levantados os perfis batimétricos a cada 5 km ao longo das lagoas e do

canal. Cada ponto foi localizado pelo Sistema de Posicionamento Global (GPS) e os dados de profundidade e posicionamento foram obtidos através de ecosondagem digital.

### **3.2.1 Perfis Batimétricos**

Para o levantamento dos perfis, foi realizada navegação em linhas em forma de “zigue-zague” ao longo das lagoas Mirim e Mangueira e do canal São Gonçalo.

Dos perfis levantados, foram extraídos, segundo a densidade recomendada, 40 para a lagoa Mirim, 15 para o canal São Gonçalo e 21 perfis para a lagoa Mangueira. As demais informações encontram-se arquivadas em forma digital.

Em cada perfil foram registrados os dados correspondentes à posição, nível da água e instante do posicionamento. A partir dos valores registrados nos perfis foi gerado um arquivo com coordenadas X, Y e Z para o trecho analisado com discretização de 14 m. Esta discretização foi determinada em função da velocidade da embarcação (aproximadamente 10 km/h) e a taxa de aquisição de dados da ecosonda (uma medição a cada 5 segundos aproximadamente), sendo ainda que esta taxa de amostragem é a que melhor se adequava à forma do fundo dos corpos de água analisados.

Os dados foram processados após a remoção de pontos espúrios, devidos principalmente à cavitação ou entrada de ar na ecosonda, e após a ligação dos pontos X, Y do GPS com as profundidades da ecosonda, através da sincronização dos respectivos relógios.

A apresentação e o detalhamento dos perfis, com a relação dos pontos levantados indicando as coordenadas geográficas, a lâmina d'água, o nível d'água na hora do levantamento e a cota verdadeira do fundo estão no relatório de “Batimetria - Lagoas Mirim e Mangueira e Canal São Gonçalo” de setembro de 1997. A este relatório, foram anexadas planta geral dos perfis em escala 1:250000 e plantas individuais nas seguintes escalas: (1) - Horizontal de 1:50000 e vertical de 1:50 para as lagoas e; (2) Horizontal 1:500 e vertical 1:50 para o canal São Gonçalo.

### **3.2.2 Caracterização Planialtimétrica**

#### **Correção dos níveis**

O efeito do vento sobre os corpos d'água pode causar variações consideráveis de níveis. A análise de registros de ocorrências de ventos de Santa Isabel do Sul e Santa Vitória do Palmar, no período de janeiro de 1964 a junho de 1968, permite concluir que os ventos predominantes sobre a lagoa Mirim são os do quadrante NE com ocorrência de 20% e velocidade média de 3 m/s. Embora com menor predominância (10%) os ventos do quadrante S-W apresentaram a maior velocidade de 4,5 m/s (CLM, 1968).

Este fato, somado à orientação natural que apresenta a lagoa Mirim no sentido SW-NE, implica numa constante variação dos níveis de água devido ao deslocamento da massa de água na lagoa.

Foram, então, verificadas variações entre os níveis registrados no levantamento e aqueles registrados em Santa Vitória do Palmar, única estação fluviográfica sobre a lagoa em atividade na atualidade.

Para efetuar a correção dos níveis, foi utilizada a equação da onda gravitacional:

$$V = (gh)^{1/2} \quad (3.1)$$

onde  $V$  é a velocidade de propagação da onda em m/s;  $g$  é a aceleração da gravidade ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ), e  $h$  é a profundidade da água, em metros, no ponto considerado.

Conhecendo-se as direções de vento sobre a bacia no período de análise e as distâncias entre o ponto sendo levantado e o linígrafo de controle (neste caso o posto de Santa Vitória do Palmar), foi possível corrigir os níveis medidos por ecosondagem através da equação 3.1.

As direções de vento consideradas para esta análise foram as NE, N, SW e S por serem aquelas cujos efeitos sobre as variações dos níveis da lagoa Mirim poderiam ser avaliados com o conhecimento dos níveis registrados em Santa Vitória do Palmar.

Adotou-se a codificação das direções de vento segundo a “Rosa dos Ventos” fornecendo números 1 a 8 para as direções NE a N em sentido horário o que permitiu a identificação, segundo os dados disponíveis, dos pontos medidos no levantamento aqueles que deveriam sofrer correções sobre os valores de níveis medidos.

A principal suposição desta abordagem é de que no deslocamento da onda de celeridade são desprezadas as forças de atrito e de reflexão nas bordas dos corpos de água, mantendo uma onda indeformável durante a propagação da perturbação.

Foram selecionadas duas regiões (figura 3.1), que caracterizam a lagoa Mirim, quanto à forma, cota de fundo e comprimento:

- A região A, localizada desde o extremo sul da lagoa até Ponta Muniz e Ponta Santiago, na altura da cidade de Jaguarão;
- A região B, localizada ao norte da primeira.

A cota média do fundo da região A é igual a  $-5,2 \text{ m}$ , com referência ao nível médio do mar na cidade de Torres, RS (ver tabela 3.1). Por outro lado, a cota média do fundo da região B é próxima aos  $-4,0 \text{ m}$ . Os valores de comprimentos médios (B),



as larguras médias ( $b$ ) e as cotas médias do fundo ( $Z_f$ ) foram obtidos a partir dos dados iniciais apresentados por ENGEVIX/DNOS (1967). Esses valores foram adotados como preliminares para o cálculo da velocidade de propagação da onda pela equação 3.1.

A variação do nível de referência durante a navegação se deu da região A para a região B.

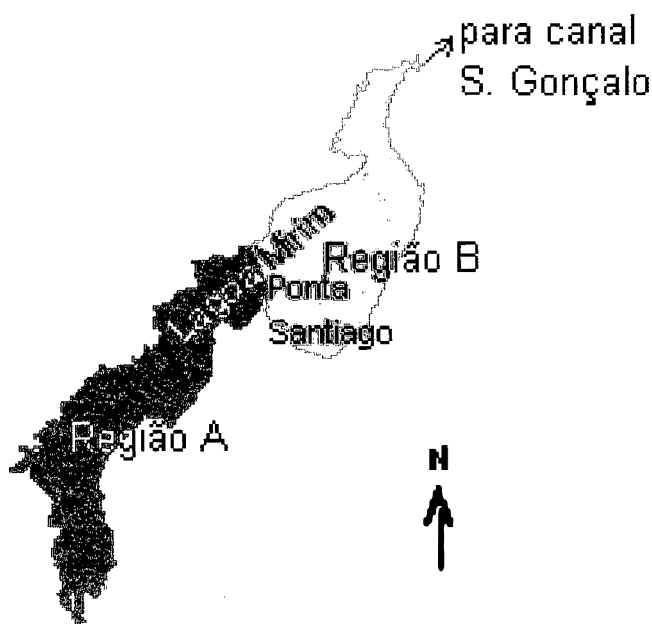


Figura 3.1. Regiões de referência para o levantamento batimétrico.

Tabela 3.1 Características das regiões consideradas na lagoa Mirim.

Região	B km	b km	$Z_f$ s.n.m.m.	$V=(g.h)^{0,5}$ # m/s	$t=B/V$ , horas
A	90	20	- 5,4	7,8	4,27
B	80	40	- 4,0	7,0	3,57

# "h", profundidade média. Estimada segundo leitura média durante os dias de batimetria com valor resultante de 1,00 m .

## Resultados

Com base nos valores de níveis d'água e localização dos pontos batimétricos foi possível definir a caracterização planialtimétrica das lagoas Mirim e Mangueira e do canal São Gonçalo.

No Anexo C são apresentados para cada ponto os níveis medidos, com discretização temporal de aproximadamente 2 horas, os valores finais corrigidos com base na metodologia descrita.

A partir destes dados, foi elaborada a carta planialtimétrica da lagoa Mirim. Para a lagoa Mangueira e o canal São Gonçalo, a definição da planialtimetria se deu a partir do processamento dos dados obtidos sem consideração dos efeitos do vento.

Quanto às características planialtimétricas dos corpos d'água, o levantamento permitiu verificar que:

- O canal de São Gonçalo apresenta comprimento longitudinal de 76,0 km, largura máxima de 655 m na foz com a lagoa dos Patos e profundidade máxima de 9,0 m;
- A lagoa Mangueira apresenta comprimento longitudinal máximo de 101 km, largura máxima de 12 km e profundidade máxima de 7,80 m.;
- A lagoa Mirim apresenta comprimento longitudinal máximo de 190 km, largura máxima de 40 km e profundidades média e máxima de 4,50 e 16,00 m, respectivamente.

Tanto o fundo da lagoa Mirim quanto o da lagoa Mangueira são superfícies acentuadamente planas, com inclinações significativas nas bordas.

Quanto ao canal São Gonçalo, as informações originadas do levantamento devem ser consideradas como aproximações. Atendendo às especificações técnicas do contrato vigente, os perfis transversais foram determinados com equidistanciamento de 5 km. No entanto, devido às características físicas do canal, seria ideal realizar levantamentos de perfis longitudinais e transversais ao longo da extensão, detalhando-se de forma mais precisa as características batimétricas do mesmo.

A equipe determinou as bordas do canal com o uso de carta do SGE em escala 1:50000 e efetuou navegação em “zigue-zague”, a fim de observar pontos profundos e singularidades.

### **3.3 Curvas características**

Para o balanço hídrico da bacia da lagoa Mirim, é fundamental o conhecimento das variações de volumes armazenados nas lagoas Mirim e Mangueira, em função das variações de níveis e área.

Com a utilização das cartas planialtimétricas determinadas no levantamento e com a base cartográfica disponível, foi possível determinar as curvas características dos reservatórios das lagoas Mirim e Mangueira, as curvas altitude-área e altitude-volume.

Estas curvas encontram-se ilustradas nas figuras 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5 e apresentadas quantitativamente nas tabelas 3.2 e 3.3. É possível verificar que:

- Na lagoa Mirim, para altitudes de níveis d'água inferiores a -12,15 m a área molhada é nula e, para a máxima altitude observada (1,85 m), a área corresponde a aproximadamente 3900 km<sup>2</sup>. Quanto ao volume armazenado, os valores correspondentes às altitudes mínima e máxima são de 0,02 e quase 17.000 hm<sup>3</sup>, respectivamente;
- Na lagoa Mangueira, para altitudes de níveis d'água inferiores a -3,48 m a área molhada é nula e, para a máxima altitude observada (3,02m), a área corresponde a aproximadamente 821 km<sup>2</sup>. Quanto ao volume armazenado, os valores correspondentes às altitudes mínima e máxima são de 18,36 e quase 2500 hm<sup>3</sup>, respectivamente;

Os resultados da batimetria nas lagoas Mirim e Mangueira e no canal São Gonçalo foram comparados aos resultados apresentados no relatório Batimetria - Cubagem da lagoa Mirim de 1968 publicado pela UNDP/FAO/CLM no Projeto Regional da lagoa Mirim.

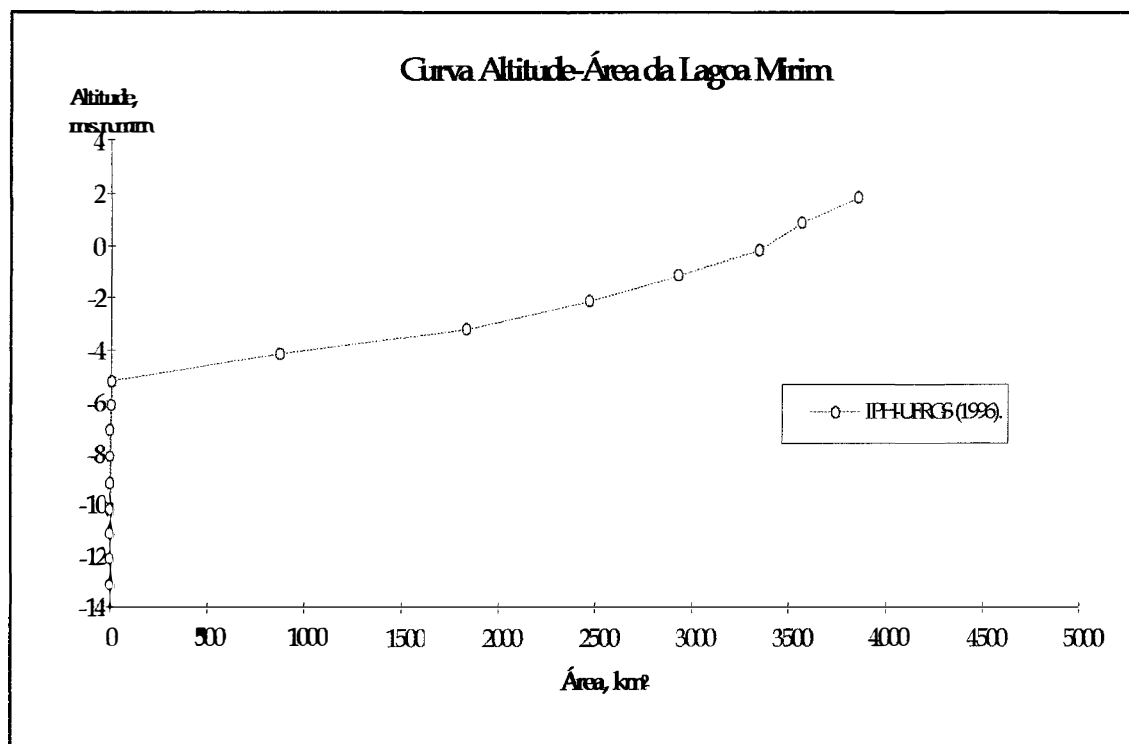


Figura 3.2 Curva Altitude-Área da lagoa Mirim.

Como as metodologias de execução dos levantamentos são diferentes, a comparação se deu entre as cartas planialtimétricas finais resultantes.

A análise possibilitou verificar que os resultados obtidos com o levantamento atual na lagoa Mirim estão de acordo com aqueles obtidos no levantamento de 1968.

Este levantamento originou as cartas planialtimétricas das lagoas Mirim, Mangueira e do canal São Gonçalo em escala 1:100000. Estas são apresentadas no Anexo Q deste relatório.

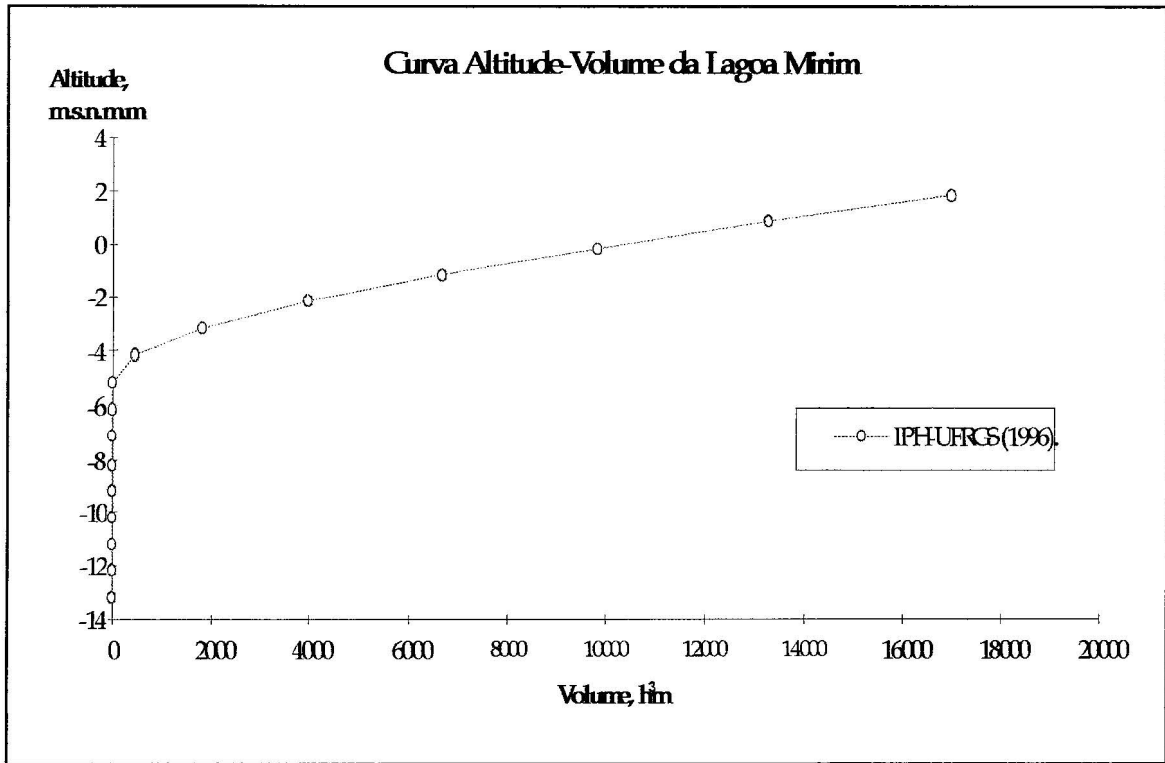


Figura 3.3 Curva Altitude-Volume da lagoa Mirim.

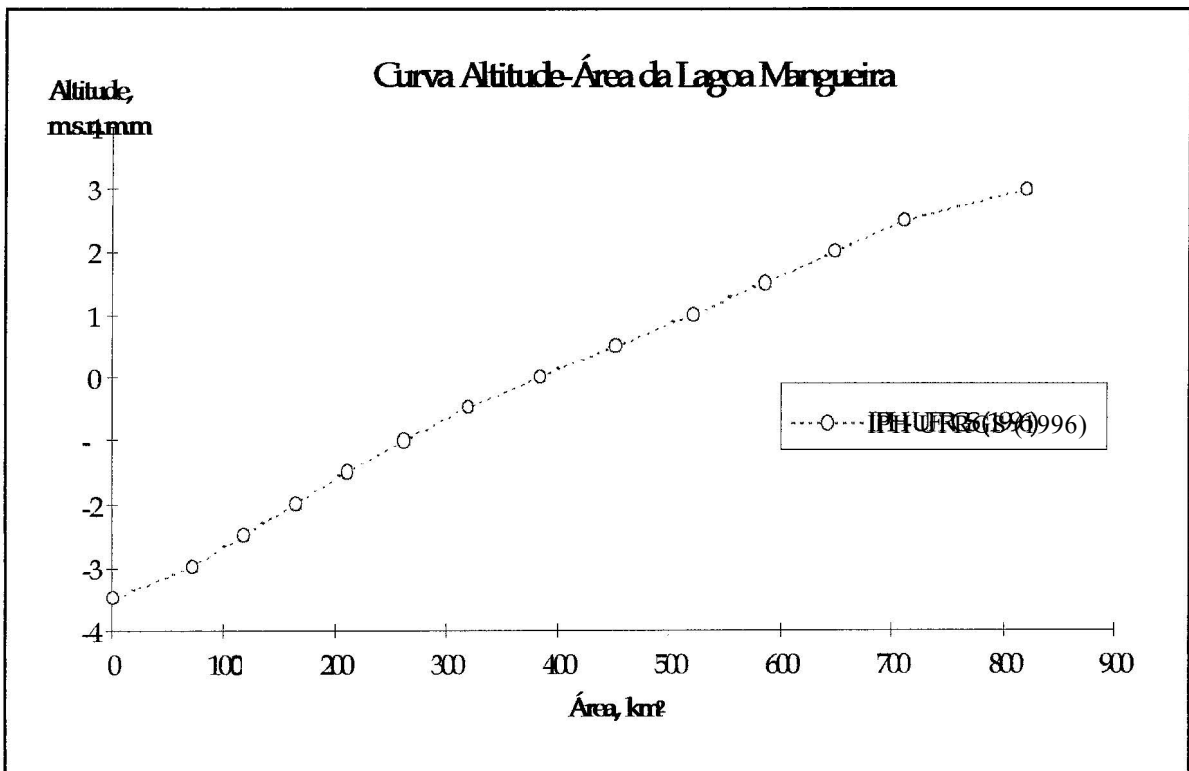


Figura 3.4 Curva Altitude-Área da lagoa Mangueira

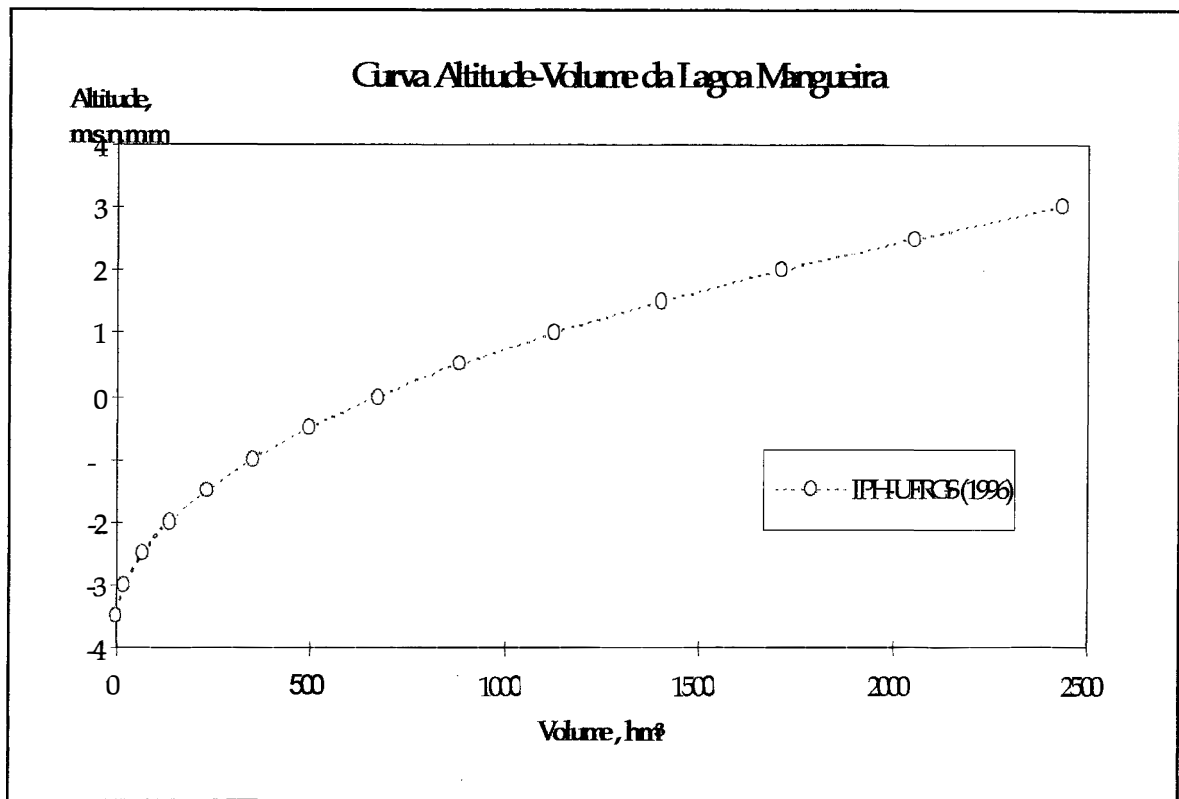


Figura 3.5 Curva Altitude-Volume da lagoa Mangueira.

Tabela 3.2 Batimetria da lagoa Mirim.

Altitude, s.n.m.m.#	Área, km <sup>2</sup>	Volume, Hm <sup>3</sup>
1,85	3863,54	16992,67
0,85	3572,42	13274,69
-0,15	3347,78	9814,59
-1,15	2933,85	6673,77
-2,15	2474,35	3969,67
-3,15	1838,94	1813,02
-4,15	877,85	454,63
-5,15	7,30	12,06
-6,15	5,07	5,87
-7,15	1,97	2,36
-8,15	0,95	0,90
-9,15	0,18	0,34
-10,15	0,16	0,17
-11,15	0,06	0,06
-12,15	0,03	0,02
-13,15	0,00	0,00

# Sobre o nível médio do mar na cidade de Torres.

Tabela 3.4 Batimetria da lagoa Mangueira.

Altitude, s.n.m.m.	Área, km <sup>2</sup>	Volume, Hm <sup>3</sup>
3,02	821,35	2434,87
2,52	711,80	2051,58
2,02	648,70	1711,46
1,52	586,64	1402,62
1,02	522,81	1125,26
0,52	452,60	881,41
0,02	385,12	671,98
-0,48	319,60	495,80
-0,98	263,09	350,13
-1,48	211,61	231,46
-1,98	165,70	137,13
-2,48	118,52	66,08
-2,98	72,36	18,36
-3,48	1,07	0,00

## **4 DADOS HIDROCLIMATOLÓGICOS**

Os dados hidroclimatológicos utilizados neste estudo foram obtidos junto as seguintes entidades: Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica do Brasil; Setor de Hidrografia do Ministério de Transportes e Obras Públicas do Uruguai e o acervo existente do Projeto Lagoa Mirim existente na Universidade Federal de Pelotas.

Os dados obtidos se referem ao seguinte:

- Estações Fluviométricas: localização, área de drenagem, séries de vazões e níveis (diárias), medições de vazões, seções transversais, curvas de descarga e histórico;
- Postos Pluviométricos: localização, altitude, séries diárias de precipitação;
- Postos Climatológicos: evaporação, radiação solar, insolação, umidade relativa, temperatura, velocidade e direção dos ventos na lagoa (dados diários ou mensais).

### **4.1 Histórico da Rede Hidrométrica**

Com a implantação da Comissão da Lagoa Mirim (CLM), em 1965, foi implantada uma rede hidrometeorológica no começo da operação da Comissão, e ao longo do projeto foram adicionadas novas estações. Aqui será relatado o cenário da rede existente até o final do desenvolvimento dos estudos da CLM.

O número de estações hidrométricas era muito escasso antes do início dos estudos desenvolvidos pela CLM. Os dados registrados pertenciam a diversas entidades e não podiam ser avaliados quanto a qualidade e confiabilidade.

No Uruguai, existiam onze linímetros de leitura diária, entre eles, Treinta y Tres e Paso de la Laguna sobre o rio Olimar e La Charqueada sobre o rio Cebollati, com início de operação de 1911; Villa Passano sobre o rio Olimar, início em 1917; e Rio Branco no Jaguarão com início em 1918. No início do ano 1965, apenas 6 ainda estavam em funcionamento. Alguns foram reinstalados por desconhecer-se as referências de níveis das escalas.

Apenas para as estações de Treinta y Tres e La Charqueada existiam séries de níveis completas para o período de 1911 a 1965 que foram de grande utilidade para estudos da CLM (Proyecto Regional Laguna Merin, Nota Técnica N° 12, 1969).

No Brasil, existiam oito linímetros mantidos ininterruptamente até 1965, mas somente três estações possuíam dados em entidades: Pelotas sobre o canal São Gonçalo e Jaguarão sobre o rio Jaguarão, com início em 1941; e Santa Vitória sobre a lagoa Mirim, desde 1945. As restantes foram instaladas em 1963. Além disto,

existiam 4 registradores de nível (linígrafos) em Pelotas, sobre o canal São Gonçalo, instalados em 1941; Passo do Ricardo em 17/09/65 e Picada Nova em 27/10/65 sobre o rio Piratini; e Contrato em 17/12/65 sobre o arroio Basílio.

A CLM estendeu a rede hidrométrica na bacia instalando estações em todos os rios que, sob o seu ponto de vista, eram importantes; em arroios com determinadas condições; em lagunas litorâneas e na própria lagoa. A extensão realizada, denominada de “extensão racionalizada” foi condicionada à investigação dos seguintes objetivos:

- Balanço hidrológico da lagoa Mirim.
- Curvas-chave em pontos de represamento.
- Estudos em bacias experimentais.
- Flutuações da lagoa Mirim- Problema de “*la Seiche*”.
- Estudos de salinidade na lagoa Mirim.
- Estudos hidrológicos dos Banhados de Rocha.
- Estudo da influência da área da bacia sobre as cheias.
- Relações precipitação-vazão.

A rede hidrométrica instalada pela CLM era constituída por registradores automáticos de nível e por linímetros de leitura diária, sendo que no Uruguai existiam 10 registradores e 22 linímetros, e no Brasil 14 registradores e 22 linímetros. Com este número de equipamentos, a CLM passou a contar com uma densidade de aproximadamente 1 estação para cada 1000 km<sup>2</sup>.

## **4.2 Climatologia**

### **4.2.1 Dados Obtidos para o Estudo Presente**

As séries pluviométricas e climatológicas referentes ao período anterior à CLM no Uruguai, segundo informação do Serviço de Meteorologia em Montevideu, são escassas e pouco confiáveis. Normalmente, os dados que não pertencem à rede básica de trabalho da citada instituição são de difícil acesso e de má qualidade.

Quanto aos dados climatológicos na região uruguaia, somente 2 estações realizam medições: Melo e Treinta y Tres. O início de operação destas estações data do começo da década de 80.

O Serviço de Meteorologia do Uruguai, único órgão encarregado de realizar medições pluviométricas e climatológicas nesse país, não disponibiliza dados e informações hidrológicas. Sobre todas as informações divulgadas por este serviço é vinculado um custo que, para o âmbito deste projeto, apresentou-se excessivo. Desta forma, os dados pluviométricos obtidos na região uruguaia são somente aqueles



coletados no Setor de Hidrografia do MTOP que correspondem a 16 estações nos anos de 1960 a 1990. Além disto, as outras informações disponíveis acerca do regime pluviométrico nas sub-bacias da bacia da Lagoa Mirim, restringem-se aos valores mensais apresentados na Nota Técnica N° 11 divulgada pela CLM em 1969. Nela a bacia da Lagoa Mirim foi dividida em 12 zonas e, pelo método de polígonos de Thiessen, foram calculadas as precipitações mensais em cada zona, para os anos de 1911 a 1968. A divisão da bacia em zonas foi realizada unicamente em função da localização dos reservatórios existentes na época do estudo.

No Brasil, foram obtidos dados de precipitação para aproximadamente 60 estações, sendo que todas estão em território brasileiro. A maioria das séries corresponde ao período entre 1966 e 1995.

Os dados climatológicos foram obtidos para 20 estações, coletados no acervo existente na Agência da Lagoa Mirim em Pelotas, no Rio Grande do Sul. A maioria das séries é do período de 1963 a 1990.

As tabelas 4.1 e 4.2 apresentam a relação dos postos pluviométricos e climatológicos obtidos pelo IPH. Estas séries foram avaliadas e consistidas para complementação e preenchimento das falhas existentes nos seus respectivos períodos. A localização destes postos é apresentada na figura 4.1.

## **4.3 Fluviometria**

### **4.3.1 Dados Obtidos para o Estudo Presente**

Para a elaboração do atual estudo de Balanço Hídrico para a bacia da Lagoa Mirim, as estações com potencial de uso são aquelas mantidas pela CLM que, quando extinta em 1971, fornecia estudos e dados da bacia. Além das informações obtidas nos acervos da CLM, utilizaram-se também dados da Companhia Estadual de Energia Elétrica do Estado do Rio Grande do Sul, do Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica e do Setor de Hidrografia do Ministério dos Transportes e Obras Públicas do Uruguai que, no presente momento, mantêm estações hidrométricas na região, como também detém informações de estações anteriormente mantidas pela CLM.

Uma análise comparativa entre as redes instalada em 1968 e a rede atual permite verificar uma notável redução no número de estações que, teoricamente, hoje deveriam possuir séries de níveis e vazões de pelo menos 20 anos.

Os dados de fluviometria e descarga disponíveis na região são apresentados nas tabelas 4.4 e 4.5. A localização destes postos é apresentada na figura 4.2

Na região uruguaia, muitos dados de níveis e medições de descargas coletados pela CLM em seu período de atuação foram, segundo informações obtidas por funcionários que hoje se encontram na Comissão Mista Brasil-Uruguai, perdidos por ação de incêndio. Para os dados de níveis, vazões, relações de calibragem e/ou

medições de descarga, no Uruguai, o único órgão responsável pela aferição destas informações é o Setor de Hidrografia do Ministério dos Transportes e Obras Públicas. Nesse setor foram coletados todos os dados que, segundo o funcionário encarregado do fornecimento de dados na região, estavam disponíveis. Estes se referem a níveis e vazões para o período de 1965 a 1996 em 6 estações.

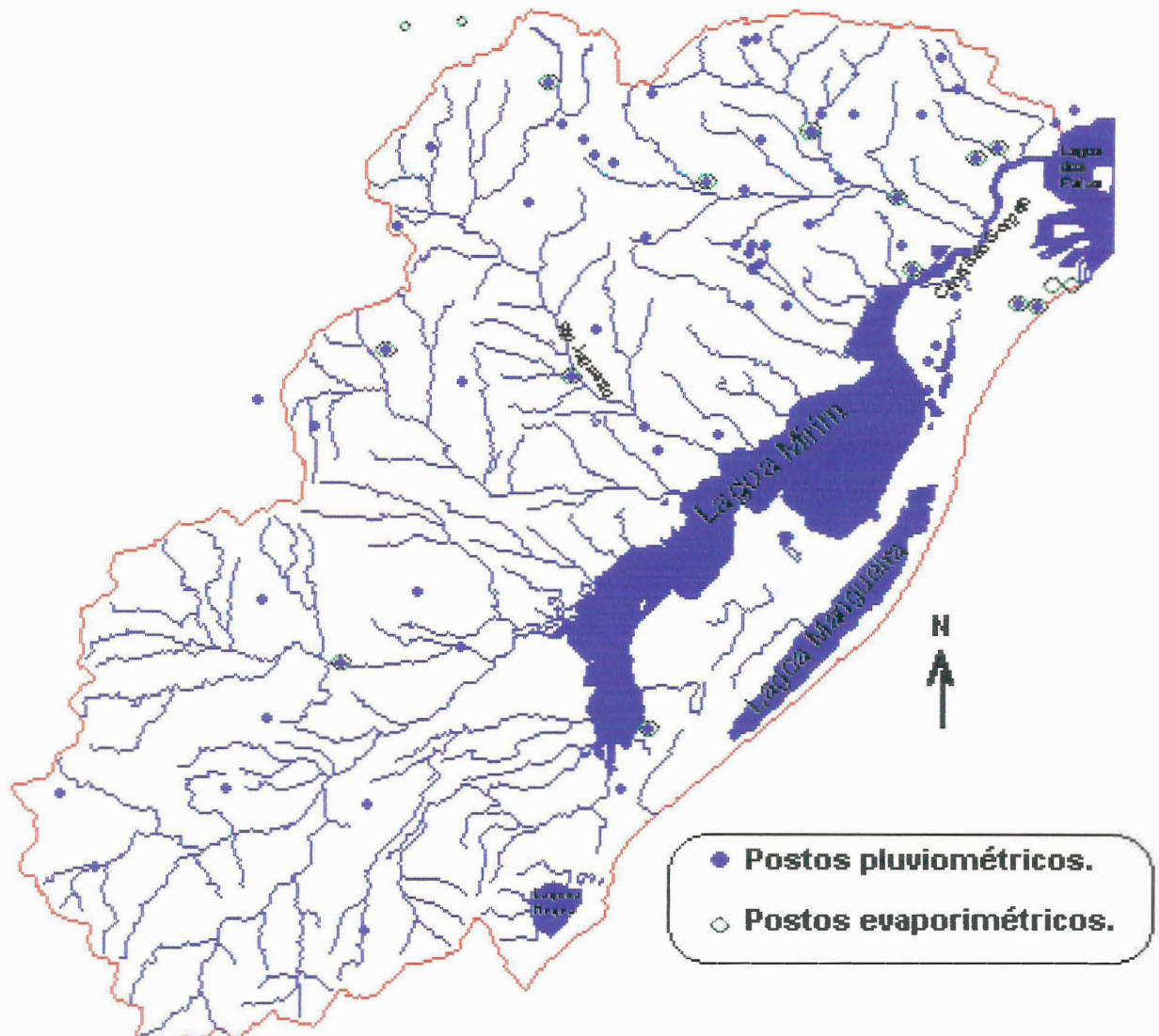


Figura 4.1. Localização dos postos climatológicos.

No Brasil, foram obtidos níveis para aproximadamente quinze estações. Na maioria dos postos as séries são do período de 1966 a 1995. Valores de vazões, no entanto, foram obtidos apenas para 11 estações.

Através de consultas a boletins, notas técnicas e relatórios de estudos divulgados pela CLM, foi possível obter relações de calibração e informações básicas para algumas estações da bacia.

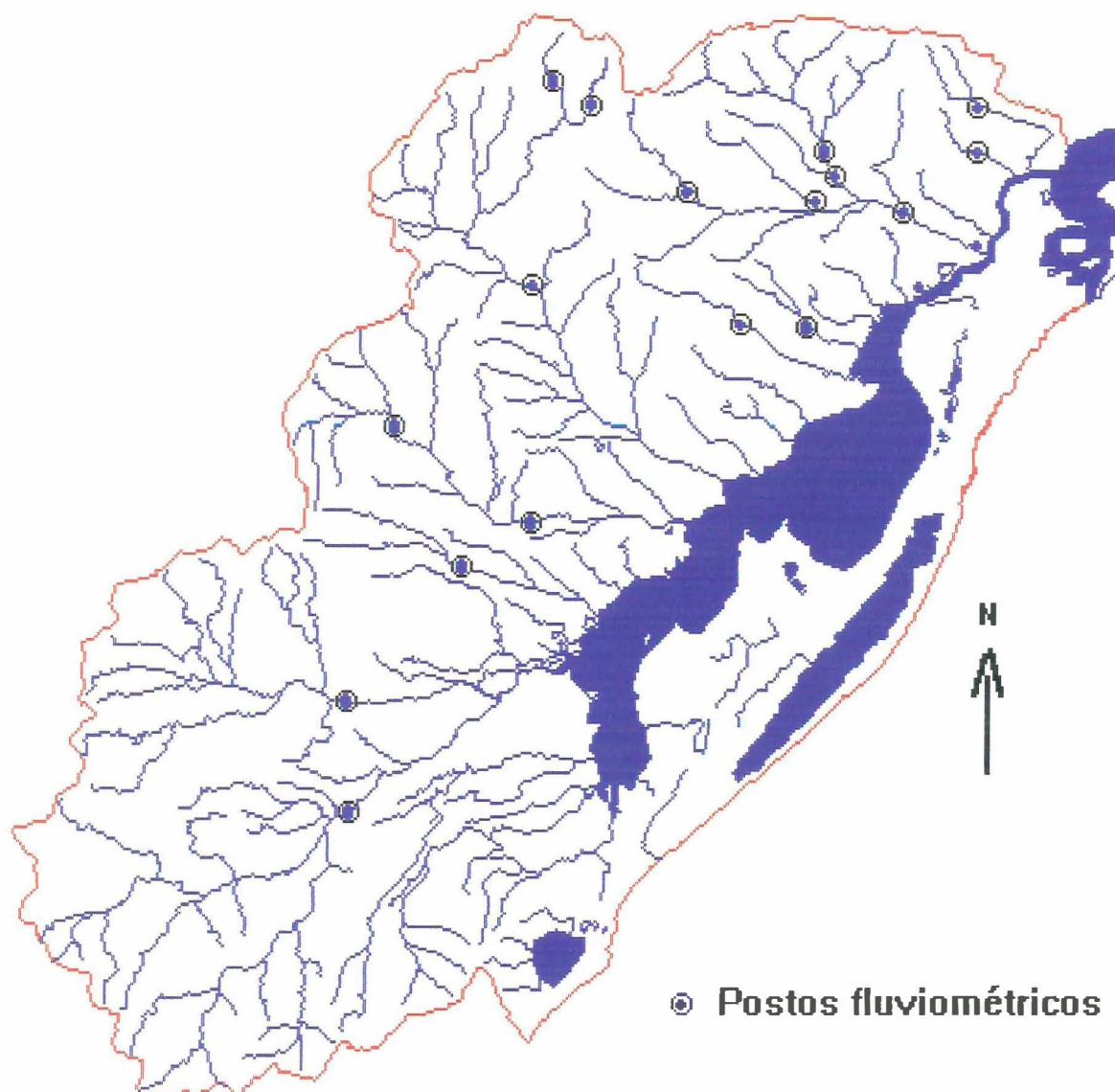


Figura 4.2. Localização dos postos fluviométricos.

#### 4.3.2 Avaliação dos dados fluviométricos

Os postos fluviométricos brasileiros foram avaliados e qualificados segundo os parâmetros que a ELETROBRAS (1985) sugere para este tipo de análise. Os resultados desta avaliação, aplicados a cada um dos postos estudados por Obregón (1997), são apresentados no Anexo D.

Existe uma boa quantidade de dados na faixa inferior das vazões, mas não se dispõe de informações sobre sua qualidade. Cabe observar que a maioria dos postos tem leito arenoso ou com mudanças da seção. Na faixa das vazões máximas aparecem problemas com relação à extrapolação da curva chave, existência de mais de uma curva, leito de extravasamento sem medições, o que leva a uma má qualificação.



Tabela 4.1. Dados pluviométricos disponíveis (Continuação).

DADOS DE PLUVIOMETRIA																																							
N	Código	Nome da estação	Município	Entidade	Coordenadas			Início	Período com dados disponíveis																														
					Lat	Long	Alt.		1960				1970					1980				1990																	
					(graus)	(graus)	(m)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
30	03154002	Colônia Nova	Bage	DIVERSOS	3142	5404	0										*																						
31	03252003	Estância do Curtume	Rio Grande	DNAEE	3227	5236	4																																
32	03252004	Granja Aimoré	Rio Grande	CLM	3252	5242	0																																
33	03252005	Granja Cel Pedro Osorio	Arroio Grande	DNAEE	3203	5238	20																																
34	03252006	Granja Cerrito(Ex.D.Cludina)	Rio Grande	DNAEE	3221	5232	4																																
35	03252007	Granja Quatro Irmãos	Rio Grande	CLM	3212	5228	0																																
36	03252008	Granja Sta Maria(Cassino)	Rio Grande	DNAEE	3224	5233	12																																
37	03252009	Ponta Alegre	Arroio Grande	CLM	3222	5247	0																																
38	03252011	Santa Izabel	Arroio Grande	CLM	3207	5236	0																																
39	03252012	Taim	Rio Grande	DNAEE	3230	5235	3																																
40	03252018	Granja Santa Marta	Arroio Grande	CLM	3214	5258	0																																
41	03252019	Olimpo	Arroio Grande	DNAEE	3214	5214	30	1943/44																															
42	03253001	Arroio Grande	Arroio Grande	DNAEE	3214	5305	20																																
43	03253003	Granja Osorio	Sta. Vitória Palmar	DNAEE	3249	5303	3																																
44	03253004	Eral	Herval	DNAEE	3201	5323	260																																
45	03253005	Jaguarão	Jaguarão	INEMET	3233	5323	11	1934	*	-	=	=																											
46	03253006	Fazenda São Francisco	Jaguarão	CLM	3237	5310	0																																
47	03253007	Telho	Jaguarão	CLM	3218	5332	0																																
48	03253009	Pedreiras	Arroio Grande	CLM	3203	5302	0																																
49	03253010	Chacara Basilio	Arroio Grande	CLM	3206	5303	0																																
50	03253011	Passo da Estiva	Arroio Grande	CLM	3203	5304	0																																
51	03253012	Santa Rosa	Arroio Grande	CLM	3207	5304	0																																
52	03253013	Escola Pedro I	Arroio Grande	CLM	3204	5305	0																																
53	03253014	Faz. São Domingos	Arroio Grande	CLM	3203	5307	0																																
54	1537	Aceguá		DNM-UR	3159	5409	220			-	-	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#		
55	1709	Melo	Arroio Conventos	DNM-UR	3222	5411	100			#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	
56	1798	Arroio Malo		DNM-UR	3231	5431	190			=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	
57	1840	Guazunambi		DNM-UR	3236	5421	220			=	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	





Tabela 4.3. Dados fluviométricos disponíveis.

DADOS FLUVIOMÉTRICOS																												
N	Código	Nome da estação	Curso da Água	Entidade	Coordenadas		Área (Km <sup>2</sup> )	Início	Período com dados disponíveis																			
					Lat (graus)	Long (graus)			1960					1970					1980					1990				
									0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
1	88050000	Santa Vitória	Lagoa Mirim	CLM	3329	5325	-	1942	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					
2	88100000	Granja Mangueira	Lagoa Mangueira	CLM	3306	5253	-							*	*	*	*	*	*	*	*	*						
3	88370000	Arroio Grande	Arroio Grande	CLM	3214	5307	7254							*	*	*	*	*	*	*	*	*						
4	88350000	Taim	Lagoa Mirim	CLM	3230	5236	-							*	*	*	*	*	*	*	*	*						
5	88400000	Granja Santa Marta	Arroio Chasqueiro	DNAEE	3210	5302	279							*	*	*	*	*	*	*	*	*						
6	88550000	Ponte do Império	Rio Piratini	DNAEE	3135	5259	1873							*	*	*	*	*	*	*	*	*						
7	88575000	Cerro Chato	Arroio Basílio	DNAEE	3151	5317	1043							*	*	*	*	*	*	*	*	*						
8	88560001	Picada Nova	Rio Piratini	DNAEE	3148	5251	2236							*	*	*	*	*	*	*	*	*						
9	88600001	Contrato	Arroio Basílio	DNAEE	3152	5254	2371							*	*	*	*	*	*	*	*	*						
10	88680000	Passo do Ricardo	Rio Piratini	DNAEE	3154	5239	5396							*	*	*	*	*	*	*	*	*						
11	88700000	Zona "B" - Barra do Piratini	Can. S. Gonçalo	CLM	3200	5226	-							*	*	*	*	*	*	*	*	*						
12	88750000	Passo dos Carros	Rio Fragata	DNAEE	3144	5226	133							*	*	*	*	*	*	*	*	*						
13	88850000	Ponte Cordeiro de Farias	Arroio Pelotas	DNAEE	3136	5226	362							*	*	*	*	*	*	*	*	*						
14	-	Zona "D" - Sta. Isabel Sul	Can. S. Gonçalo	CLM	3207	5236	-							*	*	*	*	*	*	*	*	*						
15	10,1	Treinta Y Tres	Olimar Grande	MTOP	3315	5424	4680							*	*	*	*	*	*	*	*	*						
16	15,0	Paso Averias	R. Cebollati	MTOP	3337	5420	7647	1934	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*						
17	96,0	Paso Borches	R. Tacuari	MTOP	3232	5408	1421							*	*	*	*	*	*	*	*	*						
18	97,0	Paso Dragón	R. Tacuari	MTOP	3246	5345	3540							*	*	*	*	*	*	*	*	*						
19	100,0	Paso Centurión	R. Jaguarão	MTOP	3207	5344	4700							*	*	*	*	*	*	*	*	*						
20	109,0	Vergara	Arroio Parao	MTOP	3256	5356	1062							*	*	*	*	*	*	*	*	*						

Legenda:

\* Dados diários sem falhas

- Dados diários com falhas





As falhas nos valores mensais existentes nos períodos de registro foram analisadas. Para os postos com dados diários foram considerados meses com falhas aqueles com mais de quatro dias sem dados, impossibilitando a determinação do valor médio mensal.

Na tabela 4.5 é apresentado o número de meses com falhas e a porcentagem com relação ao total de meses no período de 1965 a 1995. O preenchimento dessas falhas foi efetuado utilizando um modelo hidrológico, para obter uma série completa de informação durante o período de análise (capítulo 5).

Tabela 4.5. Número de falhas das séries históricas no período analisado.

Nº	Posto	Período	Nº de meses no período	Nº de meses preenchidos	Porcentagem (%) preenc.
1	Treinta y Tres	1965-1995	372	203	54,57
2	P. Averias	1965-1995	372	117	31,45
3	Paso Borches	1965-1995	372	193	51,88
4	Paso Dragón	1965-1995	372	90	24,19
5	P. Centurión	1965-1995	372	108	29,03
6	Vergara	1965-1995	372	100	26,88
7	D. Lassance	1965 -1995	372	0	0
8	Candiotinha	1965-1995	372	0	0
9	Ar. Grande	1965-1995	372	235	63,17
10	G. Sta. Marta	1965-1995	372	0	0
11	P. do Império	1965-1995	372	0	0
12	Picada Nova	1965-1995	372	0	0
13	Cerro Chato	1965 - 1995	372	0	0
14	Contrato	1965-1995	372	0	0
15	P. do Ricardo	1965-1995	372	0	0
16	P. dos Carros	1965-1995	372	0	0
17	Pte. C. Farias	1965-1995	372	0	0

### 4.3.3 Análise de Representatividade Temporal/Espacial

As dezessete séries de vazões selecionadas para o estudo têm períodos de dados que variam de 5 anos sem falhas (e 11 com falhas) para o arroio Grande em Arroio Grande até 31 anos nas bacias estudadas por Obregón (1997). Estas correspondem as bacias 6, 8 e 10 a 17. Como foi apresentado na tabela 4.3, os períodos são quase totalmente heterogêneos e com falhas, exceto as bacias anteriormente estudadas. A localização das bacias é apresentada na figura 4.3.

### Análise de Continuidade

Na figura 4.4 é apresentado um esquema dos principais afluentes da lagoa Mirim. Nas bacias do rio Tacuari e Piratini foi feita a análise de continuidade das séries fluviométricas. Nos demais rios não foi possível esta análise por contar com um só posto fluviométrico. Dos resultados dessa análise observou-se o seguinte:

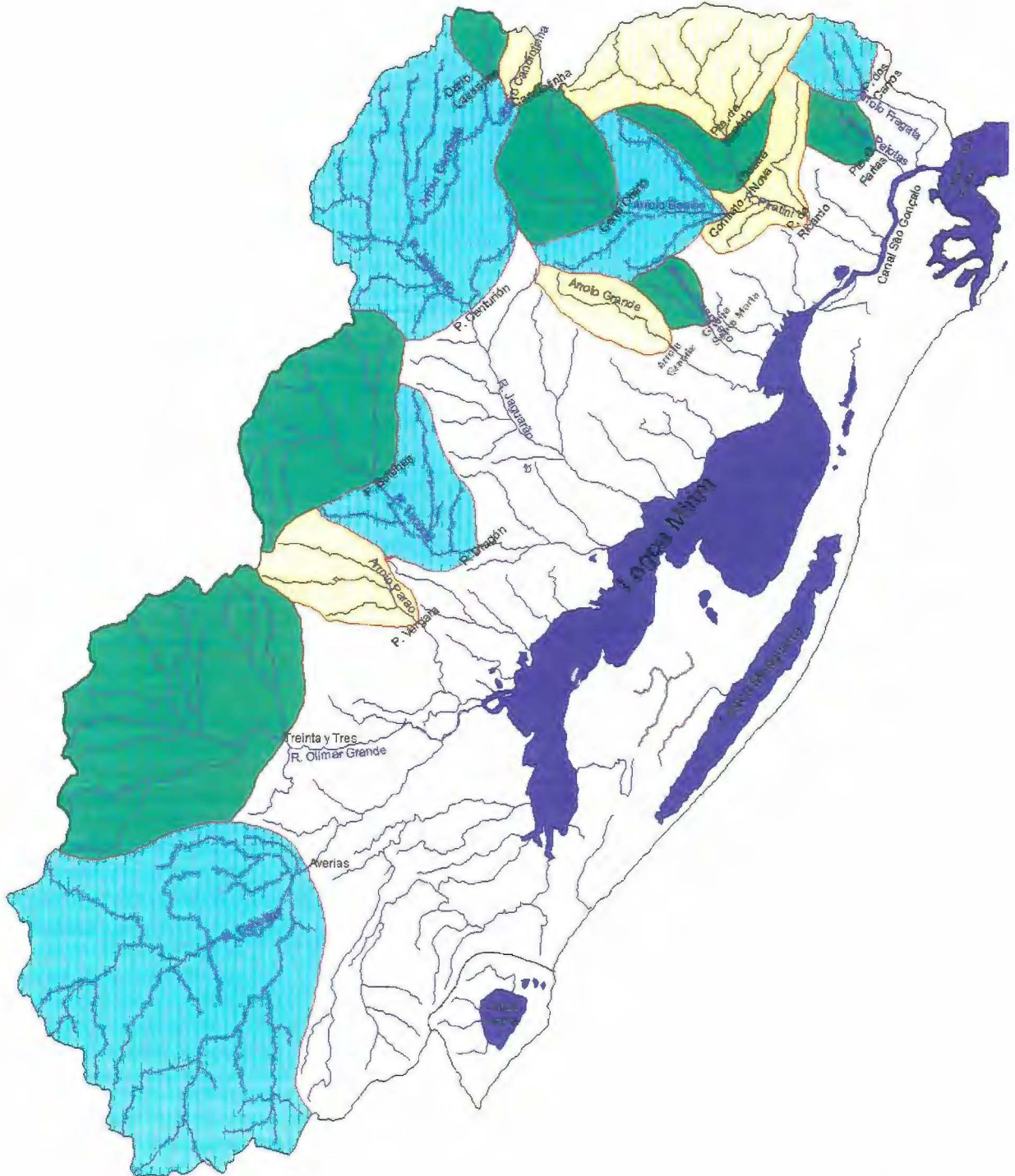


Figura 4.3- Sub-bacias afluentes à lagoa Mirim com dados de vazão.

- Existe continuidade de volume compatível nos dados médios mensais entre os
- postos de Cerro Chato - Contrato com Passo do Ricardo. No entanto, observando os volumes mensais nos postos de Ponte Império e Picada Nova, existem, neste último, alguns períodos com menor volume do que a montante, segundo a série histórica; isto deve-se, principalmente, pela pouca distância (9 km) entre esses postos e as influências nas medições e nos valores de fins de mês e o início do subsequente que podem influenciar as próprias médias (Obregón,1997).
  - Na bacia do Rio Taquari, há também boa continuidade entre os postos de Paso Borches e Paso Dragón.
  - Os dados apresentam uma boa continuidade nas séries anuais.

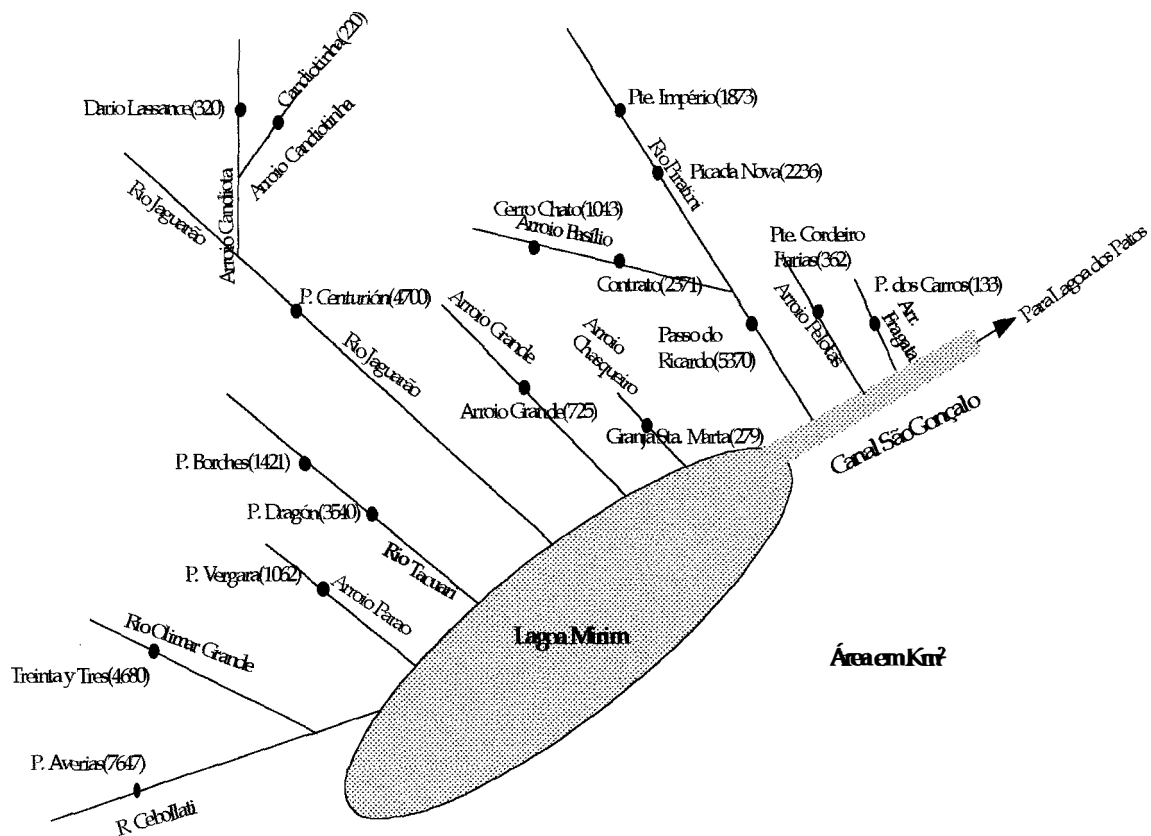


Figura 4.4. Esquema dos cursos d'água na região em estudo.

#### 4.4. Banco de Dados

Este trabalho originou um banco de dados que contém as séries climatológicas, de evaporação e precipitação, e fluviométricas, de níveis e vazões, utilizadas. Para a maioria das estações hidrometeorológicas, as séries se compõem de dados diários.

Os valores de precipitação preenchidos com o método Dupla Massa foram introduzidos às séries de precipitação, na forma de totais mensais.

O banco de dados é apresentado em forma digital, no formato do aplicativo Excel do Windows. Os arquivos que o compõem são os seguintes:

- 1- chuva1.xls: Precipitação diária nas estações com código DNAEE 03152003 a 03152014.
- 2- chuva2.xls: Precipitação diária nas estações com código DNAEE 03152015 a 031530008.
- 3- chuva3.xls: Precipitação diária nas estações com código DNAEE 03153009 a 03252007.
- 4- chuva4.xls: Precipitação diária nas estações com código DNAEE 03252008 a 03252019.
- 5- chuva5.xls: Precipitação diária nas estações com código DNAEE 03253001 a 03353007 e na estação Candiota. Contém, também, dados de precipitação mensal sobre a lagoa Mirim.
- 6- chuva6.xls: Precipitação diária nas estações com código DM-UR 1537 a 2646.
- 7- evapo\_br.xls: Evaporação diária em estações climatológicas no lado brasileiro e valores calculados para a região da lagoa Mangueira e na lagoa Mirim.
- 8- evapo\_ur.xls: Evaporação mensal nas estações de Melo e Treinta y Tres do lado uruguaio.
- 9- nivel\_br.xls: Níveis diários em estações fluviométricas no lado brasileiro e valores calculados na lagoa Mirim.
- 10- nivel\_ur.xls: Níveis diários em estações fluviométricas no lado uruguaio.
- 11- vazao\_br.xls: Vazões diárias nas estações com código DNAEE 88179000 a 88850000.
- 12- vazao\_ur.xls: Vazões diárias em estações uruguaias.

## **5 CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DAS BACIAS CONTRIBUINTES**

### **5.1 Séries de Precipitação**

As séries pluviométricas disponíveis nas bacias afluentes à Lagoa Mirim possuem falhas que necessitam ser analisadas e, de acordo com as condições hidrológicas, preenchidas. Na tabela 5.1 são apresentados os postos, os períodos disponíveis e as estações utilizadas para preenchimento dos valores mensais (apoios). As séries foram preenchidas usando técnicas de correlação com postos vizinhos. Antes e após o preenchimento da série é necessário analisar sua consistência dentro de uma visão regional, isto é, comprovar o grau de homogeneidade dos dados disponíveis num posto com relação às observações registradas em postos vizinhos.

#### **Análise de consistência**

Para esta análise foi aplicado o método da Dupla Massa, desenvolvido pelo Geological Survey (Estados Unidos), que é uma prática comum adotada no Brasil para séries de precipitação mensais ou anuais. Este método consiste em selecionar os postos de uma região, acumular para cada um deles os valores mensais, e plotar num gráfico cartesiano os valores acumulados correspondentes ao posto a consistir (nas ordenadas), e de um outro posto confiável adotado como base de comparação (nas abcissas).

Um aprimoramento do método consiste em obter os valores médios das precipitações mensais acumuladas em vários postos da região, e utilizar a série assim formada como base de comparação (plotando estes valores nas abcissas). Esta última alternativa foi utilizada para avaliar a consistência dos dados pluviométricos da bacia da Lagoa Mirim.

A partir da análise dos dados disponíveis selecionou-se o período de março de 1965 a dezembro de 1995, que é comum a um grande número de postos. A análise de consistência pelo método descrito acima foi realizada para este período.

O Anexo E contém as figuras E1 a E62 que apresentam os resultados do método da Dupla Massa para os postos analisados e seus respectivos períodos.

#### **Preenchimento de Falhas**

No presente trabalho foi realizada uma análise por estação, tendo como objetivo identificar postos com mesma tendência, para preenchimento de falhas. Para isso, os valores diários foram acumulados para formar séries de precipitações mensais, considerando como mês com falha todo aquele com 4 dias ou mais sem dados de precipitação. Estas séries mensais foram, então, acumuladas ao longo do tempo, e comparadas com estações vizinhas (agrupadas por proximidade). A relação entre as estações deve apresentar uma tendência constante quando é consistente.

Na tabela 5.1 são apresentados os postos para os que foi necessário o preenchimento das falhas com a metodologia descrita, os postos regionais que serviram como base para o preenchimento, os períodos de análise, o fator de relação entre os valores registrados no posto e os valores médios regionais e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido.

Tabela 5.1 Postos analisados com o método da Dupla Massa.

N	Estação analisada	Apoios	Período	Fator de Relação	$R^2$
1	Canguçu	2, 13, 23, 24	1967 a 1995	0,980	0,986
2	Cascata - IPEAS	1, 4, 13, 23	1967 a 1981	0,977	1,000
3	Vila Freire	7, 8, 14, 19	1976 a 1995	1,000	1,000
4	Granja Cotovelo	5, 6, 9, 11, 13	1966 a 1976	0,980	0,999
5	Granja Dona Cecília	4, 6, 9, 11, 13	1966 a 1976	1,030	0,998
6	Granja São Pedro	4, 5, 11, 13	1966 a 1995	0,938	0,999
7	Marmeleiro	3, 8, 10, 14	1966 a 1981	0,985	0,999
8	Morro Redondo	3, 7, 13, 14	1966 a 1981	1,070	0,999
9	Passo do Ricardo	3, 10, 12, 15, 38	1964 a 1983	0,965	0,997
10	Pedro Osório	9, 14, 15, 19, 33	1977 a 1995	1,218	0,994
11	Pelotas	4, 5, 6	1966 a 1970	0,757	0,957
12	Pelotas - IPEAS	4, 5, 6	1965 a 1995	0,791	0,990
13	Pte. Cordeiro Farias	1, 2, 4, 8	1965 a 1995	1,044	0,999
14	Ponte do Império	3, 7, 8, 10, 19	1976 a 1990	0,995	0,999
15	Matarazzo Palma	9, 10, 23	1966 a 1981	0,924	0,996
16	Cerro Baú	20, 21, 22, Paraíso (03153003)	1966 a 1981	1,059	1,000
17	Cerro Chato	16, 19, 20, 21, 44	1977 a 1985	0,879	0,997
19	Ferraria	3, 7, 10, 14, 17	1976 a 1995	1,017	0,999
20	Matarazzo Bagé	16, 21, 44	1966 a 1981	0,850	0,999
21	Pedras Altas	16, 17, 20, 22, 26	1966 a 1995	0,963	0,997
22	Pinheiro Machado	19, 21, 26, 29	1966 a 1995	1,061	0,999
23	Piratini	22, 23, Paraíso (03153003)	1965 a 1970	0,929	0,990
24	Piratini	1, 22, 23	1965 a 1976	0,969	0,999
25	Seival	22, 26, 28, Torrinha (03153017)	1966 a 1981	0,894	0,996
26	Usina Candiota	22, 25, 28	1965 a 1980	0,810	0,993
28	Pedras Altas R.V.M	16, 21, 22, 26	1971 a 1977	0,956	0,998
29	Est. Experimental	1, 2, 26	1980 a 1985	0,831	0,995
30	Colônia Nova	25, 26, 28	1966 a 1981	1,014	0,999
31	Estância Cortume	34, 36, 39, Gr. 4 Irmãos (03252007)	1965 a 1976	0,993	0,997
32	Granja Aimoré	31, 34, 36, Gr.Sta.Marta (03252018)	1966 a 1981	0,968	0,999

Tabela 5.1 Postos analisados com o método da Dupla Massa (Cont.).

N	Estação	Apoios	Período	Fator de Relação	R <sup>2</sup>
33	Granja Cel. Pedro Osório	9, 15, 38, Gr. 4 Irmãos (03252007)	1966 a 1995	1,032	1,000
34	Granja Cerrito	31, 36, 39, Ponta Alegre (03252009), Granja 4 Irmãos (03252007)	1965 a 1995	0,971	0,999
36	Gr Santa Maria	31, 34, 39, Ponta Alegre (03252009), Granja 4 Irmãos (03252007)	1965 a 1995	1,037	0,999
38	Santa Izabel	4, 9, 33, Ponta Alegre (03252009)	1971 a 1977	0,958	0,999
39	Taim	31, 34, 36, Gr. 4 Irmãos (03252007)	1965 a 1976	0,804	0,985
42	Arroio Grande	44, 49, 51, 53, Granja Santa Marta (03252018)	1967 a 1995	0,906	0,998
43	Granja Osório	32, 34, 46, Ponta Alegre (03252009)	1965 a 1995	1,080	0,998
44	Eerval	17, 42, 48, 52	1968 a 1995	1,141	0,999
46	Faz. São Francisco	43, 44, 47, 48	1967 a 1981	0,976	0,999
47	Telho	43, 44, 55	1966 a 1981	0,947	0,999
48	Pedreiras	44, 50, 51, 52	1971 a 1977	0,962	0,999
49	Chácara Basílio	44, 51, 52, 53	1971 a 1977	0,923	0,999
50	Passo da Estiva	44, 49, 51, 52	1971 a 1977	1,015	0,999
51	Santa Rosa	44, 49, 50, 52	1971 a 1977	0,936	0,999
52	Escola Pedro I	44, 49, 50, 51	1971 a 1977	0,974	0,999
53	Faz. São Domingos	44, 49, 50, 51	1971 a 1977	0,951	0,998
55	Melo	54, 56	1962 a 1968	0,945	0,998
56	Arroio Malo	55, 57, 58	1980 a 1988	1,104	0,998
57	Guazunambi	56, 58	1980 a 1988	1,172	1,000
58	Rio Branco	56, 57	1980 a 1988	0,780	0,997
59	Isla Patrula	61	1976 a 1990	1,101	0,998
60	Bañado de Oro	61, 62	1963 a 1965	0,795	0,999
61	Treinta y Tres	59, 62	1976 a 1990	1,006	0,999
62	La Charqueada	60, 61	1963 a 1965	1,022	0,996
63	José Varela	61, 65, 66	1980 a 1984	1,057	0,997
64	Mansarilagua	65, 68	1962 a 1966	0,877	0,998
65	Retamosa	63, 64, 68	1980 a 1981	0,885	0,991
66	Lascano	67, 69	1976 a 1982	0,933	0,995
67	Cheuy	66, 69	1970 a 1982	0,844	0,998
68	Barriga Negra	64, 65	1962 a 1966	1,140	0,997
69	India Muerta	66, 67	1976 a 1982	1,249	0,998



## Precipitação Média

As séries preenchidas foram utilizadas para o cálculo das precipitações médias em cada sub-bacia. Esses cálculos foram realizados pelo método de Thiessen. Os coeficientes de Thiessen variaram segundo a disponibilidade de dados no tempo e espaço. As séries de precipitações dos totais médios mensais e anuais em cada sub-bacia são apresentadas no Anexo F.

A determinação da precipitação sobre a lagoa Mirim se deu pela utilização de dados mensais registrados em estações localizadas às margens da lagoa. Utilizou-se o método de Polígonos de Thiessen para a estimativa a precipitação média, considerando a disponibilidade temporal e espacial das informações. Para a maioria das estações utilizadas, as séries disponíveis apresentavam homogeneidade satisfatória, com exceção das séries registradas em estações uruguaias, limitadas ao período de 1960 a 1995. Os valores de precipitação média, mínima e máxima sobre a lagoa são apresentados na tabela 5.2.

## Distribuição Sazonal e Temporal

Na figura 5.1 pode-se observar a variabilidade sazonal da precipitação para três bacias (precipitação média sobre a bacia): Passo do Ricardo, localizada ao Norte; Averias, localizada ao Sul e Passo do Dragón, localizada no Centro da região em estudo. Pode-se observar que os maiores índices pluviométricos ocorrem no Norte da região. Utilizando as mesmas bacias, na figura 5.2 são apresentados os valores de precipitação anual, e na figura 5.3 a média móvel de três anos da precipitação anual adimensionalizada segundo a sua média. Nestes gráficos pode-se observar que os períodos de 60 a 62, 68 a 70, 73 a 75 e 88 a 90 foram os mais críticos.

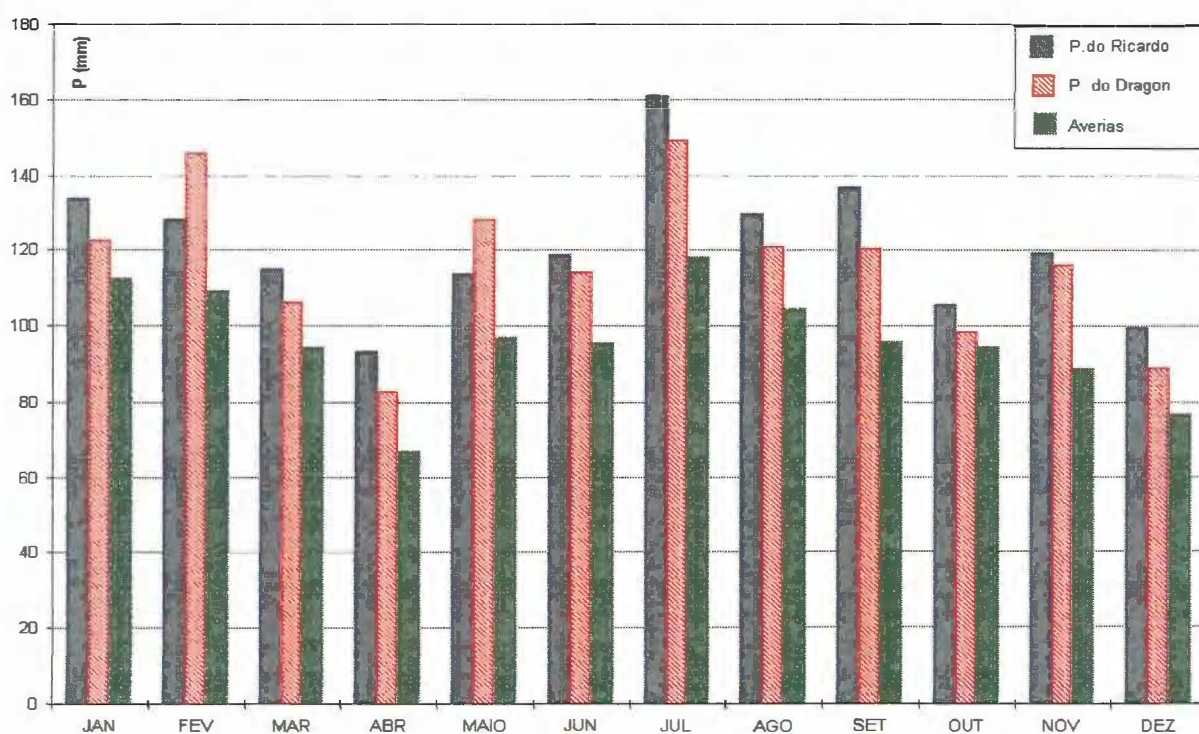


Figura 5.1 -Precipitações médias mensais nas regiões Norte, Sul e Centro da região.

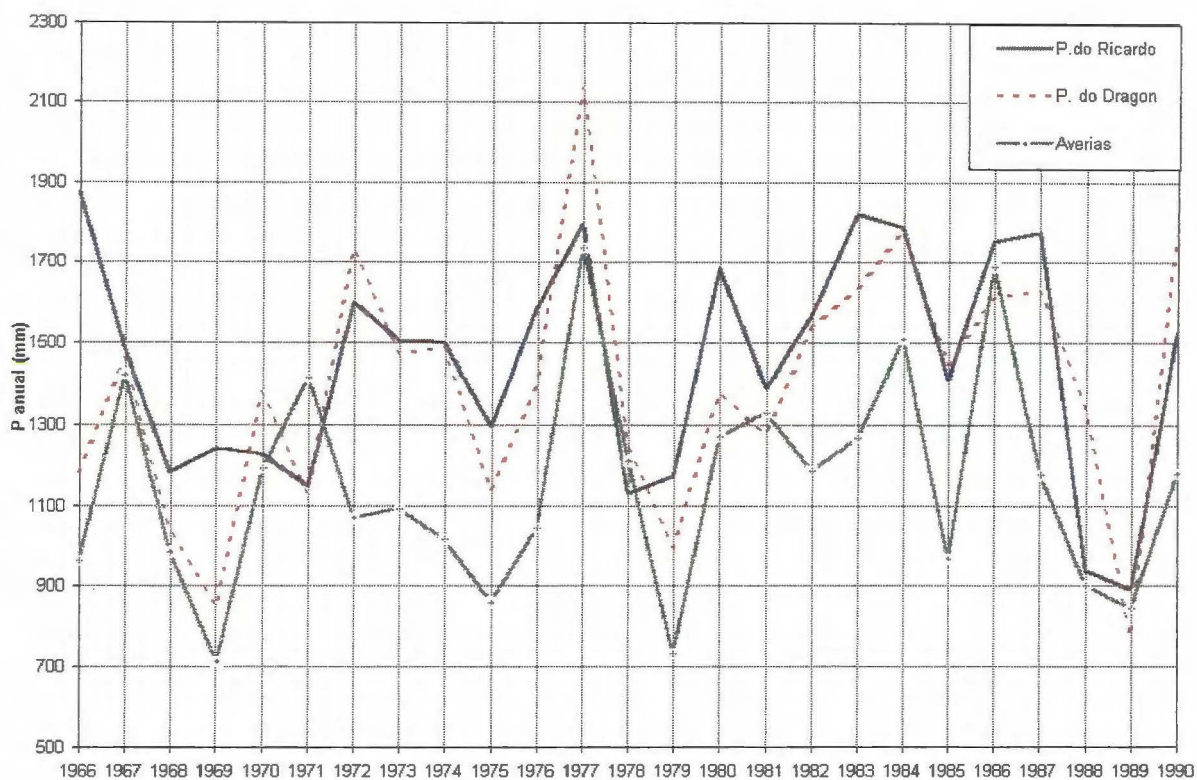


Figura 5.2 - Totais pluviométricos anuais para as três regiões.

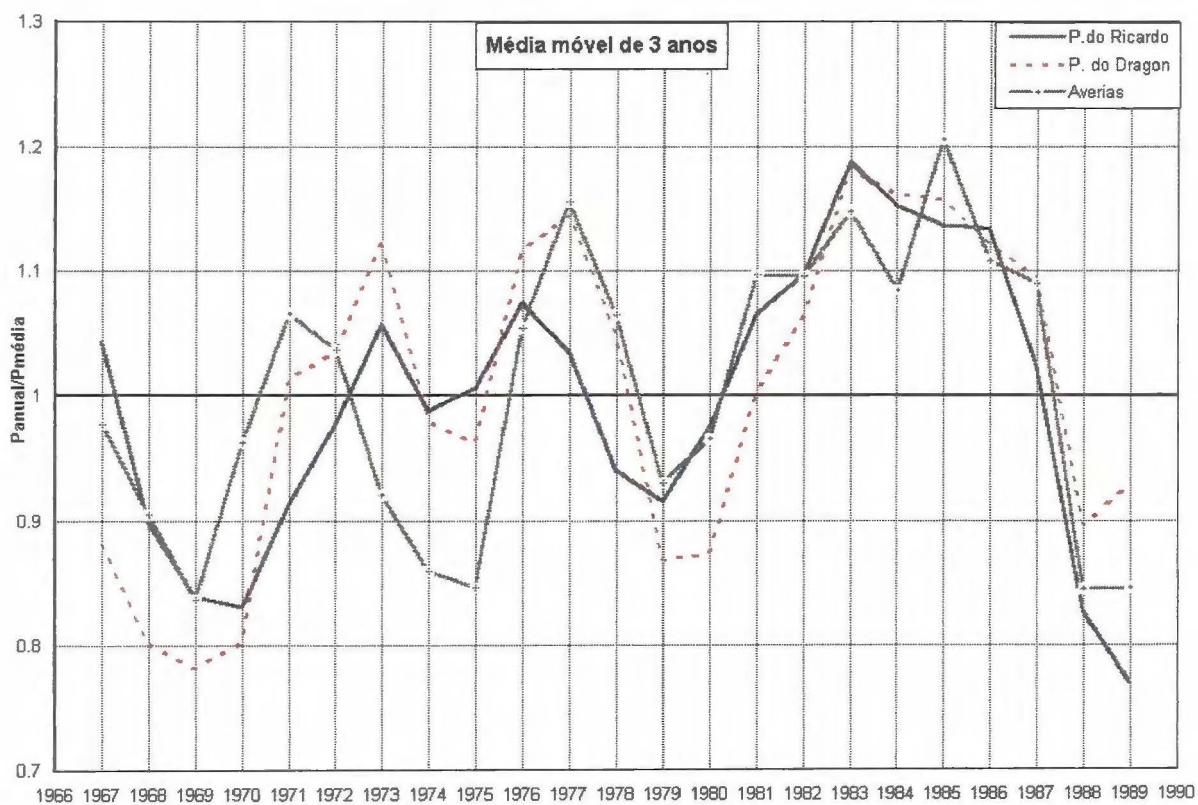


Figura 5.3 - Média móvel adimensional de 3 anos para as três regiões.

Tabela 5.2. Precipitação média sobre a lagoa Mirim (valores em mm).

Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembr	Dezembro	TOTAL
1966	142,24	53,23	159,95	81,59	18,15	94,22	201,18	109,07	67,62	49,33	35,90	115,71	1128
1967	46,02	124,11	64,78	35,37	183,00	237,14	154,11	187,75	89,74	152,63	74,69	10,08	1359
1968	94,89	87,96	163,19	37,50	26,80	39,97	39,50	31,33	116,37	64,52	124,24	112,63	939
1969	39,08	49,50	44,93	28,60	133,39	82,85	98,80	117,25	111,85	41,51	47,02	33,99	829
1970	155,27	98,38	78,38	30,38	132,01	130,86	94,05	116,28	23,71	89,27	40,47	139,87	1129
1971	179,00	118,86	40,93	18,56	70,83	134,82	63,01	52,54	140,46	26,26	35,33	172,68	1053
1972	135,84	72,35	96,22	35,11	80,02	99,50	236,47	227,38	91,89	119,30	58,55	85,09	1338
1973	191,34	108,31	55,55	103,34	126,31	82,74	222,40	37,02	27,35	67,52	27,41	81,51	1131
1974	169,50	126,00	29,45	16,94	185,38	65,40	89,01	125,45	197,21	93,82	51,85	76,64	1227
1975	43,08	78,53	63,13	25,07	111,68	67,53	78,46	126,52	121,26	39,42	129,96	39,64	924
1976	161,33	49,31	194,47	124,60	169,01	122,31	69,95	123,96	88,91	77,29	80,11	96,41	1358
1977	129,75	265,51	136,77	31,86	69,58	134,81	387,77	47,85	125,27	150,99	61,93	11,24	1553
1978	142,40	130,32	139,65	19,84	73,63	95,53	143,42	29,07	72,61	137,89	104,12	78,83	1167
1979	16,82	74,24	53,85	93,18	32,63	13,66	66,81	103,11	264,18	84,63	127,64	34,56	965
1980	53,65	106,86	161,09	171,34	83,60	163,40	90,16	104,38	28,00	183,99	69,57	117,06	1333
1981	75,81	106,18	44,88	69,20	148,28	141,55	180,15	42,49	230,52	26,47	133,28	49,51	1248
1982	45,56	262,41	46,72	12,84	74,64	114,88	115,60	50,94	68,88	54,40	64,64	62,70	974
1983	140,59	150,81	14,76	89,97	62,58	79,42	87,32	160,66	77,52	130,71	190,05	75,29	1260
1984	324,73	241,22	43,28	164,39	145,34	220,58	253,53	79,34	144,56	106,52	28,32	49,38	1801
1985	40,13	52,44	123,83	64,32	48,46	99,46	92,96	201,09	162,33	99,64	43,53	26,14	1054
1986	115,00	103,98	128,27	116,07	151,05	94,87	42,56	178,36	65,51	127,66	245,04	81,13	1449
1987	40,74	105,86	95,43	159,10	75,39	42,51	182,78	181,28	82,44	97,15	87,55	120,62	1271
1988	179,82	72,55	17,21	64,11	13,22	57,58	169,54	102,92	68,06	36,63	83,46	54,20	919
1989	92,27	12,18	33,51	56,11	20,28	16,26	65,15	129,63	58,63	31,74	162,62	52,88	731
1990	66,90	337,49	182,79	123,57	53,31	9,15	7,42	31,93	129,04	72,69	118,45	129,76	1263
1991	19,93	16,32	67,05	110,01	156,39	147,48	149,83	14,00	107,25	223,39	102,48	93,79	1208
1992	50,05	240,01	42,42	253,89	98,43	285,21	122,56	70,73	82,79	72,16	38,70	100,29	1457
1993	118,92	143,04	61,52	68,59	259,16	160,34	113,04	170,61	62,98	114,68	144,87	157,56	1575
1994	69,38	111,34	89,91	67,95	60,88	129,53	207,34	109,01	159,75	158,40	49,13	112,44	1325
1995	172,77	59,16	111,10	155,50	87,22	97,80	328,93	59,27	66,67	100,63	71,92	79,53	1391
MEDIA	108,43	118,62	86,17	80,96	98,36	108,71	138,46	104,04	104,45	94,37	87,76	81,71	1212
DP	68,19	77,76	51,89	58,17	58,76	63,45	86,53	58,13	56,68	49,09	52,13	41,45	238,60
MÁXIMO	324,73	337,49	194,47	253,89	259,16	285,21	387,77	227,38	264,18	223,39	245,04	172,68	1801,17
MÍNIMO	16,82	12,18	14,76	12,84	13,22	9,15	7,42	14,00	23,71	26,26	27,41	10,08	731,27

## **5.2 Séries de Evaporação**

Os dados de evaporação medidos com Tanque tipo A, dentro das sub-bacias em estudo, são bastante escassos. A série do posto Usina Candiota (Lat. 31° 33'S; Lon. 53° 40'W), é uma das mais longas (tabela 4.2). Com base nesta informação, análise de regressões e funções destes postos foi possível contar com dados de evaporação desde 1951.

Na regressão, os únicos postos que tinham semelhança no comportamento das séries de evaporação com os dados de Candiota foram os postos Bagé (Lat. 31° 20'S; 54° 06'W) e de IPEAS (Lat. 31° 28'S; 52° 31'W); com coeficientes de determinação superior a 68% (Obregón, 1997); os demais postos não guardavam nenhuma relação devido, principalmente, à sua localização na parte baixa das bacias em estudo.

Na região uruguaia, os valores registrados em Melo e Treinta y Tres não apresentaram boa correlação com a série de U. Candiota. Além disso, a utilização destes valores nos postos uruguaios através de transposição também se tornou inadequada devido a marcada tendência de superestimativa observada com base em valores médios característicos registrados nestes postos na década de 60.

Para a determinação dos valores mensais de evaporação na lagoa Mirim, houve a necessidade de se analisar todos os dados registrados nas estações próximas à lagoa, como a de Santa Vitória do Palmar e Santa Maria, esta no Banhado do Taim. As análises de correlação entre os valores registrados nas estações, para preenchimento das falhas existentes nas séries, forneceram resultados bastante ruins, o que levou à composição de uma série única com base na análise visual do comportamento dos valores medidos. Desta forma, foi possível obter uma série completa de valores de evaporação representativos na lagoa Mirim para o período de 1966 a 1995, com base em registros de Piché. Nas séries oriundas de registros em Tanque tipo "A", os períodos sem dados em nenhuma estação foram encontrados em grande número, o que inviabilizou a composição de uma série de evaporação na lagoa usando esse tipo de dados. A série utilizada é apresentada na tabela 5.3. Na figura 5.4 é apresentada a série de evaporação média mensal.

## **5.3- Séries Fluviométricas**

### **5.3.1 Metodologia de preenchimento de séries**

Considerando que as séries afluentes a Lagoa não possuíam um período longo homogêneo foi necessário o preenchimento das falhas através de extensão de séries. metodologia de preenchimento das falhas nos valores mensais de vazão, no período de 1965 a 1995, para as sub-bacias afluentes à lagoa Mirim foi a seguinte:

- 1 - Ajuste de um modelo precipitação-vazão aos postos com dados de vazão e precipitação existentes na região;
- 2 - Com base nas séries de precipitações foram estendidas as séries de vazões;
- 3 - Análises das estatísticas das séries geradas.

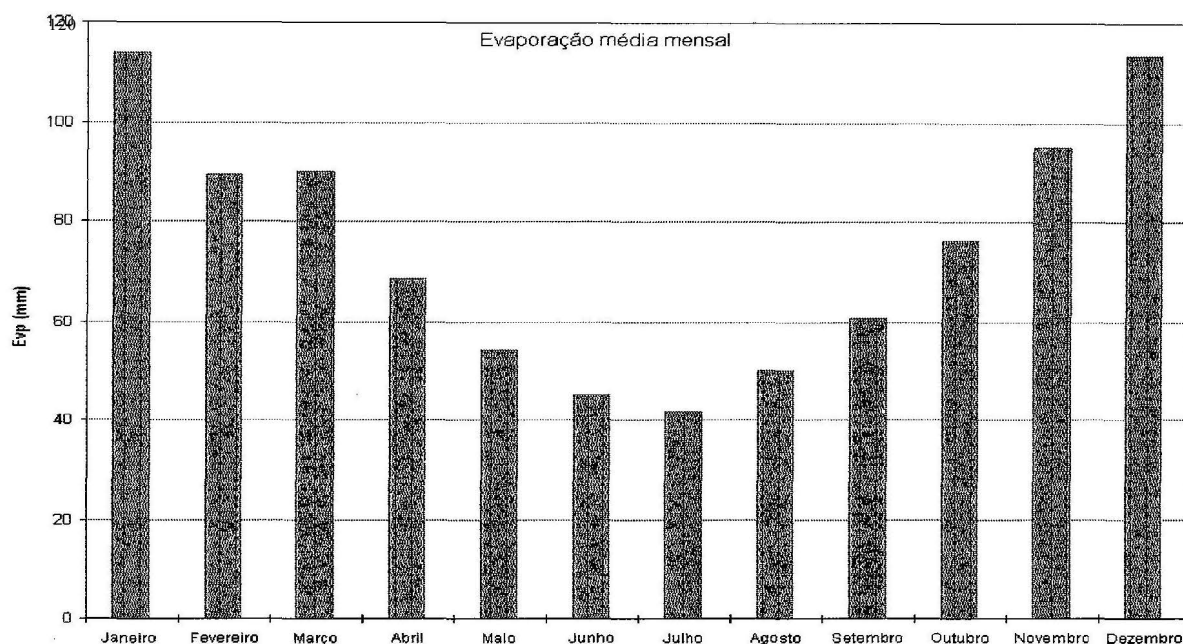


Figura 5.4. Série de Evaporação Média Mensal na Lagoa Mirim.

O Anexo G apresenta o modelo precipitação-vazão IPHMEN (Tucci et al., 1990), a nível mensal, utilizado para o preenchimento e geração das séries de vazões.

### 5.3.2 Simulação Hidrológica

O processo de simulação hidrológica no presente estudo tem a seguinte seqüência:

- (i) ajuste dos parâmetros do modelo;
- (ii) validação do modelo;
- (iii) utilização do modelo na extensão das séries fluviométricas mensais das sub-bacias em estudo com séries incompletas.

Para efetuar a simulação é necessário dispor de períodos de dados de vazões, precipitação e evaporação confiáveis. Na tabela 5.4 são apresentados os períodos correspondentes às três fases da simulação. O período de ajuste foi escolhido de tal forma que garantisse a existência de uma série contínua de dados observados. Os períodos de validação podem ser contínuos ou não. Essas duas fases geralmente representam tanto anos secos, quanto normais ou úmidos.

### Ajuste dos Parâmetros do Modelo IPHMEN

Os sete parâmetros do Modelo IPHMEN precisam ser ajustados de tal forma que o modelo retrate o fenômeno que ocorre em cada sub-bacia. Segundo a metodologia descrita, o procedimento pode ser automatizado, mediante o algoritmo de otimização incorporado no próprio programa.

Tabela 5.3. Evaporação média na lagoa Mirim (valores em mm.)

Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembr	Dezembro	TOTAL
1966	93,50	103,00	103,00	84,50	57,30	57,40	41,50	49,40	64,40	71,80	73,20	83,50	883
1967	106,90	67,10	80,60	67,00	37,10	40,70	35,70	18,20	50,30	49,10	74,40	138,70	766
1968	107,40	103,30	86,20	73,80	56,50	30,60	30,10	45,00	26,20	78,00	62,90	89,00	789
1969	88,00	80,90	72,80	58,10	41,70	26,60	34,60	40,60	54,20	73,10	68,90	78,90	718
1970	70,60	84,50	67,90	55,80	47,30	34,10	20,90	49,10	48,80	59,70	92,90	97,90	730
1971	65,90	69,20	69,20	55,10	45,00	37,20	40,00	28,20	42,10	52,60	97,80	65,80	668
1972	64,70	68,80	58,40	51,00	41,00	37,40	30,00	37,50	36,90	42,00	53,70	87,40	609
1973	90,30	68,00	61,00	37,00	35,40	38,20	21,70	61,40	67,00	72,60	108,20	94,30	755
1974	90,00	66,00	71,70	75,70	49,40	51,30	22,60	24,20	26,90	74,40	82,80	92,20	727
1975	114,50	74,90	85,60	76,20	49,30	22,20	46,20	35,30	49,80	81,60	97,10	126,50	859
1976	95,20	73,60	72,60	48,50	45,90	46,40	36,40	48,60	57,10	64,40	75,20	92,80	757
1977	80,70	47,00	65,10	52,70	45,80	29,40	28,90	34,30	46,80	63,60	96,70	110,80	702
1978	74,10	66,50	69,00	59,10	49,80	30,20	24,30	41,60	49,60	50,50	79,40	93,30	687
1979	112,90	80,30	97,90	64,90	48,70	54,90	33,50	35,10	55,50	50,00	74,50	88,60	797
1980	128,10	97,70	65,60	51,00	39,10	41,10	40,10	41,50	70,20	55,80	85,80	86,70	803
1981	110,60	76,60	85,00	62,10	45,60	36,60	31,60	56,20	56,40	76,40	73,60	108,20	819
1982	119,90	72,30	77,00	73,10	56,00	35,30	33,50	57,30	68,80	115,50	119,10	163,50	991
1983	151,60	108,90	130,40	34,60	31,30	59,70	52,20	64,50	77,70	95,00	100,70	127,10	1034
1984	110,00	86,80	114,90	96,60	70,70	49,00	49,50	57,60	64,00	65,80	120,30	151,10	1036
1985	152,40	110,20	113,00	60,90	70,10	41,70	48,70	51,00	52,80	72,50	110,00	121,10	1004
1986	133,10	91,40	101,80	60,80	58,80	43,60	66,80	47,40	85,50	88,50	81,50	125,10	984
1987	119,90	109,30	108,50	78,70	64,20	65,60	52,20	50,90	82,40	91,40	113,90	103,00	1040
1988	110,80	78,60	92,70	93,60	72,00	45,00	55,90	76,40	73,00	111,70	146,00	156,50	1112
1989	144,30	131,80	124,00	98,80	82,20	56,40	57,80	69,00	65,30	105,30	112,60	131,70	1179
1990	166,20	87,90	91,00	67,70	61,80	58,40	51,40	74,40	65,70	80,00	99,10	127,50	1031
1991	157,60	152,20	119,80	78,80	69,30	52,90	57,10	58,60	93,80	100,90	113,90	125,10	1180
1992	120,30	91,80	86,10	73,20	69,00	48,80	48,80	59,80	78,60	101,10	116,10	152,00	1046
1993	140,20	110,90	94,10	77,10	61,00	54,90	49,10	72,80	70,90	73,10	103,70	124,90	1033
1994	133,90	98,70	118,10	102,30	60,20	63,30	57,80	63,10	79,30	98,70	127,40	154,70	1158
1995	166,70	127,10	119,00	88,50	62,70	59,10	48,90	70,49	73,96	85,07	98,22	104,82	1105
MEDIA	114,01	89,51	90,07	68,57	54,14	44,93	41,59	50,65	61,13	76,67	95,32	113,42	900,03
DP	29,37	22,94	21,07	17,34	12,59	11,73	12,43	15,17	16,53	19,66	21,28	26,28	172,55
MÁXIMO	166,70	152,20	130,40	102,30	82,20	65,60	66,80	76,40	93,80	115,50	146,00	163,50	1180,00
MÍNIMO	64,70	47,00	58,40	34,60	31,30	22,20	20,90	18,20	26,20	42,00	53,70	65,80	608,80

Tabela 5.4 Períodos utilizados nas diferentes etapas de simulação hidrológica.

N	Código do posto	Nome da Estação	Rio	Período Observado	Período de Ajuste	Período de Validação	Período com Extensão
1	15000000	Averias	Rio Cebollati	01/65-12/95	80-85	86-90	65,67,72-79
2	10100000	Treinta y Tres	Olimar Grande	01/65-12/95	87-88	89-90	65-79,82,86
3	10900000	Vergara	Arroio Parao	01/65-12/95	78-85	86-90	65,66,68,73-77
4	96000000	Paso Borches	Rio Tacuari	01/65-12/95	84-87	88-90	65-78,81-83
5	97000000	Paso Dragón	Rio Tacuari	01/65-12/95	88-89	90	65-66,70,74-79,83,87,94-95
6	88185000	Candiotinha	A. Candiotinha	05/72-12/92	12/75-06/78	80-83(2)	01/67-12/95
7	10000000	Paso Centurión	Rio Jaguarão	01/65-12/95	80-86	87-90	65,71-77,79
8	88179000	Dário Lassance	A. Candiota	01/49-12/57	52-55(05)	56-57(2)	01/49-12/95
9	88370000	Arroio Grande	Arroio Grande	01/65-12/95	68-71	72-73	65-67,73-95
10	88400000	Santa Marta	A. Chasqueiro	01/69-12/71	69-70(2)	71(1)	01/67-12/95
11	88575000	Cerro Chato	A. Basilio	08/76-12/95	82-88(7)	89-90(2)	01/67-12/95
12	88600001	Contrato	A. Basilio	01/67-12/77	68-73(6)	76-77(2)	01/67-12/95
13	88550000	Pte. Império	Rio Piratini	10/76-07/89	79-12/86(8)	88-89(2)	01/67-12/95
14	88560001	Picada Nova	Rio Piratini	01/66-12/77	67-75(9)	76-77(2)	01/66-12/95
15	88680000	P. do Ricardo	Rio Piratini	01/62-12/82	69-78(10)	79-80(2)	01/62-12/95
16	88750000	P. dos Carros	A. Fragata	01/65-12/95	74-78(5)	79-80(2)	01/65-12/95
17	88850000	P. C. Farias	A. Pelotas	01/65-12/95	73-78(6)	84-85(2)	01/65-12/95

Os dados de entrada para o ajuste dos parâmetros foram: as séries contínuas de vazões observadas, precipitação na bacia, evaporação potencial com intervalo mensal e no mesmo período, área de drenagem e as condições iniciais da descarga.

Os parâmetros *a*, *b* e *c* foram estimados por otimização automática, partindo de alguns critérios sobre seus valores iniciais, e finalmente os resultados foram refinados por tentativa e erro juntamente com os outros parâmetros, fazendo com que estes sejam coerentes com as características físicas e geomorfológicas da bacia modelada. O parâmetro *K<sub>b</sub>* foi calculado para cada uma das séries por meio da plotagem na escala logarítmica com uma análise de regressão do período mais seco da série. O parâmetro *K<sub>s</sub>* que controla o tempo de esvaziamento superficial foi estimado segundo os hidrogramas presentes em cada série; este parâmetro manteve-se na proporção de 1/5 a 1/3 do tempo de esvaziamento subterrâneo. Os valores de  $\alpha$  (alfa) e *C<sub>r</sub>* foram ajustados de tal forma que os hidrogramas simulados acompanhem razoavelmente os valores extremos dos hidrogramas observados e

sejam capazes de representar bem o valor da vazão média, tanto para anos secos quanto úmidos.

Durante o ajuste, podem-se obter vários conjuntos possíveis de parâmetros que representem o comportamento hidrológico em cada sub-bacia. O conjunto de parâmetros escolhido foi aquele que, além de ter coerência física, tem o menor valor da função objetivo e o coeficiente de determinação mais alto. Procurou-se obter parâmetros que fossem os mais estáveis possíveis no tempo.

Os resultados finais desses parâmetros estimados para cada sub-bacia são apresentados na tabela 5.5.

Tabela 5.5 Parâmetros estimados, do modelo IPHMEN para cada sub-bacia.

Nº	Sub-bacia	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>K<sub>s</sub></i>	<i>K<sub>b</sub></i>	<i>C<sub>r</sub></i>	<i>α</i>	R <sup>2</sup> (%)
1	R. Cebollati - P. Averias	231,6	-1,20	0,01	0,80	2,30	12	5,5	65
2	Olimar Grande - Treinta y Tres	177,9	-1,10	0,16	0,60	3,50	12	5,0	85
3	Arr. Parao - Vergara	212,9	-0,90	0,01	0,80	2,30	22	2,0	47
4	R. Tacuari - Paso Borches	199,8	-1,42	0,04	0,70	4,00	12	5,1	80
5	R. Tacuari - Paso Dragón	227,5	-0,59	0,04	0,7	3,00	12	7,5	87
6	A. Candiotinha-Candiotinha	92,50	-0,50	0,03	0,50	2,0	10,0	5,8	94
7	R. Jaguarão - Paso Centurión	239,7	-1,32	0,03	0,8	2,50	8	2	74
8	Dario Lassance - Candiota	218,00	-0,75	0,08	0,25	1,0	11,0	7,0	94
9	Arroio Grande - Arroio Grande	292,32	-1,65	0,01	0,50	2,00	7,42	1,50	79
10	Granja Santa Marta	171,10	-1,50	0,06	0,4	2,00	6,00	2,50	93
11	A. Basilio - Cerro Chato	103,00	-0,50	0,03	0,80	2,3	12,0	2,3	95
12	A. Basilio - Contrato	119,00	-0,50	0,03	1,00	4,5	12,0	6,5	96
13	Rio Piratini - P. Império	124,00	-0,30	0,03	0,70	3,1	12,0	5,1	96
14	Rio Piratini - Picada Nova	172,80	-0,90	0,05	0,80	3,1	10,0	2,2,	91
15	Rio Piratini - P. do Ricardo	107,30	-0,50	0,03	0,80	3,5	12,0	3,2	92
16	A. Fragata - P. dos Carros	89,00	-0,40	0,03	0,50	2,5	12,0	2,5	88
17	A. Pelotas - P.C. Farias	103,00	-0,50	0,03	0,60	3,0	10,0	2,0	85

O parâmetro *c* é bastante sensível, mas na simulação feita por Obregón (1997), na maioria das sub-bacias do lado brasileiro, resultou em *c*=0,03 (l/mês); nas bacias do lado uruguaio variou de 0,01 a 0,16.



Nas figuras H1 a H17 do Anexo H são apresentados os hidrogramas de vazões mensais, calculados e observados, para o período de ajuste, com os correspondentes hietogramas, observando-se o ajuste gráfico. Nos postos de D. Lassance (figura H8) as diferenças são devidas ao fato de que foram utilizadas só as precipitações da Usina Candiota, sendo que nos meses sem dados a chuva foi estimada com base em outros postos mais afastados. Outra fonte de erro são as evaporações utilizadas, como foi mencionado anteriormente. No posto de Candiotinha as maiores fontes de erros são as próprias vazões observadas, seja pelos problemas na medição ou pelas influências de algumas enchentes isoladas, que distorcem os valores médios do mês (Obregón, 1977).

Nas bacias simuladas no presente estudo, a maior fonte de incerteza foi a escassez de dados de evaporação observados nas próprias bacias. Os dados disponíveis de Melo e Treinta y Tres mostraram-se inadequados para utilização nas demais sub-bacias. Foram, então, utilizados valores médios regionais publicados em estudos anteriores.

As estatísticas mostraram bons resultados com base na análise dos valores das vazões médias observadas ( $Q_{med-obs}$ ), vazões médias calculadas ( $Q_{med-cal}$ ), desvio padrão da série observada ( $S^2_{obs}$ ) e desvio padrão da série calculada ( $S^2_{cal}$ ) para cada posto. Os valores dessas estatísticas, obtidas para o período de ajuste são apresentados no tabela 5.6.

Nas figuras H18 a H34 do Anexo H são apresentadas a dispersão dos valores das vazões observadas e calculadas para cada posto. Nestas figuras observa-se uma dispersão homogênea ao redor da reta de igual vazão, mas para as grandes enchentes os valores calculados são subestimados na maioria dos postos. Este fato ocorre devido à dificuldade do modelo para representar cheias de grande magnitude geralmente originadas de precipitações intensas, com curta duração.

## **Verificação**

Todo modelo antes de ser utilizado precisa ter ajustados e validados seus parâmetros. A verificação envolve a estimativa com os parâmetros ajustados em outro período, com dados observados. Estes períodos foram definidos anteriormente segundo a disponibilidade de dados.

Nas figuras H35 a H51 do Anexo H são mostrados os hidrogramas observados e calculados com os correspondentes hietogramas para este período de validação. Os hidrogramas calculados têm um bom acompanhamento em quase todas as séries durante o período analisado.

O hidrograma nos postos de Candiotinha, figura H41, e D. Lassance, figura H42, apresentam maiores diferenças pelos mesmos motivos apresentados no ajuste. Em Granja Santa Marta, figura H44, no ano de 1971 ocorreu um desfasamento em consequência de dois possíveis motivos: (i) como é uma bacia pequena, a influência de alguns eventos muito isolados produz resultados mensais variáveis ou; (ii) as chuvas e descargas no fim de um mês e início de outro (Obregón 1997). Apesar

disso, os valores médios do período apresentam, em geral, o mesmo comportamento para todas as séries analisadas.

Na tabela 5.6 são apresentadas as estatísticas do ajuste e da verificação. Nas figuras 5.5 e 5.6 são apresentados estes valores, observa-se bons resultados principalmente para as vazões médias.

Tabela 5.6 Estatísticas da simulação no período de Ajuste.

Posto		Ajuste		Verificação	
		Qobs	Qcalc	Qobs	Qcalc
Paso Averias	Média	116,78	115,33	85,04	92,29
	D.Padrão	150,90	122,89	144,90	137,39
Treinta Y Tres	Média	57,89	55,14	68,00	62,08
	D.Padrão	68,20	66,14	114,00	115,44
Vergara	Média	24,40	24,42	24,15	18,12
	D.Padrão	36,69	21,39	44,20	19,95
Paso Borches	Média	29,37	26,73	16,69	21,34
	D.Padrão	35,90	25,58	31,31	30,98
Paso Dragón	Média	25,25	30,05	81,62	88,26
	D.Padrão	51,71	45,08	94,98	103,44
Candiotinha	Média	4,00	4,80	4,00	3,70
	D.Padrão	4,20	6,40	4,10	2,80
Paso Centurión	Média	90,82	85,84	48,13	50,40
	D.Padrão	92,61	76,14	72,89	71,33
Dario Lassance	Média	4,10	3,80	2,50	2,50
	D.Padrão	4,80	3,80	2,00	2,00
Arroio Grande	Média	6,90	6,89	12,18	12,93
	D.Padrão	9,10	9,43	16,74	16,79
Granja Sta Marta	Média	3,50	3,30	1,60	1,20
	D.Padrão	4,30	3,90	1,50	1,00
Cerro Chato	Média	26,60	27,20	17,00	17,30
	D.Padrão	26,30	19,40	25,40	22,00
Contrato	Média	30,70	31,00	53,50	49,30
	D.Padrão	37,10	33,70	50,10	46,00
Ponte do Império	Média	39,30	40,30	9,30	10,60
	D.Padrão	33,70	34,20	11,40	13,90
Picada Nova	Média	36,80	36,90	58,60	57,60
	D.Padrão	46,20	35,90	72,80	58,70
Passo do Ricardo	Média	97,40	98,60	99,30	98,60
	D.Padrão	119,60	96,30	103,10	95,20
Passo dos Carros	Média	3,50	3,30	2,70	3,20
	D.Padrão	3,50	2,90	2,70	3,50
Ponte C. Farias	Média	9,80	9,90	8,90	9,20
	D.Padrão	9,70	8,00	8,60	8,20

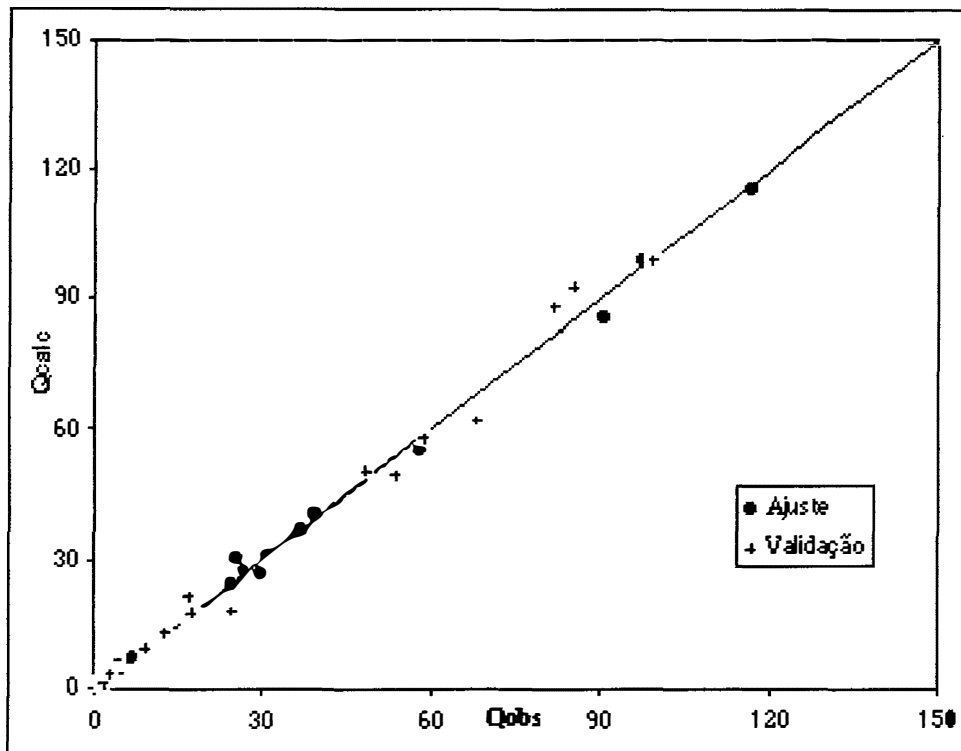


Figura 5.5 - Vazões médias observadas x Vazões médias calculadas

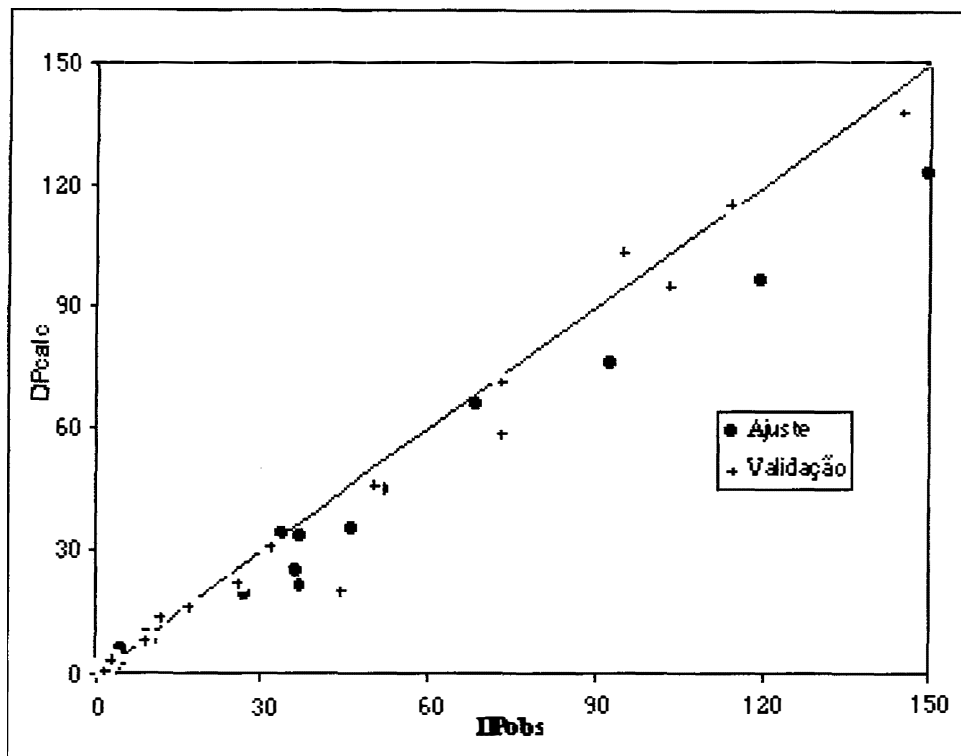


Figura 5.6- Desvios Padrão observados x Desvios Padrão calculados

Nas figuras H52 a H68 do Anexo H é mostrada a dispersão dos valores das vazões, observadas e calculadas, para cada posto. Nestas figuras observa-se uma dispersão homogênea ao redor da reta de igual vazão, com características semelhantes ao período de ajuste.

### **Aplicação do modelo no preenchimento e extensão das séries**

Nesta terceira fase do processo de simulação, o modelo com os parâmetros ajustados foi utilizado para preencher as falhas mensais e estender as séries.

Com as séries pluviométricas e de evaporação disponíveis foi possível obter dados de entrada para a totalidade das sub-bacias, pelo menos no período de janeiro de 1967 até dezembro de 1993. O modelo, com os parâmetros resultantes do ajuste foi, então, utilizado para gerar as descargas médias mensais em cada uma das sub-bacias analisadas. Nas sub-bacias 6, 8 e 10 a 17, não houve necessidade de extensão de séries, uma vez que os dados existentes, naturais e preenchidos por Obregón (1997) cobrem o período de análise.

Para os demais postos, com base nas séries calculadas, procedeu-se ao preenchimento das falhas existentes durante o período com registros. Depois do preenchimento de falhas, estenderam-se as séries para obter séries contínuas de descargas abrangendo todo o período a utilizar na análise.

Nas figuras H69 a H85 do Anexo H são apresentados os hidrogramas das séries com dados mensais observados, preenchidos e estendidos. Nas figuras H86 a H102 deste mesmo Anexo são apresentados os hidrogramas das séries anuais de vazões. Como era de se esperar, em todas as séries podem-se ver as grandes estiagens ocorridas durante os anos 1969-70, 1978-79, e a forte estiagem de 1988-89. Também observam-se alguns anos úmidos, como 1972-73 e 1982-83. As séries de vazões mensais em cada sub-bacia é apresentada no Anexo I.

Na tabela 5.7 são apresentadas as vazões médias de longo período ( $Q_{med}$ ) e as vazões específicas ( $Q/A$ ) para cada sub-bacia estudada, com sua correspondente área de drenagem ( $A$ ).

A vazão média pode ser regionalizada com base na área e na precipitação por:

$$Q = 0,01244 \cdot A^{0,961} \cdot P^{1,90} \quad (5.1)$$

onde  $Q$  é a vazão média de longo período em  $m^3/s$ ;  $A$  a área da bacia em  $km^2$ , e  $P$  a precipitação média em  $mm$ . O coeficiente de determinação desta equação é  $R^2 = 0,99$ . Na figura 5.7 podem-se observar os valores calculados e observados obtidos por esta equação.

A vazão média obtida com base apenas na área da bacia é:

$$Q = 0,0268 \cdot A^{0,9396} \quad (5.2)$$

com  $R^2 = 0,966$  e as mesmas unidades anteriores.

Tabela 5.7 Vazões médias de longo período e vazões específicas.

Postos	Q/A (l/s.km <sup>2</sup> )												Área da bacia (km <sup>2</sup> )	Precipitação Anual (mm)	Qmed (m <sup>3</sup> /s)	D. (m <sup>3</sup> /s)
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ				
P. Averías	4,0	7,0	5,0	5,0	8,0	14,0	24,0	24,0	22,0	17,0	12,0	5,0	7647	1145	91,77	125,69
Treinta Y Tres	8,0	12,0	7,0	7,0	15,0	22,0	31,0	25,0	23,0	15,0	14,0	7,0	4680	1354	72,58	95,49
P. Vergara	11,0	23,0	12,0	12,0	17,0	31,0	43,0	34,0	28,0	17,0	21,0	8,0	1062	1278	22,73	32,40
P. Borches	9,0	9,0	7,0	9,0	18,0	27,0	33,0	27,0	25,0	16,0	12,0	5,0	1421	1300	22,78	28,33
P. Dragón	7,0	11,0	7,0	8,0	10,0	20,0	33,0	28,0	21,0	18,0	11,0	6,0	3540	1379	53,04	70,73
Candiotinha	5,0	7,0	8,0	14,0	11,0	20,0	32,0	26,0	18,0	17,0	12,0	5,0	4700	1320	68,85	87,69
P. Centurión	11,0	14,0	13,0	20,0	19,0	24,0	38,0	26,0	24,0	19,0	15,0	10,0	226	1345	4,38	4,84
D. Lassance	6,0	8,0	8,0	13,0	12,0	13,0	21,0	17,0	17,0	15,0	10,0	7,0	313	1339	3,81	4,53
A. Grande	9,0	11,0	9,0	13,0	13,0	17,0	36,0	22,0	16,0	14,0	14,0	6,0	725	1321	10,87	14,53
Sta. Marta	9,0	14,0	10,0	13,0	13,0	16,0	33,0	22,0	14,0	13,0	13,0	5,0	280	1312	4,16	5,36
C. Chato	13,0	19,0	14,0	20,0	21,0	24,0	39,0	29,0	27,0	22,0	17,0	11,0	1060	1424	22,71	23,78
Contrato	13,0	15,0	14,0	15,0	14,0	15,0	25,0	20,0	17,0	14,0	15,0	10,0	2396	1420	38,16	38,35
P. Imperio	12,0	17,0	13,0	16,0	16,0	21,0	37,0	27,0	23,0	22,0	16,0	11,0	1860	1564	36,71	38,37
P. Nova	12,0	18,0	14,0	17,0	16,0	2,1	41,0	32,0	26,0	20,0	20,0	13,0	2220	1552	45,93	48,69
P. Ricardo	12,0	16,0	13,0	16,0	15,0	19,0	38,0	31,0	29,0	22,0	20,0	12,0	5386	1478	108,51	114,20
P. dos Carros	10,0	20,0	12,0	15,0	14,0	23,0	44,0	36,0	37,0	25,0	20,0	10,0	131	1445	2,90	3,10
P.C. Farias	15,0	26,0	17,0	24,0	23,0	31,0	52,0	42,0	42,0	31,0	28,0	16,0	370	1600	10,65	10,29

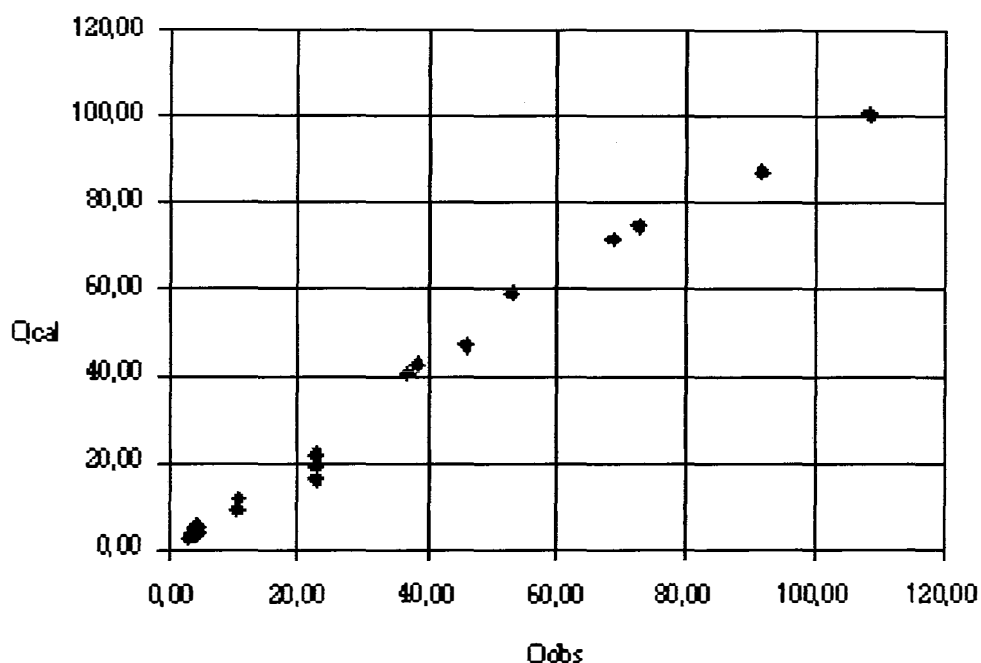


Figura 5.7. Vazões médias observadas, e calculadas pela equação 5.1.

Na figura 5.8 são apresentados os valores sazonais de vazão específica de três postos da região. Na figura 5.9 são apresentados os valores adimensionalizados de vazões médias anuais ao longo do período da série e das médias móveis de três anos. Podem-se observar os períodos de cheia (1977), e de estiagem regionais (1989). As médias móveis evidenciam a homogeneidade entre os postos P. Averias e P. Ricardo e a pouca variabilidade das vazões no posto Dario Lassance, como era de se esperar, sendo este posto com pequena área de drenagem, localizado próximo à nascente do rio.

#### 5.4 Série de Vazões Mensais Afluentes à Lagoa Mirim

As sub-bacias consideradas como afluentes à lagoa Mirim foram apresentadas na figura 4.4. Estas foram definidas em função da configuração da malha de drenagem existente e do conhecimento dos dados hidrológicos medidos nas estações de controle. Desta forma, as sub-bacias definidas e apresentadas nessa figura resultam da disponibilidade de séries de vazões, ainda que primárias, na área de contribuição à lagoa Mirim, que permitiram a determinação de séries de vazões afluentes à mesma, necessárias para a obtenção do montante de água ofertado na bacia.

Em cada uma das sub-bacias definidas foram determinadas séries completas de vazões, para o período de 1967 a 1995, para a quase totalidade das estações existentes. Isto foi realizado com a utilização do modelo IPHMEN.

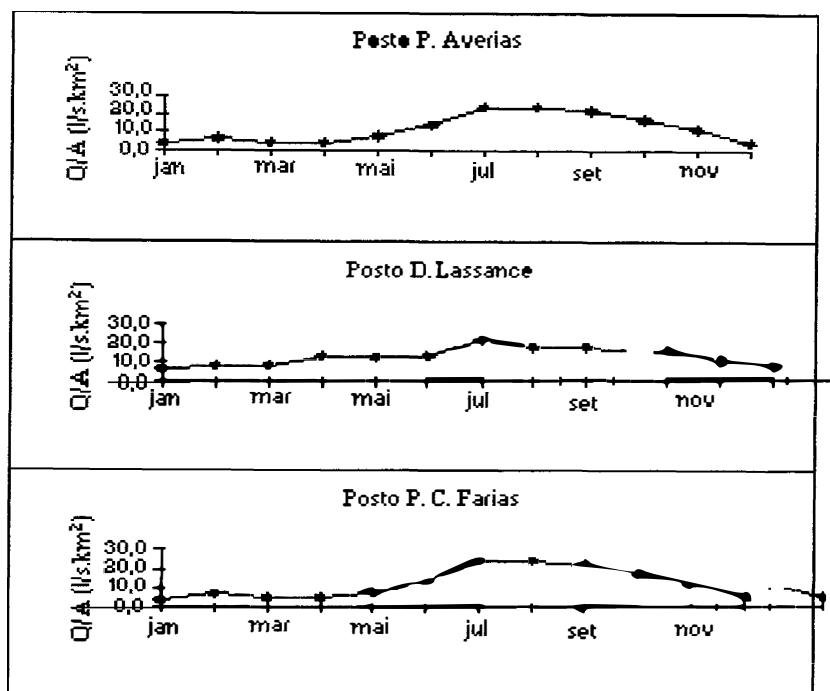


Figura 5.8. Vazões específicas mensais na bacia da Lagoa Mirim.

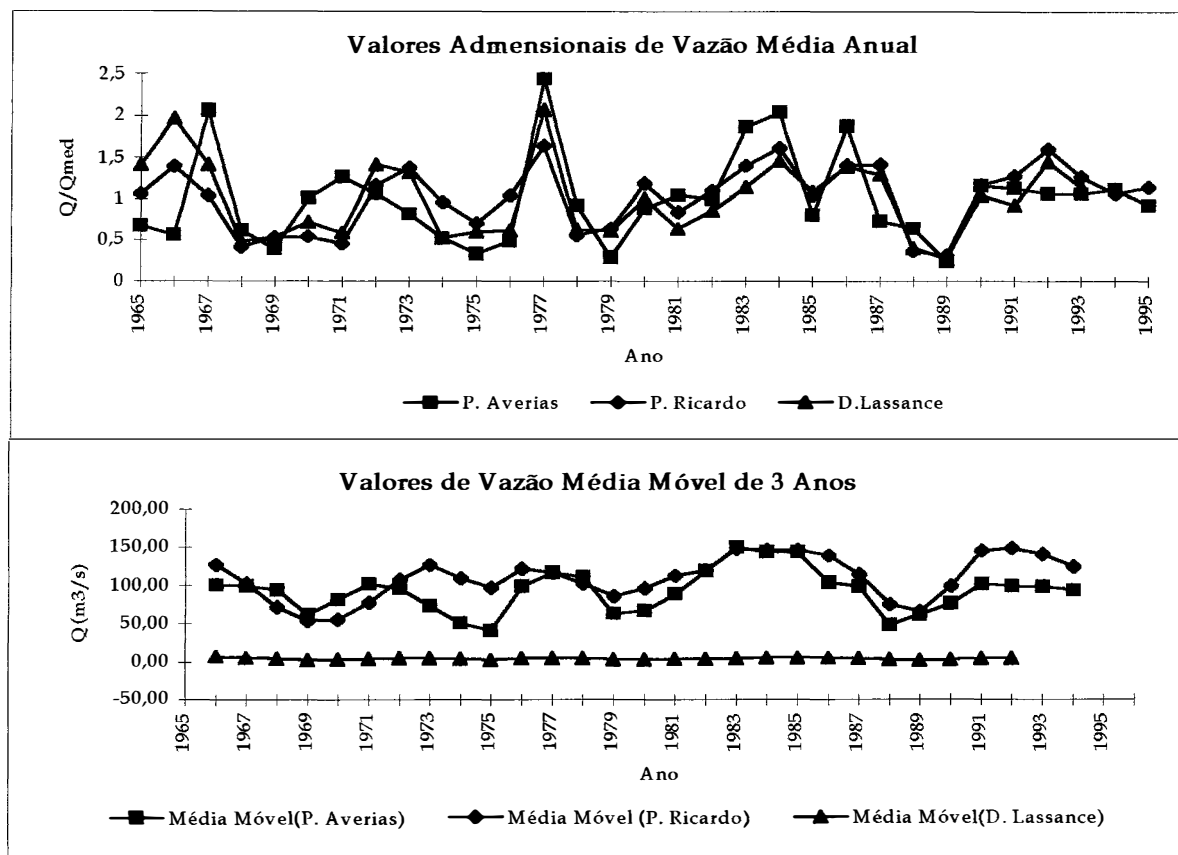


Figura 5.9. Valores adimensionais de vazão média anual e valores da vazão média móvel de três anos.

Como nenhuma seção de medição das sub-bacias é localizada próximo às margens da lagoa, foi necessária a adoção de técnicas de regionalização de vazões e transposição de parâmetros hidrológicos, a fim de se obter séries de vazões afluentes diretamente à lagoa Mirim.

Para as áreas a jusante das sub-bacias com séries geradas utilizou-se a seguinte metodologia:

- a) Determinação da série de precipitação para a bacia com base nos postos da região;
- b) Adotar os mesmos parâmetros da parte superior da bacia, com adaptações quando necessário;
- c) Gerar as séries de vazões.

Nas áreas a jusante das estações uruguaias, para os anos posteriores a 1990, devido a falta de registros de precipitação nos postos pluviométricos do Uruguai, foi realizada correlação entre os valores de vazões de montante e os valores de jusante a fim de se obter séries para o período de 1965 a 1995.

Já na região brasileira, a maioria das séries de vazões iniciavam em 1967. Como aqui não existiam dados de precipitação entre 1965 e 1966, não foi possível a geração de vazões para estes dois anos.

O procedimento de transposição dos parâmetros do modelo foi adotado para as seguintes sub-bacias:

- 1- Bacia do Rio Cebollati: a porção a jusante da estação Averias, considerada desta estação até a afluência para com o Rio Olimar Grande, drena uma área de aproximadamente 1186 km<sup>2</sup>. A determinação da contribuição de toda a bacia do Cebollati, no ponto de afluência, foi calculada somando as vazões geradas nesta região à série previamente definida na estação de Averias.
- 2- Bacia do Rio Olimar Grande: a porção a jusante da estação Treinta y Tres, considerada desta estação até o ponto de afluência no Rio Cebollati, drena uma área de aproximadamente 1028 km<sup>2</sup>. A determinação da contribuição da bacia do Olimar Grande foi calculada somando as vazões geradas com a série previamente definida na estação de Treinta y Tres.
- 3- Bacia do Arroio Parao: a porção a jusante da estação Paso Vergara, considerada desta estação até o ponto de afluência na lagoa Mirim, drena uma área de aproximadamente 1307 km<sup>2</sup>. A determinação da contribuição da bacia do Parao foi calculada somando as vazões geradas nesta região à série previamente definida na estação de Paso Vergara.
- 4- Bacia do Rio Tacuari: a porção a jusante da estação Paso Dragón, considerada desta estação até o ponto de afluência na lagoa Mirim, drena uma área de



aproximadamente 993 km<sup>2</sup>. A determinação da contribuição da bacia do Tacuari foi calculada somando as vazões geradas nesta região à série previamente definida na estação de Paso Dragón.

- 5- Bacia do Rio Jaguarão: a porção a jusante da estação Paso Centurión, considerada desta estação até o ponto de afluência na lagoa Mirim, drena uma área de aproximadamente 4031 km<sup>2</sup>. A determinação da contribuição da bacia do Jaguarão foi calculada somando as vazões geradas nesta região à série previamente definida na estação de Paso Centurión.
- 6- Bacia do Arroio Grande: a porção a jusante da estação Arroio Grande, considerada desta estação até o ponto de afluência na lagoa Mirim, drena uma área de aproximadamente 593 km<sup>2</sup>. A determinação da contribuição da bacia do Arroio Grande foi calculada somando as vazões geradas nesta região à série previamente definida na estação de Arroio Grande.
- 7- Bacia do Arroio Chasqueiro: a porção a jusante da estação Granja Santa Marta, considerada desta estação até o ponto de afluência na lagoa Mirim, drena uma área de aproximadamente 395 km<sup>2</sup>. A determinação da contribuição da bacia do Chasqueiro foi calculada somando as vazões geradas nesta região à série previamente definida na estação de Granja Santa Marta.
- 8- Bacia do Rio Piratini: a porção a jusante da estação Passo do Ricardo, considerada desta estação até o ponto de afluência na lagoa Mirim, drena uma área de aproximadamente 691 km<sup>2</sup>. A determinação da contribuição da bacia do Piratini foi calculada somando as vazões geradas nesta região à série previamente definida na estação de Passo do Ricardo.
- 9- Bacia do Arroio Pelotas: a porção a jusante da estação Ponte Cordeiro Farias, considerada desta estação até o ponto de afluência na lagoa Mirim, drena uma área de aproximadamente 334 km<sup>2</sup>. A determinação da contribuição da bacia do Pelotas foi calculada somando as vazões geradas nesta região à série previamente definida na estação de Pte. C. Farias.
- 10- Bacia do Arroio Fragata: a porção a jusante da estação Passo dos Carros, considerada desta estação até o ponto de afluência na lagoa Mirim, drena uma área de aproximadamente 300 km<sup>2</sup>. A determinação da contribuição da bacia do Fragata foi calculada somando as vazões geradas nesta região à série previamente definida na estação de Passo dos Carros.
- 11- Região da margem leste da lagoa Mirim até a linha divisória de águas - estrada BR-471: esta região possui área de aproximadamente 3289 km<sup>2</sup>. Foram adotados para a geração das vazões de contribuição mensal à lagoa os parâmetros do IPHMEN estimados para a bacia do Rio Piratini, na estação de Passo do Ricardo.

As afluências até aqui definidas representam mais de 95% da contribuição total de toda a área de captação da lagoa Mirim. O percentual restante, de forma geral, corresponde ao Banhado de Rocha (no extremo sul da bacia) e às áreas adjacentes à lagoa na sua margem oeste, que drenam pequenos arroios sem nenhum monitoramento hidrológico.

A afluência à lagoa Mirim oriunda destas áreas foi determinada através da ponderação pelas áreas de drenagem entre estas e as sub-bacias próximas; ou seja, para cada valor de vazão média mensal na sub-bacia próxima à área sem informação foi definido o correspondente valor específico, e este regionalizado para a determinação da vazão afluyente gerada na área.

A figura 5.11 ilustra as áreas a jusante das sub-bacias nas quais foram regionalizados os parâmetros do IPHMEN, identificadas por números. Aquelas nas quais as vazões geradas foram determinadas com base na regionalização da vazão específica são identificadas por letras.

A contribuição da lagoa Mangueira foi também considerada utilizando os valores mensais obtidos de estudo anterior desenvolvido no Banhado do Taim (IPH, 1996). Em função da dinâmica hidráulica preponderante na região desse banhado, foi possível concluir que o mesmo não contribui de forma significativa para a lagoa Mirim.

As séries de vazões mensais afluentes à lagoa Mirim, oriundas das sub-bacias e demais regiões são apresentadas no anexo O. A série de vazões afluentes à lagoa, no período de janeiro de 1967 a dezembro de 1995, é também apresentada neste mesmo anexo. A tabela 5.8 apresenta a relação das áreas de drenagem correspondentes à estas regiões de contribuição

Os procedimentos aqui adotados como transposição de parâmetros de um modelo hidrológico, regionalização de vazões específicas e correlação entre vazões registradas em diferentes seções de um curso d'água, possuem limitações que podem gerar incertezas nos resultados obtidos. Desta forma, aconselha-se tomar as séries de afluências à lagoa Mirim apresentadas como valores aproximados, que possuem incertezas em função da impossibilidade de se reproduzir com exatidão aquelas vazões ocorridas, das quais, por diversas razões, não existem registros.

Entre as limitações do processo de determinação destas séries de vazões mensais afluentes à lagoa Mirim as principais são:

- 1- A escassez de dados de evaporação nas sub-bacias simuladas obrigou a adoção de valores registrados somente na bacia do arroio Candiota e de valores médios regionais na região uruguaia;
- 2- As limitações inerentes ao modelo IPHMEN em função de suas características;

A consideração de homogeneidade hidrológica na região analisada, para possibilitar a transposição de valores para as regiões sem dados e,

4- A utilização de equações de correlação de vazão entre seções diferentes, procedimento adotado para complementação de períodos, nas sub-bacias na região uruguaia, desconsidera a possibilidade de alterações físicas e hidráulicas entre as seções.

Estas limitações mostram que as condições de disponibilidade de informações hidrológicas na bacia da Lagoa Mirim são, até aqui, bastante precárias. Além disso, o fato da bacia localizar-se em dois países distintos, cada um com modalidades diferentes quanto as características dos processos de coleta, monitoramento, processamento e distribuição de dados hidrológicos também contribui com o aumento da dificuldade de obtenção de informações sobre a bacia.

Sendo assim, este estudo procurou extrair o máximo possível das informações existentes e disponíveis e, através de metodologias possíveis e coerentes, apesar de limitadas, definir os elementos básicos necessários para o conhecimento do comportamento hidrológico da região e elaboração do balanço hídrico objetivado.

Tabela 5.8 Sub-bacias e regiões afluentes ao sistema da lagoa Mirim.

Bacia ou Região	Área (km <sup>2</sup> )
Região A	6613
Bacia Cebollati até A verias	7647
Bacia Olimar Grande até Treinta y Tres	4680
Região 1	1186
Região 2	1028
Região B	116
Bacia Arroio Parao até Vergara	1062
Região 3	1307
Região C	1224
Bacia Tacuari até P. Dragón	3540
Região 4	993
Bacia Jaguarão até P. Centurión	4700
Região 5	4031
Região D	1349
Bacia Arroio Grande até Arroio Grande	725
Região 6	593
Bacia Chasqueiro até G. Sta. Marta	279
Região 7	395
Região E	681
Bacia Piratini até P. Ricardo	5370
Região 9	691
Bacia Arroio Pelotas até P. C. Farias	362
Região 9	334
Bacia Arroio Fragata até P. Carros	133
Região 10	300
Região 11	3289

\*correspondências na figura 5.10

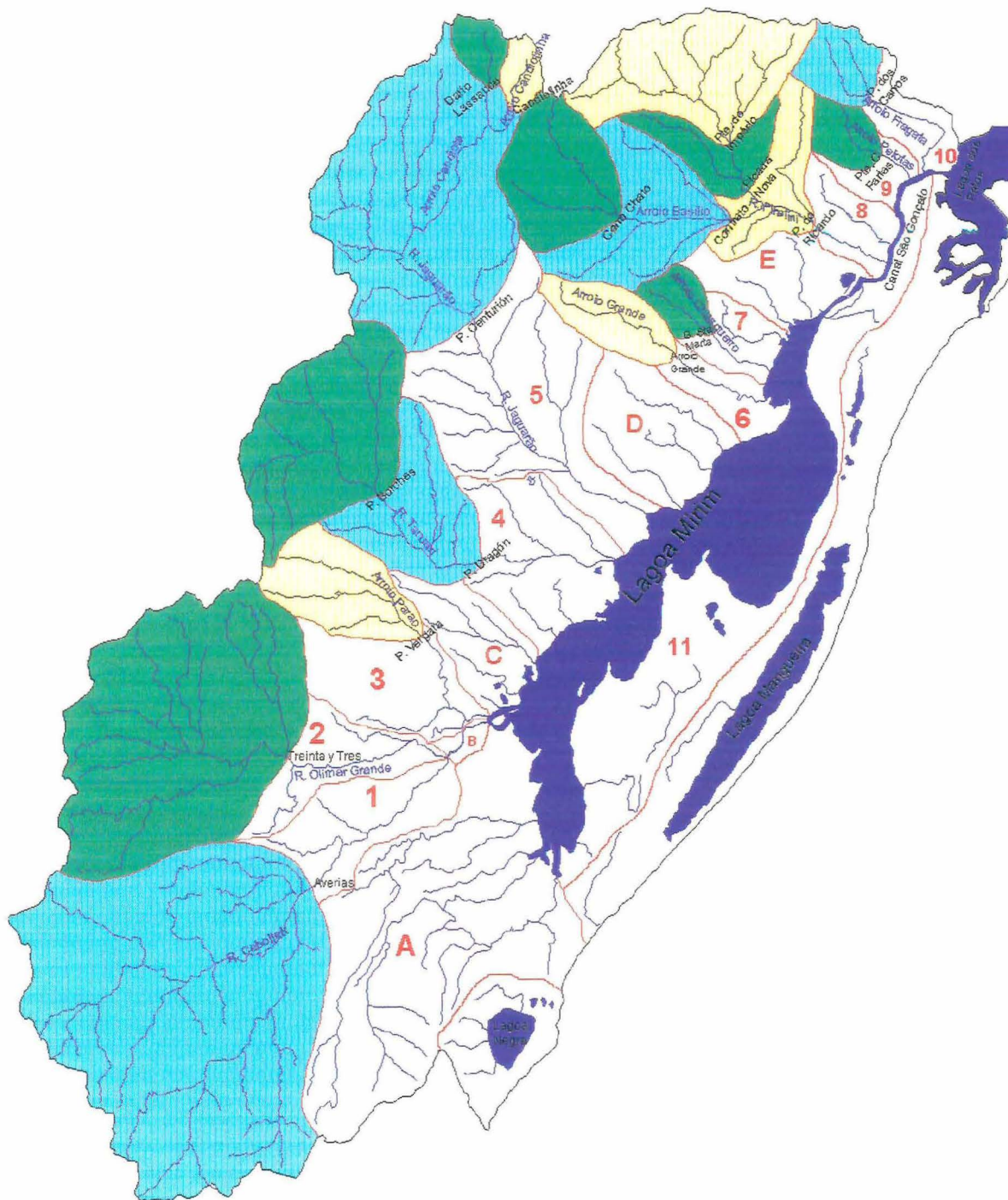


Figura 5.10. Áreas de jusante às sub-bacias e demais regiões afluentes.

## 5.5 Funções Hidrológicas

### 5.5.1 Curvas de Permanência

A curva que relaciona a vazão ou nível de um rio com a porcentagem de tempo com vazões ou níveis maiores ou iguais a um valor qualquer denomina-se curva de permanência. Essa curva é utilizada principalmente no dimensionamento do volume de reservatórios e no planejamento de recursos hídricos, e pode ser determinada com base em dados diários (com certa duração), semanais, mensais, etc.

Os principais procedimentos para a determinação da curva de permanência são:

- (a) metodologia empírica. Esta metodologia considera uma distribuição empírica definida com base em intervalos de classe dos valores de vazões ou níveis, cuja frequência acumulada segue uma distribuição qualquer relacionando a posição da plotagem com o valor das frequências acumuladas. Isto é equivalente a ordenar de forma decrescente os valores e relaciona-los com o número de valores acumulados, em porcentagem, com relação ao total de observações.
- (b) ajuste de uma distribuição de probabilidade. Nesta metodologia usualmente considera-se as distribuições Log-Normal, Weibull (Extrema Tipo III) e Log-Pearson Tipo III.

A curva que segue uma distribuição de probabilidade (teórica) cria certa tendenciosidade principalmente no trecho de interesse, que corresponde às vazões ou níveis baixos, o que pode levar a muitas incertezas (Tucci et al., 1991), e além disso deve-se considerar o problema de interdependência temporal.

Tucci et al. (1991) observaram que na maioria dos postos fluviométricos a vazão  $Q_{50}$ , (vazão com probabilidade de 50% do tempo) e a vazão  $Q_{95}$ , (vazão com probabilidade de 95% do tempo) representam bem a faixa mais utilizada da curva de permanência. Utilizando esses valores é possível ajustar a função exponencial:

$$Q = \text{Exp.} [pa + b] \quad (5.3)$$

sendo  $Q$  a vazão em  $\text{m}^3/\text{s}$  com permanência  $p$ ,  $a = -[\ln(Q_{50}/Q_{95})]/0,45$ ,  $b = \ln Q_{50} - 0,50a$ ; onde  $Q_{50}$  e  $Q_{95}$  são as vazões para 50% e 95% de tempo de permanência, respectivamente.

Os citados autores apresentam uma metodologia de determinação da curva de permanência que consiste em estabelecer  $n$  intervalos de classe de vazões, ou

níveis. Adotando um número fixo de 50 intervalos de classe ( $n=50$ ) para valores de descargas, subdividiram cada intervalo na escala logarítmica, devido à grande variação de vazões envolvidas. Neste caso a amplitude é calculada por:

$$d = [\text{Ln}(Q_{\max}) - \text{Ln}(Q_{\min})] / n \quad (5.4)$$

onde  $Q_{\max}$  é o valor máximo da série; e  $Q_{\min}$  o valor mínimo da série. Os limites inferiores dos intervalos são expressos por:

$$Q_j = \text{Exp} [ Q_{\min} + (j-1)d ] \quad (5.5)$$

onde  $Q_j$  é o limite inferior do intervalo  $j$ . Acumulando os valores de frequência de cada intervalo em sentido decrescente, obtém-se os valores de permanência. A porcentagem de tempo em que uma vazão  $Q$  é menor ou igual a  $Q_j$  é:  $P_i = (d/N_v) * 100$ , onde  $N_v$  é o número total de valores.

### **Determinação das Curvas de Permanência nas Sub-Bacias**

A curva de permanência foi calculada para cada uma das séries de vazões mensais das sub-bacias analisadas.

Em cada uma das séries foram testados diferentes intervalos de classe, considerando:

- A existência de uma boa distribuição de vazões em todos os intervalos de classe, evitando intervalos sem dados ou intervalos muito pequenos;
- A abrangência de valores extremos, tanto na faixa inferior como na faixa superior;
- A possibilidade de que os intervalos de classe sejam inteiros percentuais e,
- Igualdade do mesmo número de intervalos de classe para toda a área de estudo.

Tanto para as séries históricas como para as séries com extensão, foram obtidos 40 intervalos de classe. Com este número de intervalos foram calculadas as curvas individuais de permanência, cujas ilustrações são apresentadas no anexo J para as séries históricas e com extensão.

Essas curvas mostram-se muito semelhantes no seu comportamento, mas as curvas obtidas a partir das séries históricas não são bem definidas em todo seu ramo. Foi possível verificar que há um ganho em se ter séries mais longas pois estas definem melhor as curvas individuais.

Para os postos de P. dos Carros e P. C. Farias foram calculadas com o modelo as vazões para o período de 1981 a 1995; com base nestes dados foram calculadas as curvas de permanência e comparadas com os dados históricos.

Nas figuras 5.11 e 5.12, são apresentadas as curvas correspondentes. Na tabela 5.9 são apresentados os valores das vazões  $Q_{50}$  e  $Q_{95}$  para estas duas séries, mostrando bom desempenho dos valores calculados com relação aos valores históricos.

Outra análise de representatividade foi feita para as séries do arroio Candiota em D. Lassance. O procedimento foi de encontrar duas curvas de permanência para o mesmo posto com períodos diferentes (fig. 5.13): (i) para as séries de período de 1949-95; (ii) para o período de 1967-95; levando em conta que os outros postos abrangem pelo menos este período.

Os resultados indicam que não existe suspeita alguma de mudanças na curva de permanência entre esses dois períodos, como mostrado na figura 5.14, conseqüentemente o período de 1967-95 pode ser considerado representativo.

Os resultados das curvas de permanência nas sub-bacias, tanto para as séries observadas como para as com extensão (com valores calculados), para os valores das vazões de  $Q_{50}$  e  $Q_{95}$ , que correspondem a 50% e 95% do tempo, são apresentadas na tabela 5.10.

O anexo K apresenta as curvas de permanência originadas das séries observadas e estendidas, na forma tabular.

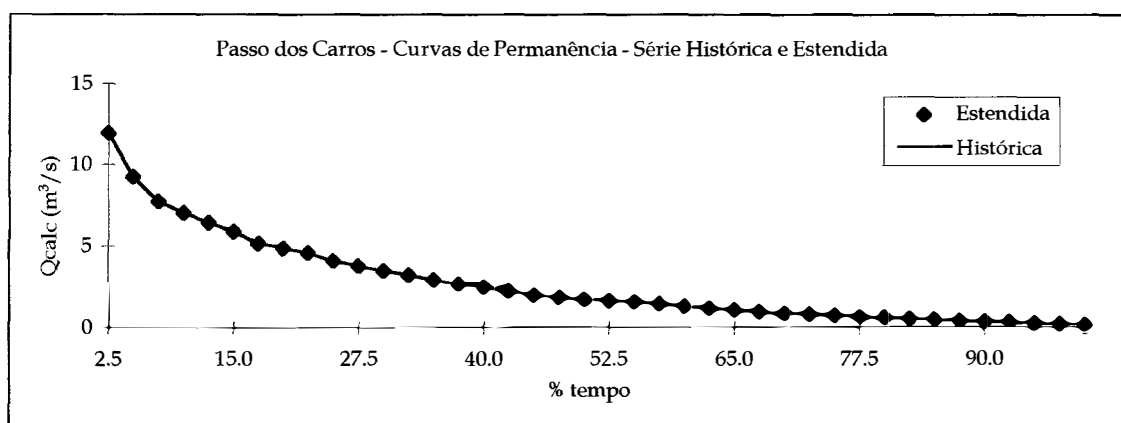


Figura 5.11 Séries histórica e estendida em Passo dos Carros

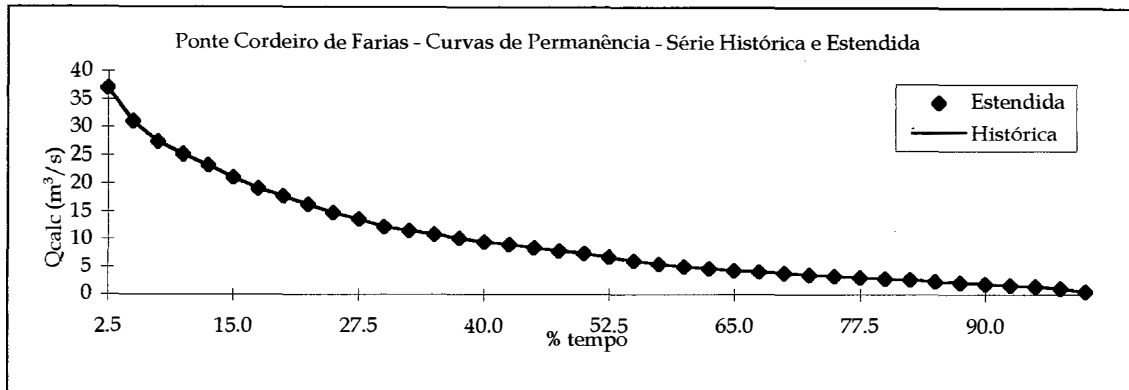


Figura 5.12 Séries histórica e estendida em Ponte Cordeiro Farias

Tabela 5.9 Valores de  $Q_{50}$  e  $Q_{95}$  para as séries observadas e calculadas dos postos de Passo dos Carros e Ponte Cordeiro de Farias no período de 1981-95.

Postos	QO <sub>50</sub>	QC <sub>50</sub>	QO <sub>95</sub>	QC <sub>95</sub>
Passo dos Carros	1,86	1,72	0,19	0,14
Ponte C. de Farias	8,89	8,84	0,93	0,78

QO: valores obtidos da curva de permanência com base em dados observados.

QC: valores obtidos da curva de permanência com valores calculados pelo modelo.

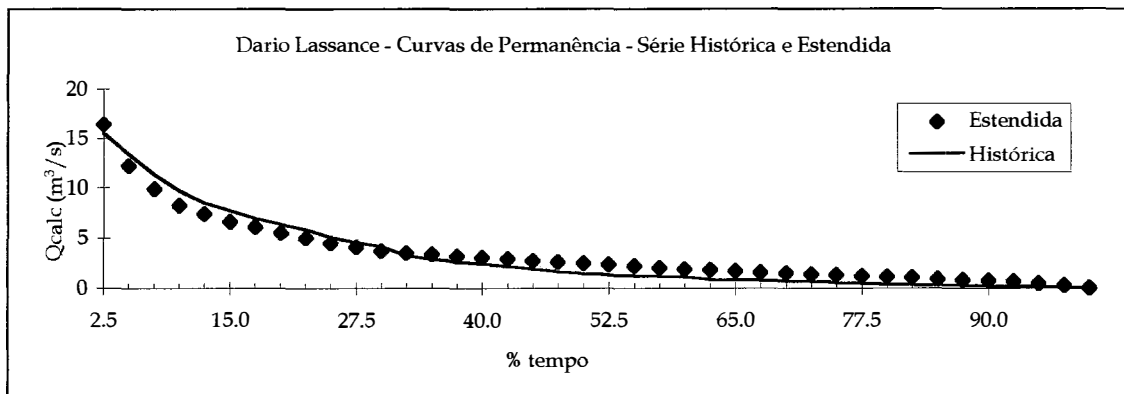


Figura 5.13 Séries Histórica e Estendida em Dario Lassance.

A estimativa das vazões  $Q_{50}$  e  $Q_{95}$  para locais sem dados podem ser obtidas utilizando equações regionais, obtidas com base nos dados destes postos.

As equações são as seguintes:

$$Q_{50} = 0,00393 \cdot A^{0,9825} \cdot P^{2,75} \quad (R^2 = 0,951) \quad (5.6)$$

$$Q_{95} = 0,0002 \cdot A^{0,847} \cdot P^{7,297} \quad (R^2 = 0,81) \quad (5.7)$$

Nas figuras 5.14 e 5.15 pode-se observar o grau de ajuste destas equações.



Tabela 5.10 Comparação das estimativas de  $Q_{50}$  e  $Q_{95}$  obtidas a partir das curvas de permanência com dados históricos e com extensão.

Postos	QO <sub>50</sub>	QC <sub>50</sub>	QO <sub>95</sub>	QC <sub>95</sub>
Averias	47,33	51,97	2,10	3,78
Treinta y Tres	51,97	32,47	3,78	3,72
Vergara	9,45	10,49	0,46	0,55
Paso Borches	8,45	8,89	0,08	0,25
Paso Dragón	21,22	24,37	0,45	0,78
Paso Centurión	34,39	32,93	2,60	2,77
Candiotinha	2,44	2,48	0,19	0,19
D. Lassance	1,44	2,46	0,12	0,47
Arroio Grande	3,79	3,05	0,48	0,21
G. Santa Marta	1,26	1,91	0,26	0,21
P. do Império	23,13	22,82	2,84	2,97
Picada Nova	21,68	28,73	3,28	3,99
Cerro Chato	13,03	14,15	1,52	1,80
Contrato	22,04	24,37	3,02	3,06
Passo do Ricardo	47,92	64,44	8,04	8,47
Passo dos Carros	1,71	1,71	0,21	0,21
Ponte C. de Farias	7,31	7,31	1,41	1,41

Obs.: O: valores da série observada  
C: valores da série estendida

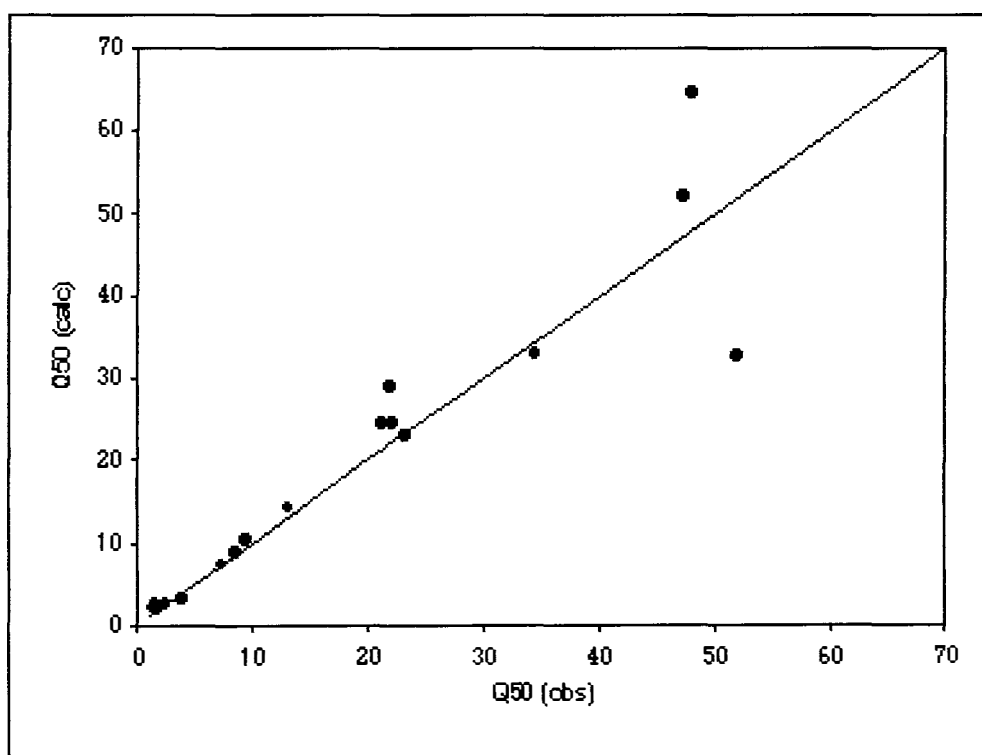


Figura 5.14 -  $Q_{50\text{obs}} \times Q_{50\text{calc}}$

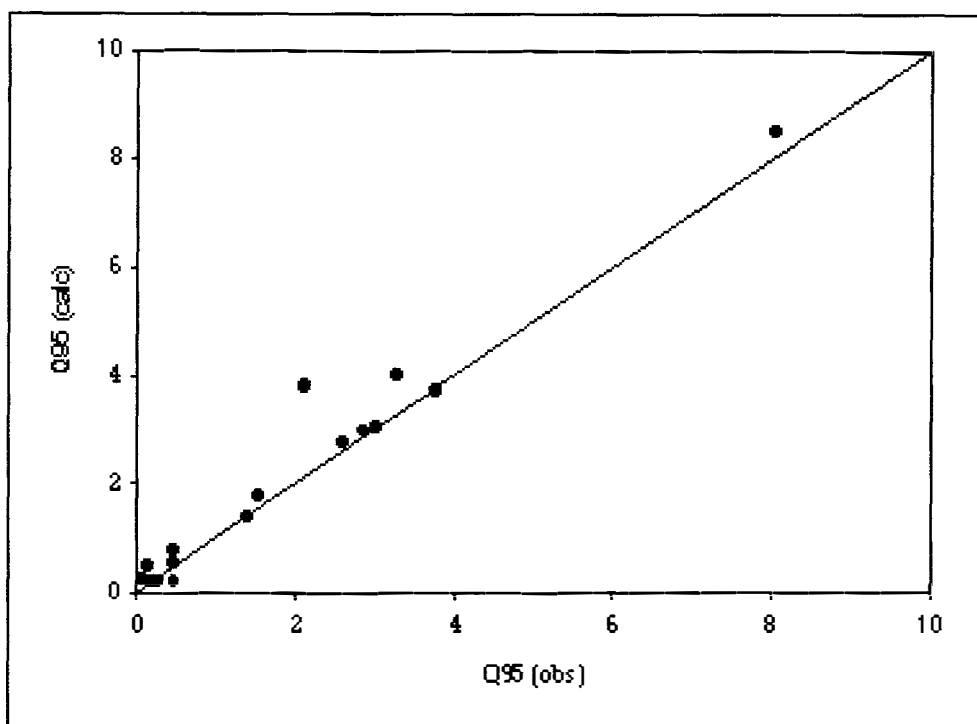


Figura 5.15 -  $Q_{95obs} \times Q_{95calc}$

### 5.5.2 Curvas de Regularização

A curva que relaciona a vazão regularizada com o volume necessário para regularizá-la, denomina-se curva de regularização.

Um dos métodos mais antigos para regularização de vazões foi desenvolvido por Rippl (1882, apud McMahon, 1992), conhecido como Diagrama de Rippl ou método da Curva Massa, atualmente com pouco uso devido às características gráficas e à não utilização da evaporação. Já o método da simulação, atualmente mais utilizado, pode considerar a evaporação, quando disponível a relação entre a área e volume do reservatório.

Na simulação é utilizada a seguinte equação de balanço hídrico do reservatório:

$$S(t+\Delta t) = S(t) + [q(t) - D]\Delta t - [E(t) - P(t)] \cdot A \cdot k \quad (5.8)$$

onde  $S(t)$  é o armazenamento no início do período de tempo  $t$ , em  $m^3$ ;  $q(t)$  deflúvio afluente durante o intervalo  $t$  em  $m^3/s$ ;  $D$  é a descarga operada visando ao suprimento da demanda, em  $m^3/s$ ;  $E(t)$  evaporação do reservatório durante o intervalo de tempo, em  $mm$ ;  $P(t)$  a chuva sobre o reservatório no mesmo intervalo de tempo, em  $mm$ ;  $A$  a área em  $km^2$ ;  $k=10^3/\Delta t$ ;  $\Delta t$  é o intervalo de tempo em  $s$ .

Outro método que não requer muita informação considera uma demanda constante ao longo do tempo ( $q_r$ ) que é utilizada no dimensionamento do reservatório segundo a seguinte equação:

$$S_0 + \sum_{t=1}^N q_t = N q_r + S_f \quad (5.9)$$

onde  $S_0$  é o armazenamento inicial;  $q_t$  as descargas afluentes durante o período de  $N$  intervalos de tempo;  $S_f$  é o armazenamento final.

Se  $(S_0 - S_f)$  é muito pequeno temos  $\sum_{t=1}^N q_t = N q_r$ . A descarga máxima regularizável é a média dos deflúvios afluentes no período  $t$ .

No presente trabalho as curvas de regularização foram determinadas através de uma equação da continuidade que não considera a evaporação.

Para obter o volume de regularização de uma determinada demanda calcula-se o volume acumulado em cada tempo:

$$S_{t+1} = S_t + (Q_t - q) \Delta t \quad (5.10)$$

onde  $S_t$  e  $S_{t+1}$  são os volumes armazenados nos tempos  $t$  e  $t+1$ ;  $Q_t$  é a vazão afluente no tempo  $t$ ;  $q$  é a demanda a ser regularizada;  $\Delta t$  é o intervalo de tempo (para vazões mensais será igual a um mês).

A variação do volume armazenado ( $S$ ), ao longo dos meses, conduz a uma função como a da figura 5.16. A cada ponto de mínimo da função de armazenamento calcula-se o volume necessário para regularizar a demanda naquele período ( $V_{aux}$ ), que é igual à diferença entre o armazenamento mínimo e o armazenamento máximo imediatamente anterior:

$$V_{aux}(i) = S_{max}(i) - V_{min}(i) \quad (5.11)$$

O volume de regularização ( $V_r$ ) para a demanda  $q$ , é o valor máximo dos volumes necessários a regularizar esta demanda, para cada período de estiagem ( $i$ ):

$$V_r = \text{Máx} [ V_{aux}(i) ] \quad (5.12)$$

O procedimento pode ser aplicado para várias vazões, obtendo seus respectivos volumes necessários para regularização de cada demanda, encontrando a relação  $V_r = f(q)$  que relaciona a demanda  $q$  e o volume de regularização  $V_r$ .

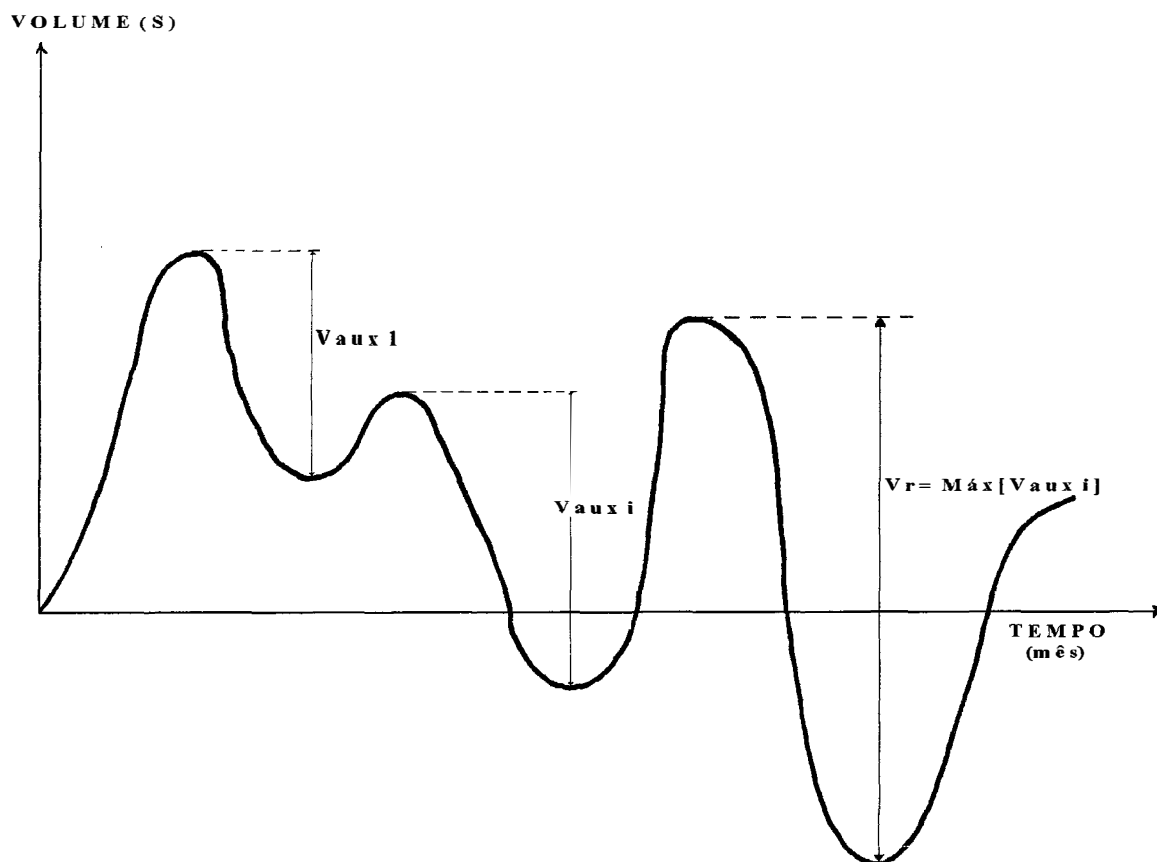


Figura 5.16. Variação do volume armazenado em função do tempo.

A máxima vazão que é possível regularizar é a média de longo período, estimada anteriormente para cada sub-bacia. Para a obtenção das curvas individuais, foram utilizadas vazões variando de 0 a 99% desta vazão média. As vazões foram adimensionalizadas com base na vazão média ( $Q_{med}$ ), e expressas em porcentagem; o volume também foi dividido pela vazão média, pelo intervalo de tempo de um ano e expresso em porcentagem.

### Determinação das Curvas de Regularização nas Sub-Bacias

As curvas de regularização foram calculadas para cada sub-bacia analisada, para as séries históricas e para as séries estendidas, com o uso do modelo. Estas são apresentadas nos anexos L (ilustrações) e M (séries históricas e estendidas, tabular).

Nos postos que possuem séries históricas longas, as curvas adimensionais são bem definidas, e muito semelhantes as das séries com extensão.

A análise de representatividade dos dados foi efetuada por meio do posto de Dario Lassance no arroio Candiota. Com base em seus dados foram encontradas duas curvas adimensionais: (i) para o período completo (1949-95) e (ii) para o período de 1967-95. O comportamento destes períodos na curva de regularização é mostrado na figura 5.17, indicando que não há mudança da curva de regularização no ramo todo da curva e o período de 1967 até 1995 é um período representativo para a análise das funções hidrológicas.

No entanto, a sub-bacia do arroio Chasqueiro em Granja Santa Marta, que possui apenas três anos de dados, apresenta resultados muito diferentes dos obtidos na série com extensão, enquanto que as séries do Cerro Chato e Passo do Ricardo, apresentam quase as mesmas curvas entre a observada e estendida, já que o período estendido é pequeno.

As curvas originadas das séries históricas tendem a subestimar os volumes de regularização quando as amostras são pequenas. Portanto, acontece determinação de volumes maiores com as séries estendidas que com as séries históricas.

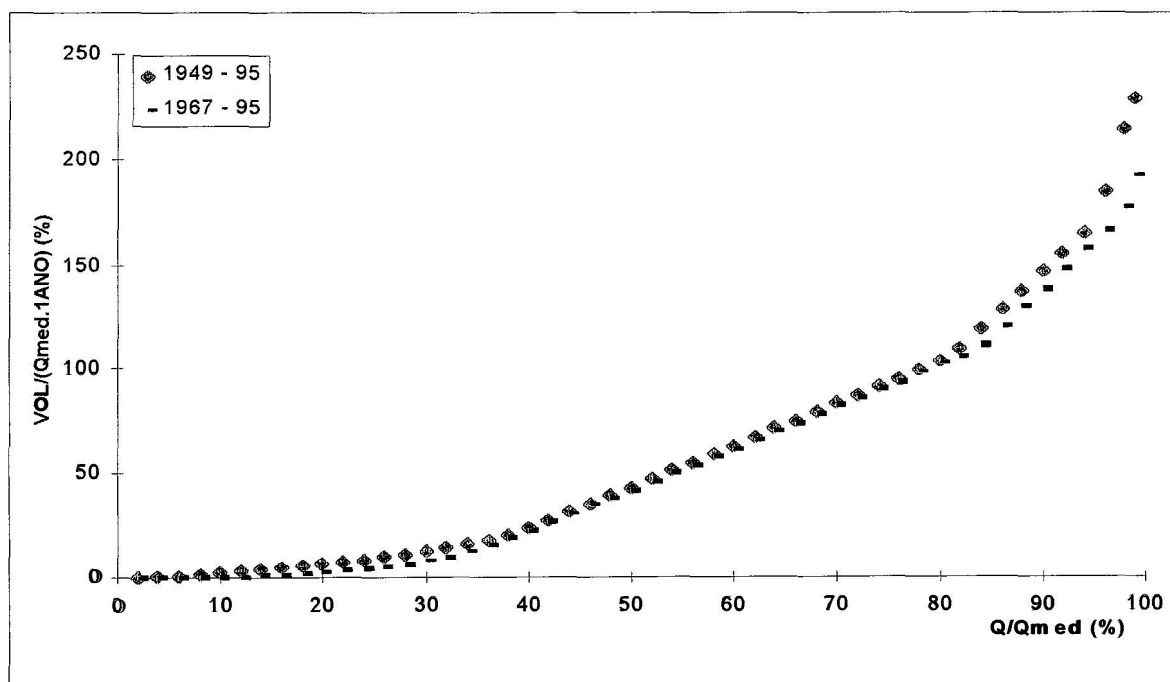


Figura 5.17. Curvas Adimensionais de Regularização do posto Dario Lassance.

### 5.5.3 Curvas de Probabilidades de Vazões Mínimas

Dentro da série histórica de vazões, os menores valores da série são denominados vazões mínimas ou de estiagem. As vazões mínimas são caracterizadas por dois fatores: a quantidade de água e a duração. Logo, todos os

menores valores das séries anuais estão associados a uma duração  $t$ . Por exemplo, a vazão mínima de um ano qualquer com duração de 30 dias indica o menor valor do ano da vazão média de 30 dias consecutivos. Na prática pouca utilidade tem a vazão mínima de 1 dia; normalmente durações maiores, como 7 dias, 15 ou 30 dias apresentam maior interesse, já que a seqüência de vazões baixas é que representa um problema maior.

As curvas de probabilidade de vazões mínimas permitem a estimativa do risco de que ocorram vazões menores que um valor escolhido. As características da vazão mínima foram estabelecidas pela análise de freqüência.

As curvas de freqüência, obtidas a partir das amostras de vazões observadas, procuram inferir a função cumulativa de probabilidades da população da qual a amostra foi retirada. Isto permitirá estimar a probabilidade de ocorrência de valores maiores ou menores que um determinado valor de vazão.

Para estabelecer a distribuição de freqüência é necessário que os valores tenham ocorrência aleatória. Os procedimentos para ajustar uma distribuição de freqüência a amostras de vazão com uma determinada duração podem ser: (i) empíricos; (ii) por distribuição teórica.

### **Determinação das Curvas de Probabilidades de Vazões Mínimas nas Sub-Bacias**

Inicialmente foram definidas as durações de análise. As vazões mínimas utilizadas neste estudo foram associadas às durações de 7 e 30 dias, e para cada sub-bacia foram selecionadas as menores médias de vazões consecutivas nos anos com dados de cada série. Estes valores foram definidos no intervalo que corresponde aos meses de junho a julho, evitando desta forma que ocorra dependência entre valores anuais. Foi utilizado o método empírico que se baseia no ajuste gráfico de uma curva aos pontos marcados segundo uma equação de posição de plotagem, após o ordenamento dos valores de vazão em ordem crescente. Esta equação é a seguinte:

$$p = (1 - 0,4)/(N + 0,2) \quad (5.13)$$

onde  $p$  representa o risco de ocorrer vazão menor ou igual a  $q_i$ ;  $i$ , a ordem das vazões e  $N$  o tamanho da série.

Para obter determinado valor de vazão, com duração  $t$  e período de retorno TR (inversa da probabilidade), faz-se uso da curva empírica de probabilidade determinada para a duração  $t$ .

As séries de vazões observadas na região da bacia da Lagoa Mirim tem

algumas limitações quanto à representativa da ocorrência das vazões mínimas. Sabe-se que na década de 40 apresentou um período seco, com considerável duração, não observado em épocas mais recentes. Além disso, a maioria dos postos possui séries com falhas, o que torna as séries menos representativas.

Para todas as sub-bacias apresentadas na tabela 5.11 foram determinadas as curvas de 7 e 30 dias de duração de vazões mínimas. Deve-se salientar que para séries muito curtas como Paso Dragón, Contrato e Arroio Grande os resultados possuem maior grau de incerteza, o que torna desaconselhável a utilização dos mesmos para períodos de retornos maiores que 10 anos.

Nas figuras 5.18 a 5.21 são apresentadas algumas curvas de probabilidades de vazões mínimas. Os resultados das demais sub-bacias estão apresentados no anexo N.

Os valores de vazões mínimas com duração de 7 e 30 dias, com período de retorno de 10 anos, nas sub-bacias, são apresentadas na tabela 5.11.

Tabela 5.11 - Média das mínimas anuais nas sub-bacias da Bacia da Lagoa Mirim

Estação	$Q_{7,10}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{30,10}$ (m <sup>3</sup> /s)	Tamanho da série (anos)	Período
Averias	1,220	1,562	16	1980-1995
Treinta y Tres	0,020	0,053	21	1948-1968
Vergara	0,076	0,148	17	1979-1995
Paso Borches	0,011	0,026	11	1985-1995
Paso Dragón	0,092	0,097	5	1989-1993
Paso Centurión	0,681	0,853	19	1967-1995
Arroio Grande	0,106	0,147	5	1969-1973
Contrato	2,00	2,06	6	1968-1973
Pte do Império	1,130	1,511	8	1978-1985
Picada Nova	1,016	1,325	11	1967-1977
P. do Ricardo	3,518	3,918	14	1967-1980
P. dos Carros	0,052	0,052	24	1966-1989
Pte C.de Farias	0,338	0,560	23	1966-1990

$Q_{7,10}$ : Vazão mínima de estiagem de 7 dias de duração e 10 anos de tempo de retorno em m<sup>3</sup>/s;  
 $Q_{30,10}$ : Vazão mínima de estiagem de 30 dias de duração e 10 anos de tempo de retorno em m<sup>3</sup>/s.

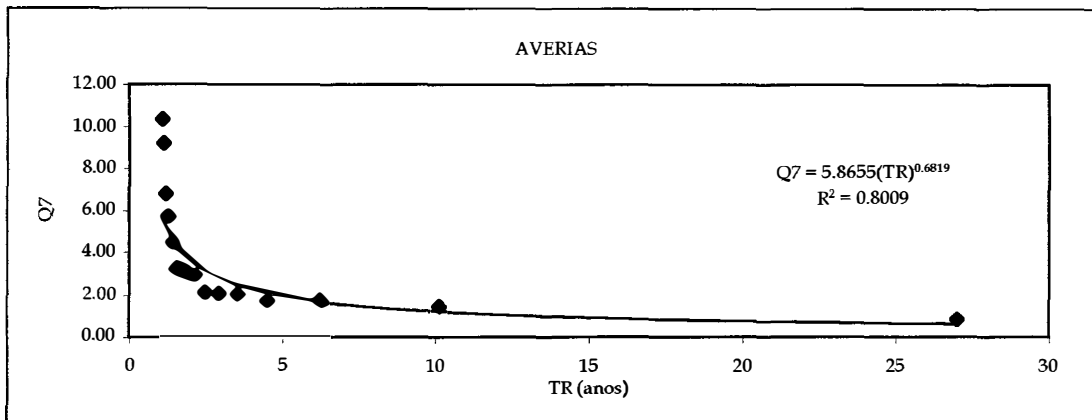


Figura 5.18. Curva de probabilidade de vazões mínimas c/ duração de 7 dias para estação Averias

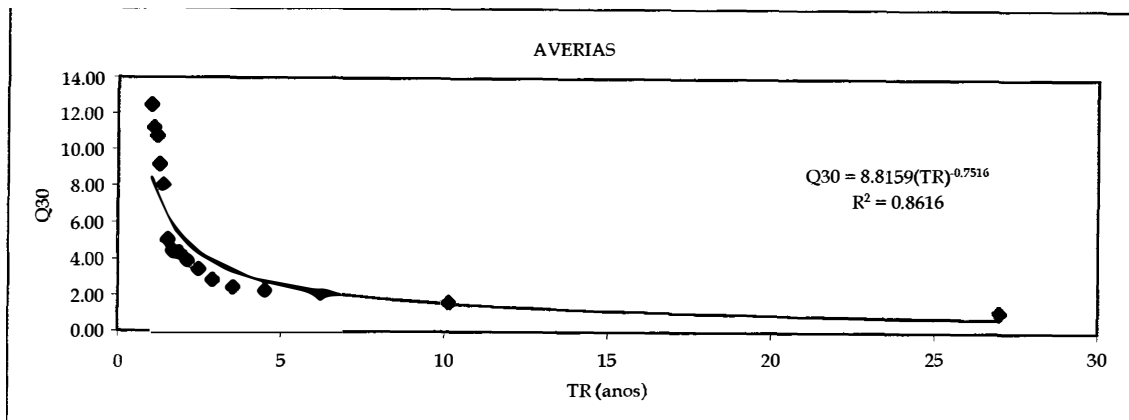


Figura 5.19. Curva de probabilidade de vazões mínimas c/ duração de 30 dias para estação Averias

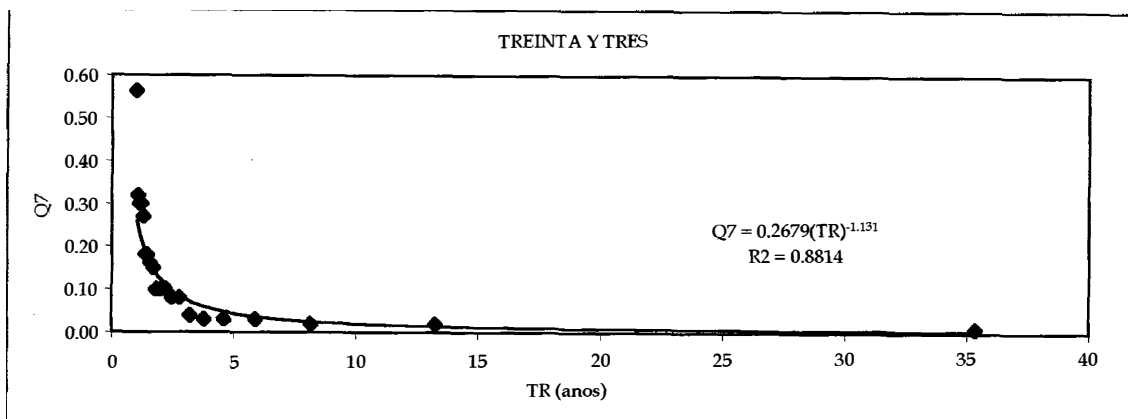


Figura 5.20. Curva de probabilidade de vazões mínimas c/ duração de 7 dias para estação Treinta y Tres



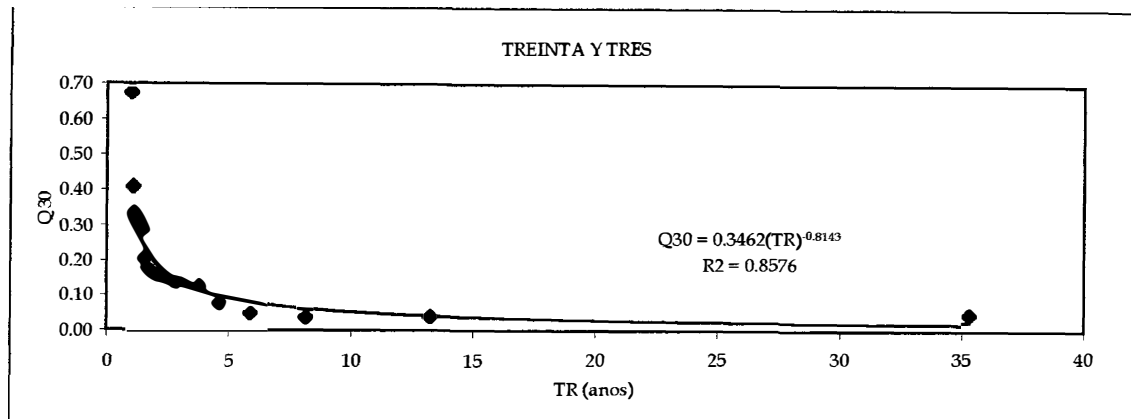


Figura 5.21. Curva de probabilidade de vazões mínimas c/ duração de 30 dias para estação Treinta y Tres

## 5.6 Águas subterrâneas na bacia da lagoa Mirim

A bacia da Lagoa Mirim está melhor estudada, em relação as águas subterrâneas, no lado brasileiro.

Em território brasileiro, a bacia da lagoa Mirim abrange de maneira total ou parcial os dezessete municípios a seguir relacionados: Arroio Grande; Bagé; Candiota; Canguçu; Capão do Leão; Cerrito; Chuí; Herval; Hulha Negra; Jaguarão; Morro Redondo; Pelotas; Pedro Osório; Pinheiro Machado; Piratini; Rio Grande; e Santa Vitória do Palmar. A área da bacia, corresponde a 10 % da área do Estado do Rio Grande do Sul, e onde vivem cerca de um milhão de habitantes.

No lado brasileiro foram cadastrados, pela Magna Engenharia (1997), 52 poços de captação de água subterrânea, sendo 32 poços utilizados para abastecimento público, e 20 poços utilizados para abastecimento industrial (ver tabela 5.12).

Os municípios que mais utilizam água subterrânea são: Rio Grande e Santa Vitória do Palmar, sendo que, Santa Vitória do Palmar utiliza 17 poços para abastecimento público e 2 para abastecimento industrial enquanto que, Rio Grande utiliza 4 poços para abastecimento público e 15 para abastecimento industrial. Em Santa Vitória do Palmar, dos 17 poços cadastrados, 10 estão situados na sede do município, 4 estão no Chui, 2 na Barra do Chui e 1 em Hermenegildo.

A exploração da água subterrânea em Chui e Barra do Chui, no lado brasileiro, associado com a exploração de água subterrânea em Chuy, no lado uruguaio, já está acarretando problemas de contaminação do aquífero costeiro

através da intrusão salina. Em território brasileiro, dentro da bacia, não foi cadastrado nenhum poço com a finalidade de utilização para irrigação.

O abastecimento público na bacia, do lado brasileiro, consome 653,90 m<sup>3</sup>/h de água subterrânea, e o uso industrial utiliza 697,82 m<sup>3</sup>/h de água subterrânea, perfazendo um total de 1351,72 m<sup>3</sup>/h .

Rio Grande, através de 15 poços, é o município que mais se utiliza das águas subterrâneas com fim industrial. Do volume total retirado na bacia (1351,72 m<sup>3</sup>/h), do lado brasileiro, para uso industrial e abastecimento público, 659,52 m<sup>3</sup>/h são para uso industrial no município de Rio Grande. Esse município, deverá merecer uma atenção especial, pois caso não haja um controle sobre a exploração de água subterrânea, problemas de intrusão salina nos aquíferos poderão ocorrer.

A distribuição dos poços, por município e conforme a utilização destinada, pode ser observada na tabela 5.12.

Em território uruguaio, a bacia da lagoa Mirim abrange de maneira total ou parcial as dezessete localidades a seguir relacionadas: Cebollati, Villa Sara, J.P. Varela, Vergara, Aiguá; Castillos; Centurion; Chuy; 18 de Julio; La Charqueada; La Coronilla; Lascana; Mariscal; Melo; Pirarajá; Rio Branco; Treinta y Tres; Velasquez; e das quais, em 11, tem-se dados de exploração de água para abastecimento público.

Dentro da bacia da lagoa Mirim, do lado uruguaio, existem 11 localidades que, segundo a subdivisão adotada naquele país, pertencem a dois Departamentos: Villa Sara, J.P. Varela, Vergara e Cebollati pertencem ao Departamento de Treinta y Tres; e, San Luis al Medio, 18 de Julio, Chuy, Barra del Chuy; Velasquez, Castillos e La Coronilla pertencem ao Departamento de Rocha. Essas localidades utilizam águas subterrâneas para abastecimento público, sendo que Vergara tem abastecimento misto (águas subterrânea e superficial).

Conforme informação obtida na OSE (Obras Sanitarias del Estado), em Montevideo, não há registro de extração de água subterrânea para irrigação, no lado uruguaio da bacia. O total de poços utilizados para abastecimento das localidades citadas é de 45, distribuídos conforme a tabela 5.13 .

A observação da tabela 5.13, mostra que Chuy é a localidade que mais utiliza as águas subterrâneas para abastecimento. Tendo em vista que, Chuy está na fronteira com o Brasil, e que o abastecimento público dos dois lados é feito com água subterrânea, problemas de intrusão salina nos aquíferos já estão ocorrendo. O uso deste manancial deveria ser feito obedecendo critérios de controle, tanto do lado brasileiro quanto do uruguaio.

Tabela 5.12: Distribuição de poços por município, lado brasileiro.

Municípios	Poços A.Pub	Q (m <sup>3</sup> /h)	Poços Ind.	Q(m <sup>3</sup> /h)	Tot. Q(m <sup>3</sup> /h)
Arroio Grande	0	0,00	0	0,00	0,00
Bagé	1	12,24	0	0,00	12,24
Candiota	3	41,83	0	0,00	41,83
Cerrito	0	0,00	0	0,00	0,00
Canguçu	0	0,00	0	0,00	0,00
Capão do Leão	0	0,00	1	1,44	1,44
Herval	1	10,80	0	0,00	10,80
Hulha Negra	0	0,00	0	0,00	0,00
Jaguarão	0	0,00	0	0,00	0,00
Morro Redondo	4	6,48	0	0,00	6,48
Pelotas	0	0,00	2	18,97	18,97
Piratini	0	0,00	0	0,00	0,00
Pinheiro Machado	2	43,20	0	0,00	43,20
Pedro Osório	0	0,00	0	0,00	0,00
Rio Grande	4	67,14	15	659,52	726,66
Sta. V. do Palmar	17	472,21	2	17,89	490,10
<b>TOTAL</b>	<b>32</b>	<b>653,90</b>	<b>20</b>	<b>697,82</b>	<b>1351,72</b>

Tabela 5.13: Distribuição de poços por município, lado uruguaio.

CIDADE	DEPARTAMENTO	Nº de POÇOS	QTOTAL (m <sup>3</sup> /dia)
Villa Sara	Treinta y Tres	2	180
J.P. Varela	Treinta y Tres	Água Superf.	
Vergara	Treinta y Tres	3 (misto)	180
Cebollati	Treinta y Tres	2	140
San Luis al Mello	Rocha	1	59
18 de Julio	Rocha	4	216
Chuy	Rocha	11	2668
Barra del Chuy	Rocha	6	744
Velazquez	Rocha	3	288
Castillos	Rocha	10	1466
La Coronilla	Rocha	3	21 m <sup>3</sup> /h (252m <sup>3</sup> /d)
<b>TOTAL</b>		<b>45</b>	<b>6193</b>

Apesar da pouca quantidade de informações a respeito das águas subterrâneas, no lado uruguaio da bacia, principalmente na área de ocorrência das rochas de idade Quaternária, construiu-se um mapa piezométrico (figura 5.22), onde foram plotadas as curvas piezométricas estimadas. A construção deste mapa

visa dar uma idéia da direção do fluxo das águas subterrâneas na bacia. Para tal, foram plotadas as curvas piezométricas estimadas para as cotas piezométricas 30, 20, 10 e 2 metros. Observa-se que o fluxo das águas subterrâneas tende a acompanhar o sentido regional de fluxo das drenagens superficiais.

Estão plotados nesse mapa alguns dos poços, onde constam os dados de cota, n° do poço, profundidade do poço e profundidade do nível d'água (nível estático). Nos poços que possuem a informação do nível estático, foi possível obter a cota piezométrica, que auxiliou na confecção do mapa piezométrico estimado da bacia.

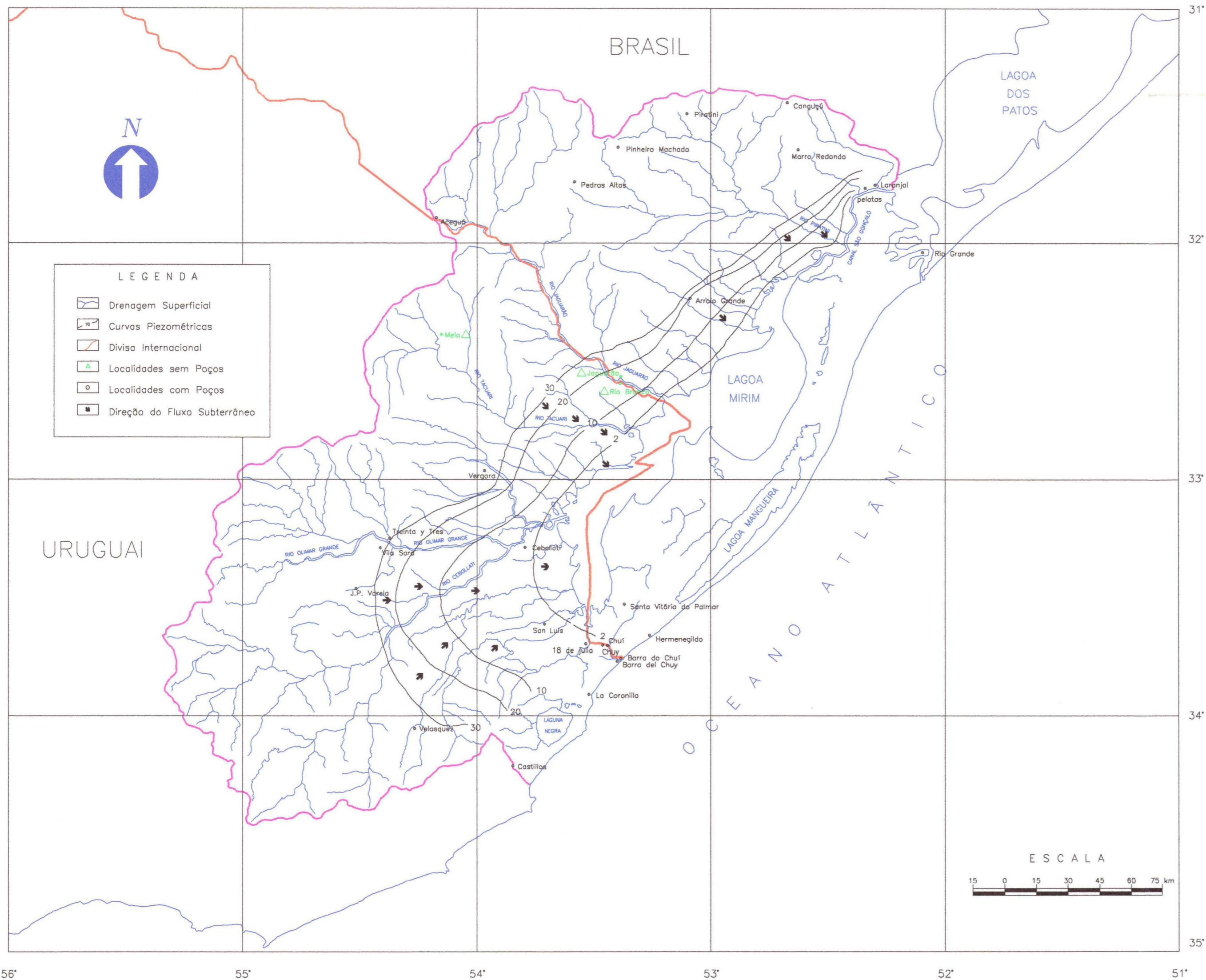
Com a finalidade de se observar se a captação de água subterrânea tem alguma influência no manancial subterrâneo, utilizaram-se dados do balanço hídrico para uma simulação.

Partindo-se da figura 5.11 - Áreas de jusante às sub-bacias e demais regiões afluentes, aplicou-se a simulação utilizando-se as áreas A, 1, 2, 3, B, C, 4, 5, D, 6, 7, E, 8, 9 e 10, que correspondem às áreas de jusante das sub-bacias e, geologicamente, coincidem com as áreas de ocorrência das rochas de idade holocênica. A soma total das áreas citadas, alcançou 20.841 km<sup>2</sup>.

A captação de água subterrânea, nessa área, está em torno de 21.021 m<sup>3</sup>/dia, informação obtida a partir dos dados das tabelas 5.12 e 5.13, cujas utilizações são para abastecimento público e industrial, não sendo registrado uso para irrigação. Na tabela 5.12, foi admitido que o bombeamento dos poços é feito 12 horas por dia. A captação total anual é de 7.672.665 m<sup>3</sup>/ano. Transformando o total anual captado das águas subterrâneas em lâmina d'água sobre a área considerada, o valor obtido é 0,368 mm.

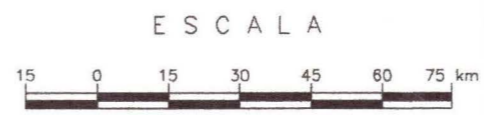
Considerando que a precipitação média anual, na região simulada, seja de 1200 mm/ano, e que o coeficiente de escoamento seja da ordem de 0,30, valor este, abaixo do valor real, tem-se que, 360 mm de lâmina d'água estarão escoando dentro da bacia. Admitindo-se que desses 360 mm, 20 % realmente infiltrem e vão alimentar as águas subterrâneas, obtem-se o valor de 72 mm de água. Comparando-se esse valor de 72 mm, que corresponde a recarga de água subterrânea, com o valor de 0,368 mm, que corresponde ao valor captado das águas subterrâneas, observa-se que, a captação de água subterrânea na região estudada, não é significativa, ela representa cerca de 0,5 % do valor estimado para a recarga.

Como já foi mencionado, cuidados devem ser adotados, em relação a captação de água subterrânea, nas localidades de Rio Grande, Chui, Barra do Chui, Chuy e Barra del Chuy, por estarem, as mesmas, muito juntas a costa, podendo ocorrer problemas de intrusão salina.



**LEGENDA**

- Drenagem Superficial
- Curvas Piezométricas
- Divisa Internacional
- Localidades sem Poços
- Localidades com Poços
- Direção do Fluxo Subterrâneo



**INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS UFRGS**

**MAPA PIEZOMÉTRICO ESTIMADO DA BACIA HIDROGRÁFICA DA LAGOA MIRIM - BRASIL / URUGUAI (FIG. 5.22)**

<p><b>FONTE:</b>          Cartas do SGE e IBGE          Projeto RADAMBRASIL          Carta Geológica do Uruguai</p>	<p><b>RESPONSÁVEL TÉCNICO:</b>          Geol. MARCOS IMÉRIO LEÃO</p> <p><b>GEOPROCESSAMENTO:</b>          Eng. ALFONSO RISSO          Bols. FELIPE FACCIÓN</p>
---	--

# **BALANÇO HÍDRICO DO SISTEMA MANGUEIRA-TAIM**

## **6.1 Características do sistema**

A região onde se encontram a lagoa Mangueira e o banhado do Taim ocupa a faixa leste da bacia da lagoa Mirim, entre a BR 471 e o mar (figura 6.1).

A existência da Estação Ecológica do Taim, uma área de conservação criada em 1978, é um condicionante ambiental muito importante dentro dessa área (figura 6.2). Essa estação tem especial importância para estudos da ecologia de *etlands*, por ser o banhado do Taim um dos últimos remanescentes desse tipo de ecossistema no Estado do Rio Grande do Sul.

Devido a problemas ocasionados pela seca de 1989 - 1991, a região foi objeto de vários estudos (IPH, 1996, Villanueva, 1997). O principal objetivo destes estudos foi definir condições para a conservação do banhado do Taim, mas, como o principal fator condicionante é a retirada de água da lagoa Mangueira, foi feita uma análise abrangente da demanda e oferta de água. Este capítulo é, basicamente, um resumo destes resultados.

### **6.1.1 Características hidrológicas**

A hidrologia regional tem como característica a inexistência de uma rede de drenagem bem definida, em função de sua evolução geológica. Tal fato se traduz na existência de vários banhados e lagoas, sendo essa sua principal característica em termos hidrológicos. O sistema em estudo é bastante complexo e abrangente, como pode ser visto na figura 6.1.

A complexidade do sistema é causada pelo fato de que o fluxo regional ocorre, em grande parte, ao longo de lagoas e banhados, nos quais predominam os processos de amortecimento, sendo que os mesmos estão interligados por uma extensa rede de arroios e canais.

O sistema tem como pontos extremos, ao norte, a bacia de contribuição da lagoa Caiubá e, ao sul, o limite sul da bacia de contribuição da lagoa Mangueira, e se desenvolve entre eles como uma estreita faixa delimitada, ao oeste, pela BR-471 e, ao leste, pela área de dunas costeiras. Este sistema pode ser dividido em três subsistemas distintos, que teriam como ponto de saída as comportas através das quais ocorre o escoamento para a lagoa Mirim, próximo à sede da ESEC Taim (figura 6.2).

O subsistema ao norte é constituído pelas lagoas Caiubá e Flores e seus banhados adjacentes, em especial o do Maçarico. Este subsistema não contribui significativamente para o banhado, podendo ser considerado um sistema fechado. Ao sul estariam o subsistema constituído pela lagoa Mangueira e sua área de contribuição e o formado pelo banhado do Taim e áreas adjacentes.

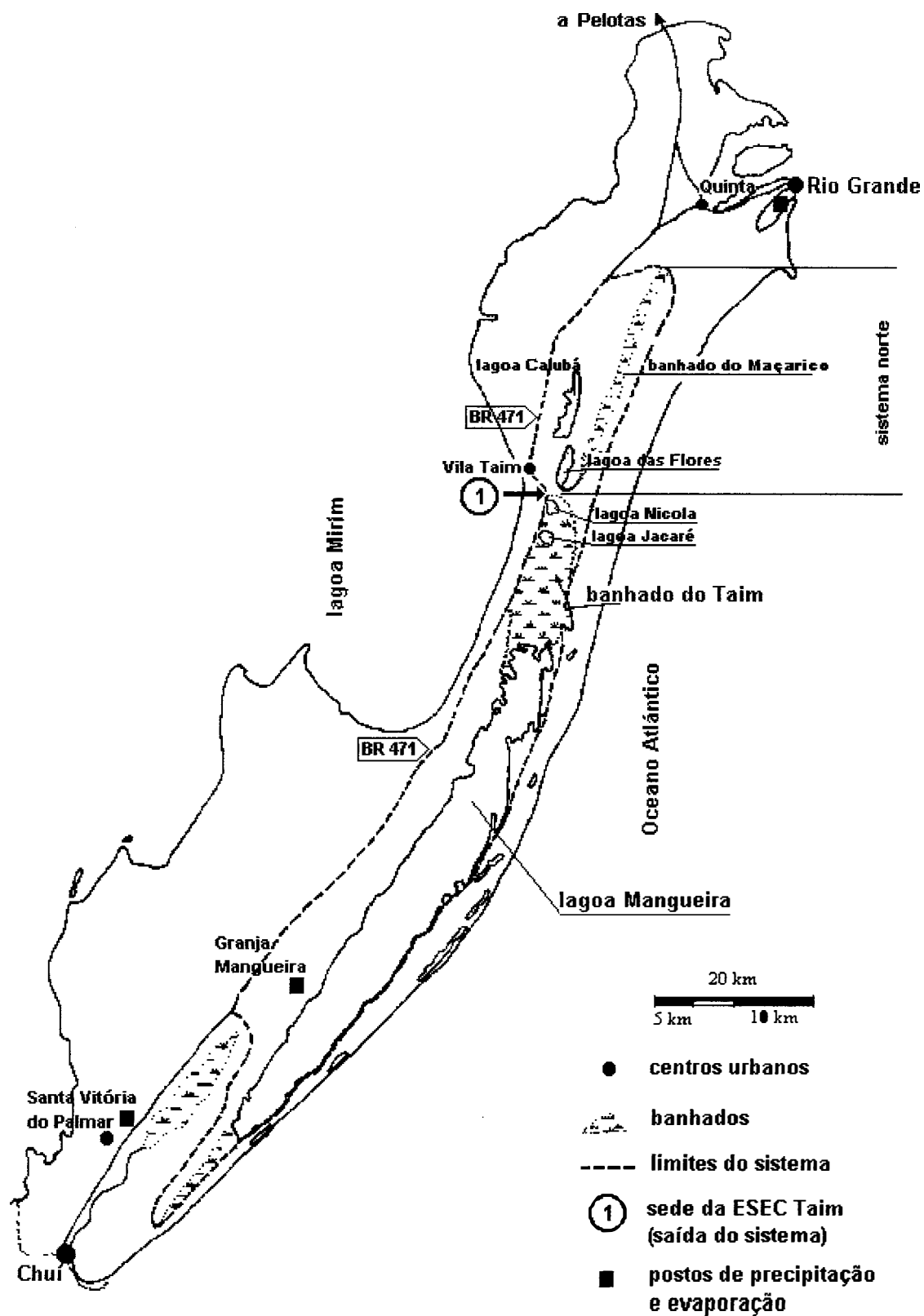


Figura 6.1: Sistema hidrológico Mangueira - Taim.

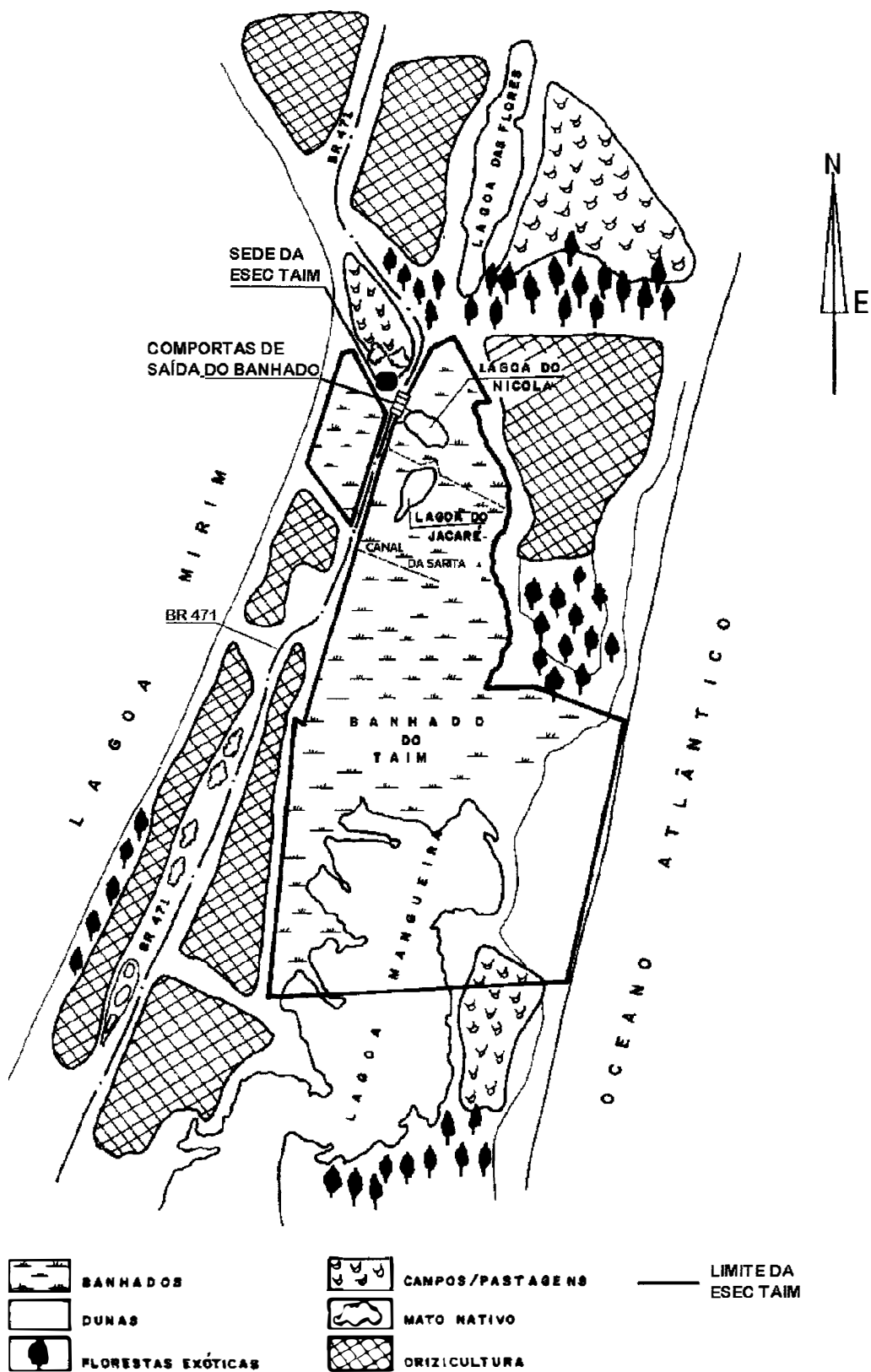


Figura 6.2: Estação ecológica do Taim.



### **6.1.2 Circulação da água no sistema da lagoa Mangueira**

A região com seção de saída nas comportas da Estação na BR-471 foi apresentada na figura 6.1. A precipitação que cai nessa área tende a escoar no sentido da referida seção principal. O comportamento dos principais subsistemas pode ser resumido como:

(i) **Sistema Norte:** Lagoas Caiubá, Flores e banhado do Marisco. Este sistema atualmente contribui com pouco volume em direção à lagoa Mirim, devido à retirada de água para irrigação e o fechamento periódico dos canais de saída. Seu funcionamento se resume na precipitação direta sobre a lagoa e a bacia, o escoamento da bacia em direção às lagoas, as quais armazenam a água, até que é retirada (em cotas maiores, quando a lagoa está alta) pelo canal que se comunica com a estação, pela evaporação das superfícies e pela demanda do arroz;

(ii) **Lagoa Mangueira:** A lagoa Mangueira tem uma superfície líquida da ordem de 800 km<sup>2</sup>, e uma bacia de contribuição relativamente pequena, também de aproximadamente 800 km<sup>2</sup>, sem contar o banhado do Taim. As saídas da lagoa são por evaporação, demanda por irrigação e para o banhado do Taim, esta última em função da cota. O sentido geral do escoamento é na direção do banhado, e do banhado para a lagoa Mirim, de acordo com a variação das cotas da lagoa e do banhado;

(iii) **Sistema do banhado do Taim:** A ligação do Taim com a lagoa Mirim é realizada através de um canal que é interrompido pelo aterro da rodovia BR-471. Neste aterro existem dois sistemas de galerias submersas, em níveis diferentes. O sistema foi projetado para garantir água para irrigação e permitir o extravasamento de volumes excedentes. Existe também uma casa de bombas abandonada, praticamente sem função hidráulica no momento. Houve várias alterações dos aterros nos últimos anos, que mudaram localmente a tendência dos fluxos, sem grandes alterações nos valores médios de longo período.

Com as galerias abertas, o fluxo depende da cota do banhado e da lagoa Mirim. Não é comum, mas os dados observados de 1967 e 1968 mostraram que a lagoa Mirim pode ficar com níveis superiores aos do banhado. Neste caso, existe fluxo da lagoa Mirim para o banhado. Esta é uma situação que não tem ocorrido nos últimos anos. A situação mais freqüente ocorre, portanto, quando a cota da lagoa Mirim é inferior à do banhado. Em termos gerais, a contribuição da região da lagoa Mangueira para a lagoa Mirim é muito pequeno,

### **6.2 Aspectos Ambientais**

O principal impacto ambiental incidente na região, no tocante aos recursos hídricos, é o incremento da orizicultura, que alterou e continua alterando o comportamento hídrico da região, por exigir a manutenção de lâminas de água sobre os cultivos durante todo o desenvolvimento dos mesmos, entre os meses de outubro/novembro e fevereiro/março, que são os meses mais críticos em termos

de déficit hídrico. Este fato, associado aos picos de evapotranspiração que ocorrem normalmente nessa época, pode ocasionar uma diminuição no volume de água necessário à manutenção dos ambientes palustres da região, em especial os da ESEC TAIM (pelo fato de grande parte das áreas de orizicultura estarem a montante da Estação Ecológica, conforme pode ser visto em IBAMA (1992, 1993a e 1993b). Além disso, acontecem também alterações na qualidade das águas, devido ao aporte de nutrientes e produtos fitosanitários. O incremento na extração de água para as culturas de arroz nos últimos anos tem sido menor, em função de uma maior atividade de fiscalização, por parte do IBAMA, do cumprimento das normas no tocante às extrações de água praticadas na região, e pela estabilização da área cultivada.

A implantação da estrada BR-471 também provocou alterações na dinâmica hídrica da região, já que isolou ambientes antes relacionados, o sistema Mangueira-Taim e a lagoa Mirim.

No primeiro estudo citado (IPH, 1996) foi analisado o comportamento biológico do ecossistema, e definidos os níveis mais adequados para sua conservação (IPH, 1996). Os estudos mostraram que este nível deve flutuar, tendo como referência as bordas das lagoas internas do banhado (Nicola e Jacaré). Ao longo do tempo as lagoas têm flutuado naturalmente em torno desse nível, sazonalmente ao longo do ano, e entre seqüências de anos secos e úmidos. Ao contrário do que as vezes é preconizado, um nível de água alto e fixo não é a situação ideal, a que deve procurar ser o mais próxima possível das variações naturais do sistema. A conservação do ecossistema depende da flutuação de níveis, para garantir a vida de diversas espécies terrestres e aquáticas.

A manutenção de níveis de água altos produziria os seguintes efeitos:

- transformar o meio ambiente terrestre em aquático, alterando as condições anteriores;
- prejudicar o uso do solo pela população na vizinhança dos lagos e canais;
- garantir volumes para períodos críticos.

O que se observa são interesses conflitantes na definição do nível do banhado. Para irrigação, a saída fechada melhora a disponibilidade de água, retendo volumes que escoariam para a lagoa Mirim. Para a conservação ambiental é necessário que ocorra a flutuação natural dos níveis, evitando-se a manutenção permanente de níveis muito altos.

### **6.3 Demanda para irrigação**

A figura 6.3 mostra a evolução da área plantada no Estado, nas safras 81/82 à 95/96, na região sul (Pelotas, Santa Vitória do Palmar, Rio Grande, Arroio Grande, São Lourenço do Sul e Jaguarão) e nos municípios de Santa Vitória do Palmar e Rio Grande, nos quais se localizam as lagoas Mangueira, Caiubá e

Flores. O comportamento das curvas é bastante semelhante e mostra um crescimento acentuado da área plantada, o que implica um crescimento igualmente acentuado da demanda de água. As eventuais quedas na área plantada devem-se à problemas climáticos (safra 89/90) e econômicos (safra 95/96).

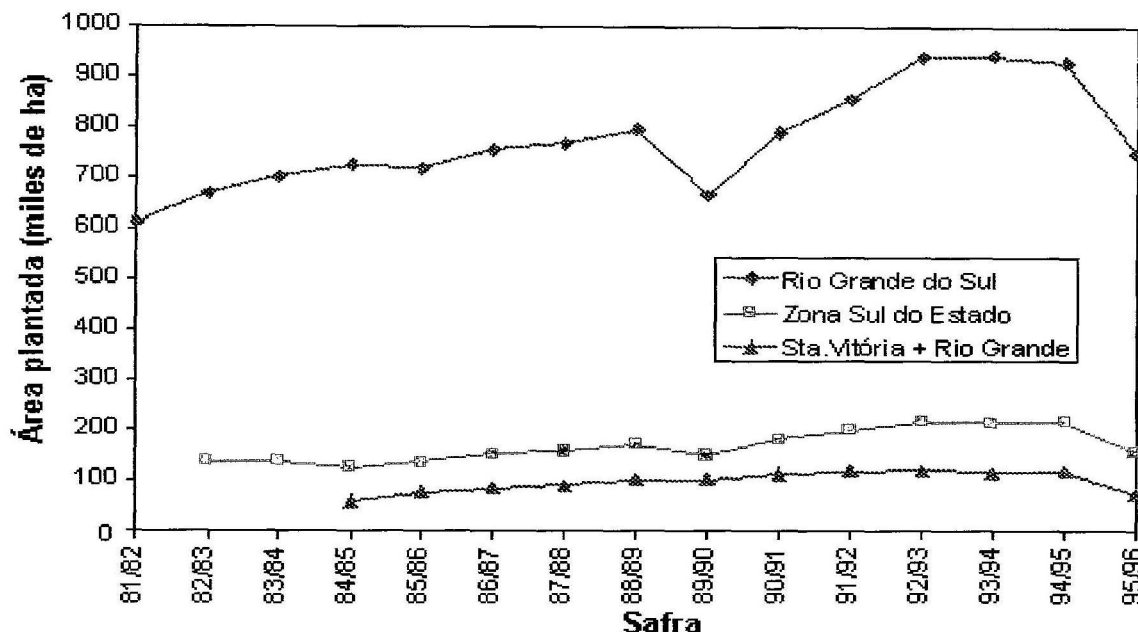


Figura 6.3: Evolução da área plantada entre 1981 e 1996.

Com base na tendência apresentada por estas curvas, foram estimadas as demandas para irrigação desde a safra 59/60 até hoje. Como referência para esta estimativa definiu-se, a partir das curvas, uma relação média de 10 % entre a área plantada simultaneamente nos municípios de Santa Vitória do Palmar e Rio Grande e a área plantada em todo o Estado. Além disso, foi possível estabelecer que Santa Vitória do Palmar contribui, em média, com 75 % da área plantada neste município e em Rio Grande.

A partir da extrapolação destes percentuais para todo o período de interesse, das estimativas do consumo de água para irrigação por unidade de área e das áreas que se beneficiam das lagoas, foram calculadas as demandas para cada uma das lagoas e para cada safra desde 59/60 até 95/96. No caso da Lagoa Mangueira admitiu-se uma vazão de 2 l/s/ha aplicada 24 h por dia, durante 90 dias, e uma área irrigada correspondente à 40 % da área plantada em Santa Vitória do Palmar.

Todas as informações relativas à evolução da área plantada no Estado e em regiões específicas, áreas irrigadas pelas lagoas, consumo praticado por unidade de área e formas de manejo foram obtidas junto ao IRGA.

Deve ser destacado que o volume extraído para irrigação (~400 hm<sup>3</sup>/ano) é muito grande em relação ao volume de água que entra no sistema (~470 hm<sup>3</sup>/ano).

## **6.4 Simulação do sistema**

Para garantir a conservação do ecossistema é necessário definir regras operacionais adequadas e/ou modificações no controle (comportas de saída). Para isso foi desenvolvido um modelo matemático do sistema Mangueira-Taim, que foi usado para simular diferentes situações, visando identificar as características do regime que tem modelado o banhado, e estabelecer as políticas ou alterações necessárias.

Devido à complexidade do funcionamento do sistema e à escassez de dados, o modelo foi usado não só para simular os cenários e definir as medidas a serem adotadas para a conservação do Taim, como também para identificação tentativa de algumas características físicas e de funcionamento.

### **6.4.1 Estrutura do modelo**

Como já foi comentado antes, este sistema hidrológico tem duas componentes principais: o banhado do Taim, e a lagoa Mangueira e sua área de contribuição. As observações determinaram que a contribuição do subsistema norte era muito pequeno, e que não exercia influencia significativa. Portanto o modelo simulou a lagoa Mangueira e o banhado, até sua conexão com a lagoa Mirim, nas comportas de saída do banhado. As componentes do modelo são as seguintes:

**Módulo da Mangueira:** Este módulo está composto por um modelo hidrológico simples que simula a transformação chuva - vazão na área de contribuição à lagoa Mangueira e por uma equação de balanço da lagoa. Se relaciona com o módulo do banhado na interface lagoa - banhado, na qual, em função dos níveis, é calculada a vazão que sai da Mangueira e entra no Taim. Esta vazão é uma das componentes do balanço da Mangueira, e o nível da Mangueira é uma condição de contorno do módulo do banhado;

**Módulo do banhado:** Este módulo é um modelo hidrodinâmico do banhado, simula o escoamento no banhado propriamente dito e no canal lateral, e recebe a influencia da lagoa Mirim através das comportas de saída do banhado.

### **Módulo da Mangueira**

O sistema da lagoa Mangueira é um sistema hidrológico não-típico, diferente daqueles para os quais em geral são desenvolvidos os modelos matemáticos. Isto significa que podem acontecer problemas de adaptação entre os modelos e o sistema a simular. Além disso, o intervalo dos dados disponíveis para o período a simular era mensal, o que implica uma simulação com simplificações metodológicas sobre a distribuição temporal dos processos que ocorrem na bacia. Porém, em geral são filtrados os efeitos de curta duração, que

não influenciam tanto o armazenamento e a área das lagoas e banhados estudados.

Para simular a lagoa Mangueira e sua área de contribuição foi utilizado um modelo de balanço de volumes, representado pela equação

$$S(t+\Delta t)=S(t)+A_b C_e P+ A_M P-k_t E A_M-I_r-Q_T \Delta t \quad (4.1)$$

onde  $S$  = volume na lagoa Mangueira ( $m^3$ ),  $A_b$  = área de contribuição à Mangueira ( $m^2$ ),  $C_e$  = coeficiente de escoamento,  $P$  = precipitação no intervalo de tempo considerado (m),  $A_M$  = área da lagoa Mangueira ( $m^2$ ),  $k_t$  = coeficiente da evaporação de tanque,  $E$  = evaporação no intervalo de tempo,  $I_r$  = volume retirado para irrigação ( $m^3$ ),  $Q_T$  = vazão que sai da Mangueira para o Taim ( $m^3/s$ ) (calculada pelo modelo do Taim como vazão de entrada, é o elo entre os dois subsistemas). A soma das áreas  $A_b$  e  $A_M$  é constante, e igual a  $1597 \text{ km}^2$ , que é a área total do subsistema da Mangueira.

As relações cota-volume e área-volume da lagoa Mangueira são usadas para obter a cota e área da lagoa, correspondentes ao volume no final do intervalo de tempo. Essas relações são:

$$z = -5,49 + 0,00824 S \quad S < 637,7 \text{ hm}^3 \quad (4.2)$$

$$z = -0,7 + 0,00136 S \quad S > 637,7 \text{ hm}^3 \quad (4.3)$$

$$A_M = 1108,14 - 426464,5/S \quad (4.4)$$

## Módulo do Taim

O banhado do Taim é uma extensa área inundada, com profundidades da ordem de 0,50 a 1,50 m, com um canal na sua margem oeste, junto da BR 471. Este canal cumpre uma função de ligação entre a lagoa Mangueira, o banhado e a lagoa Mirim. Embora o canal seja pequeno em relação ao banhado, a sua função é importante, dado que é uma das principais vias de escoamento da água no sistema, e é através dele que se exerce a influencia da lagoa Mirim. Para representar o conjunto Mangueira - banhado - canal foi utilizado um modelo de celas (Villanueva, 1997), do tipo usualmente aplicado a rios com áreas de inundação.

Essa técnica permite a representação de áreas inundadas extensas e complexas de uma maneira razoavelmente simples, permitindo incluir todos os fenômenos relevantes. A formulação consiste em utilizar dois tipos de elementos (fig. 6.4): trechos de escoamento em canal, representados pelas equações de Saint Venant e "celas", que são áreas de armazenamento ligadas entre si e com o canal mediante formulações (unidimensionais) hidráulicas simples. As celas foram usadas para representar o banhado e a ligação entre o banhado e a Mangueira. A formulação utiliza, basicamente, três tipos de equações:

equações de armazenamento das celas  
 equações das ligações cela-cela ou cela-canal  
 equações usadas para representar o canal

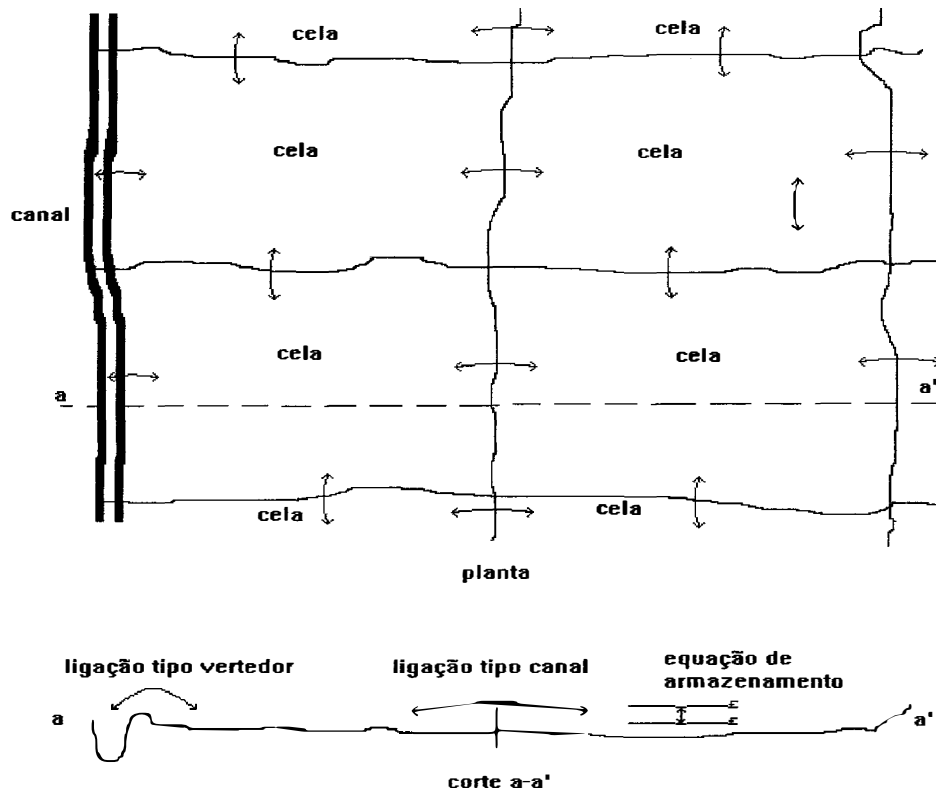


Figura 6.4: Esquema da representação do banhado

### 6.4.2 Ajuste do modelo

O ajuste do modelo foi executado utilizando os únicos dois períodos para os quais existem dados disponíveis. O primeiro foi 1995-1996 (fig. 6.5), no qual é possível estimar as vazões que passam pela comporta de saída do Taim e, indiretamente, as que saem da Mangueira para o Taim. Na segunda etapa trabalhou-se com o período 1967-1968 (fig. 6.6). Esta parte do processo de calibração mostrou que, a partir de condições iniciais geradas pelo próprio modelo, consegue-se reproduzir adequadamente o comportamento da lagoa Mangueira (os erros são da ordem de 0,15 m).

Foi feito um processo recursivo entre os ajustes dos dois períodos, simulando um deles com os parâmetros obtidos do ajuste do outro, até obter resultados razoáveis para ambos, embora não ótimos para qualquer um deles. Nas figuras 6.5 e 6.6 podem ser vistos os resultados, com os parâmetros finais, para os dois períodos.

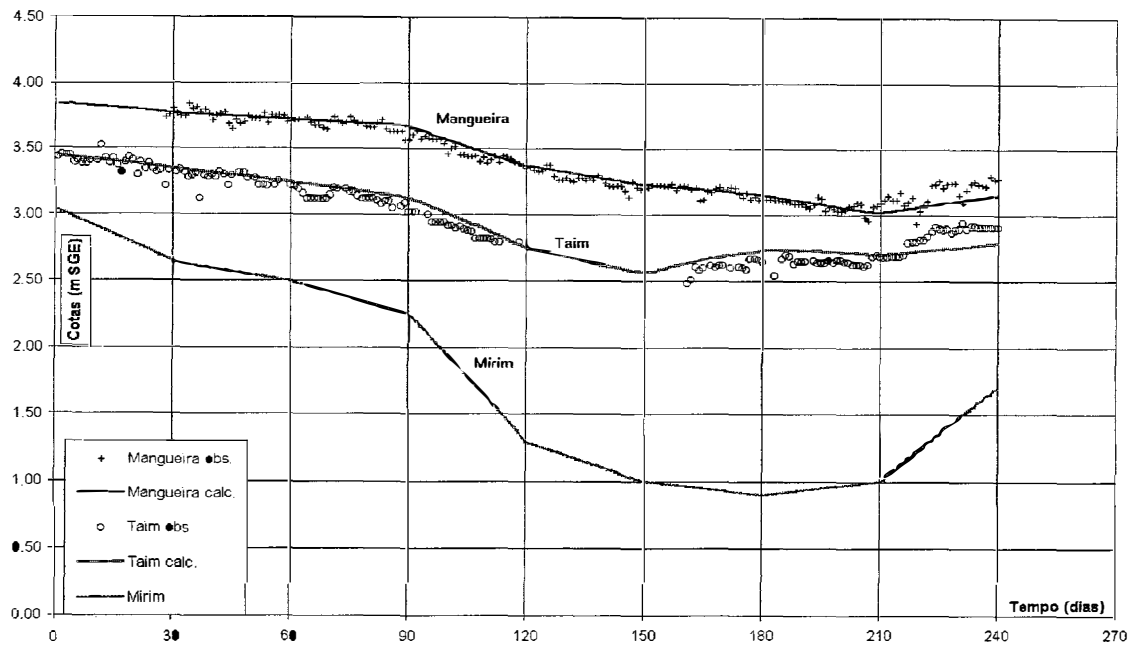


Figura 6.5: Ajuste do período 1995 - 1996.

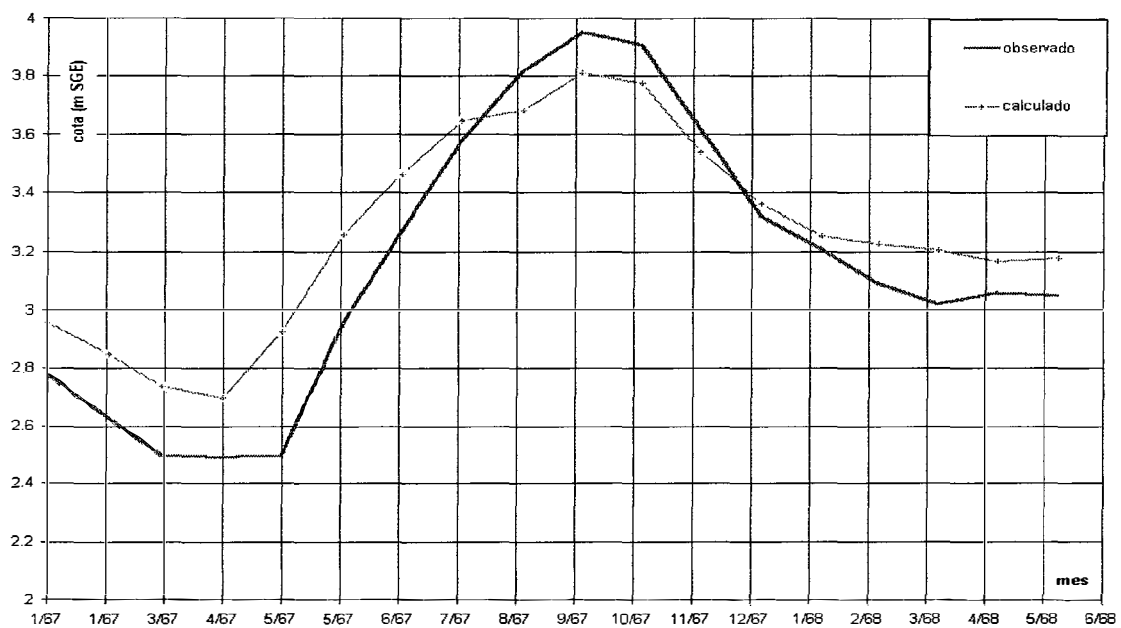


Figura 6.6: Ajuste da lagoa Mangueira, período 1967 - 1968.

## 6.5 Cenários de Análise

Para analisar as condições de convivência entre irrigação, meio ambiente e uso do espaço rural, foram definidos vários cenários de simulação, considerando aqueles fatores que condicionam o funcionamento do sistema:

- precipitação e evapotranspiração sobre a bacia contribuinte;
- capacidade de escoamento dos canais;
- capacidade de armazenamento das lagoas e das áreas limítrofes;

níveis da lagoa Mirim;

- características do escoamento dos conjuntos de condutos;
- retirada de água para irrigação.

Os dois últimos são os que podem ser operados, e em função disso foram definidos os seguintes cenários de análise:

**cenário 1 - situação ocorrida nos últimos 36 anos:** a demanda de irrigação que evolui ao longo do tempo e a saída do sistema permanece aberta. Essa situação corresponde a uma condição existente até dezembro de 1995;

**cenário 2 - simulação da série com a demanda de irrigação e comportas na condição atual (dez. '95):** Esta condição corresponde a como o sistema se comportaria para a demanda atual, que se espera que se mantenha estável para o futuro, se repetindo a entrada hidrológica do passado;

**Cenário 3 - simulação da série com comporta totalmente fechada e com demanda para irrigação:** Essa alternativa simula a situação que tenderia a acontecer se a saída de água do banhado fosse totalmente fechada. Nessa simulação as cotas excederam os níveis máximos previstos no modelo, interrompendo o cálculo;

**cenário 4 - simulação da situação com restrição da irrigação (demanda atual e saída de dezembro de 1995):** o critério adotado foi que quando a lagoa Nicola atinge uma certa cota, a extração de água da lagoa Mangueira é interrompida. A própria inércia do sistema faz com que ele continue descendo, e eventualmente caia por baixo da borda das lagoas (~ 2,40 SGE). Essa borda foi criada pelo próprio funcionamento da lagoa ao longo do tempo, e a flutuação em torno dela permite a manutenção dos ecossistemas aquáticos e terrestres. Foram feitas simulações com varias cotas, procurando aquela que produzisse a flutuação (hidroperíodo) mais semelhante ao regime natural. A cota escolhida foi 2,80 SGE. Esta foi a regra sugerida no primeiro estudo do sistema (IPH, 1996).

**cenário 5 - simulação de alterações na estrutura de saída do Taim:** foram analisadas diferentes configurações da estrutura de saída, que permitam a flutuação dos níveis do banhado, mas interrompendo a saída de água quando se atingem níveis críticos no banhado. As comportas atuais estão em um nível muito baixo, que permite a saída de água mesmo quando o banhado tende a secar (Villanueva, 1997).

**Cenário 6 - combinação de uma nova estrutura e uma regra de restrição de irrigação:** uma nova estrutura de saída foi combinada com uma regra de restrição da extração de água para irrigação, mas agora estabelecendo o volume disponível no fim de setembro, para diminuir os conflitos operacionais. As estruturas testadas foram basicamente as mesmas do caso anterior (Villanueva, 1997).



## 6.6 Análise da simulação dos cenários

Comparando os resultados do cenário 1 com os outros cenários simulados é possível verificar o impacto das diferentes alternativas sobre o sistema, e escolher aquelas que melhor preservem as características atuais.

O cenário 2 com demanda atual de irrigação para toda a série representa o cenário previsto futuro, sem nenhuma restrição quanto a retirada de água para irrigação. Esse cenário é muito desfavorável, já que os níveis ficam muito abaixo dos históricos, tanto na lagoa Mangueira quanto no Taim, chegando-se a situações extremamente críticas (fig. 6.7 e 6.8).

O cenário de comportas fechadas (cenário 3) tende a manter os níveis muito altos, modificando totalmente o meio ambiente da bacia e gerando inundações nas áreas adjacentes à lagoa Mangueira e ao banhado. Evidentemente que nessas condições não se observam situações de níveis muito baixos ou períodos críticos como o observado em 89-91.

O cenário 4 (fig. 6.9) é mais adequado, já que, se a demanda de irrigação for menor que a máxima atual ensaiada ou se o ano for mais chuvoso, o banhado não atingirá a cota limite, permitindo a irrigação por grande parte do período de estiagem. Embora essa regra seja “ótima” em relação ao Taim, já que resulta em um hidroperíodo muito semelhante ao “natural”, é conflitiva do ponto de vista operacional, porque implica em suspender a irrigação em qualquer momento durante a lavoura, sem prévio aviso. Além disso, pelo fato de manter a comporta quase fechada, teria provocado uma inundação bastante séria no Taim e regiões próximas durante o período 1975 - 1981.

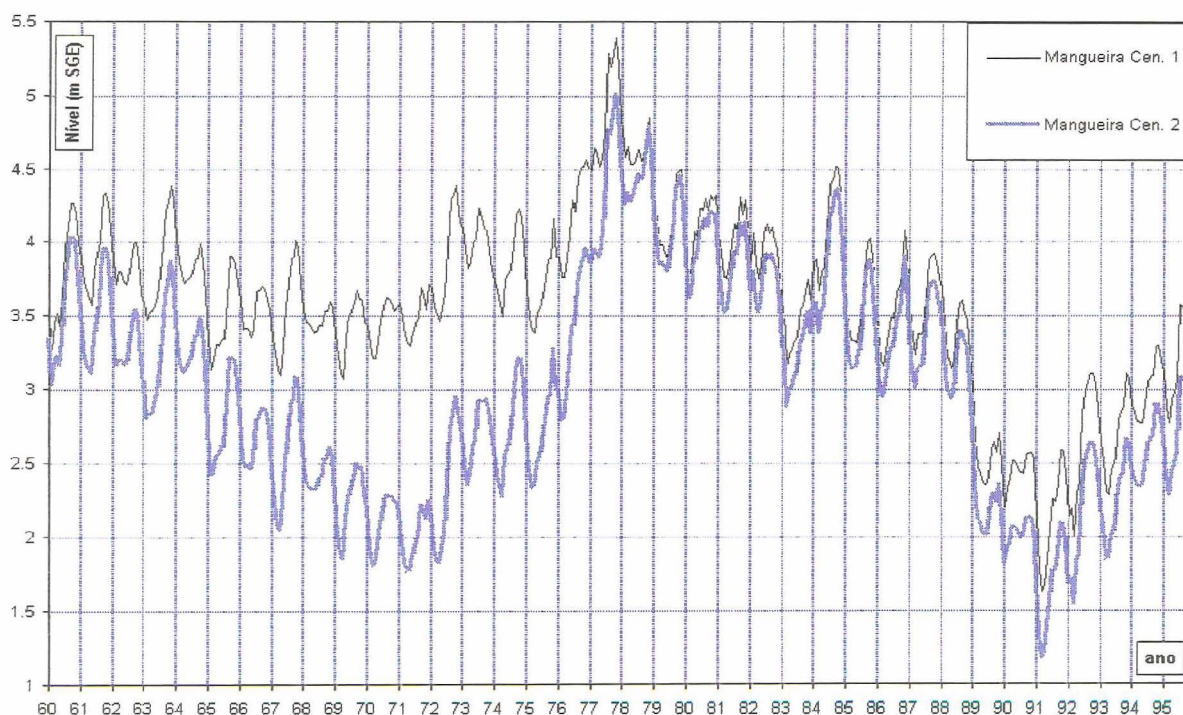


Figura 6.7: Níveis na Mangueira, cenários 1 e 2.

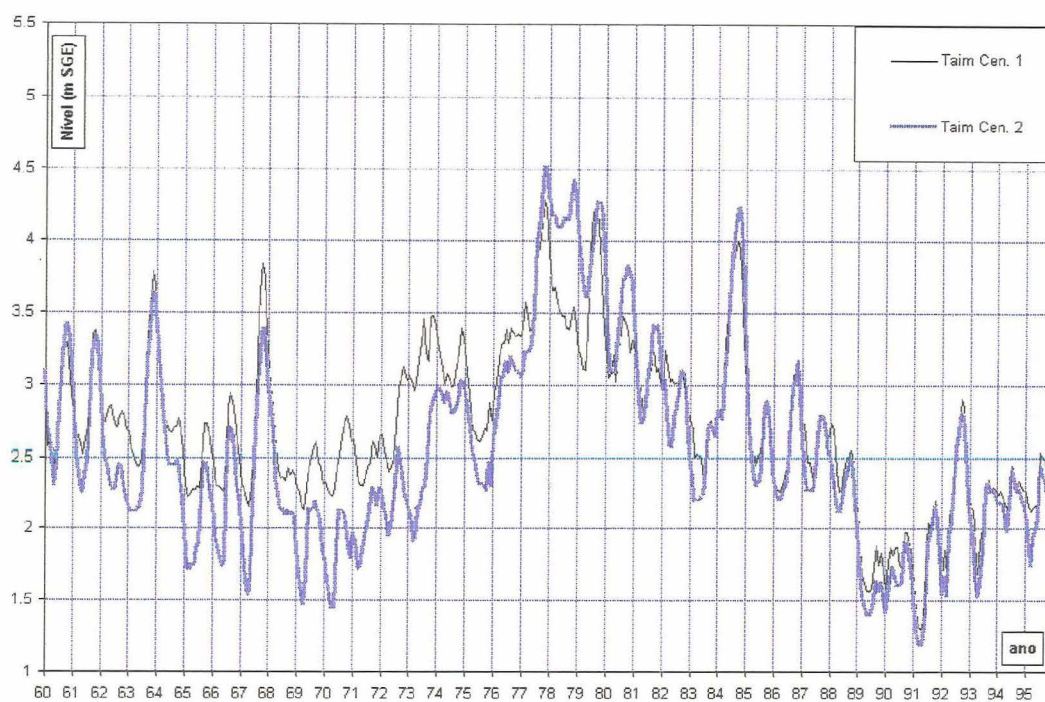


Figura 6.8: Níveis no Taim, cenários 1 e 2.

As novas configurações da estrutura de saída testadas no cenário 5 consistiram em uma série de “janelas”, colocadas na cota 2,00 m SGE ou acima, de maneira que quando o banhado se aproxima dos níveis críticos (~2,50 m SGE) a vazão de saída fosse rapidamente reduzida. Para comparação, a situação atual corresponde a uma janela de 7,5 m de largura, 0,50 m de altura, colocada em cota ~0,00 SGE. Esta alternativa foi testada para verificar se era possível conservar o banhado, e ao mesmo tempo manter a irrigação sem restrições. No entanto, ao longo do tempo essa irrigação vai fazendo cair os níveis da Mangueira, e consequentemente diminui a contribuição desta para o Taim, chegando a acontecer que o Taim passa a alimentar a lagoa.

Na regra do cenário 6, no final de setembro é feita uma previsão do volume disponível para irrigação, a que só é interrompida quando a Mangueira atinge uma cota crítica. O final de setembro foi escolhido como data para definir o volume disponível porque é quando os agricultores devem decidir a área a ser semeada, e começar a investir dinheiro nisso. Além disso, se a situação na lagoa muda entre essa data e a de efetivo plantio, é possível fazer ajustes na área a ser semeada. A nova regra de restrição foi definida a partir de dois critérios:

- a cota da Mangueira deve flutuar em torno de 3,25 m SGE;
- a cota crítica da Mangueira é 2,90 m SGE, a partir da qual se interrompe a irrigação

Como pode ser observado (figuras 6.9 e 6.10), esta combinação resulta em níveis um pouco mais baixos na Mangueira e um pouco mais altos no Taim, em relação aos cenários 1 e 4. Neste sentido, a situação não é tão favorável quanto a destes dois cenários. No entanto, a comparação é muito favorável sob o ponto de

vista de irrigação, como é possível ver na tabela 6.1, que mostram a comparação entre a disponibilidade de água para irrigação para a regra original (cenário 4) e a regra e estrutura modificadas (cenário 6). As diferenças de níveis mencionadas, e a modificação nas vazões de saída do Taim, geram um ganho de volume importante para a irrigação.

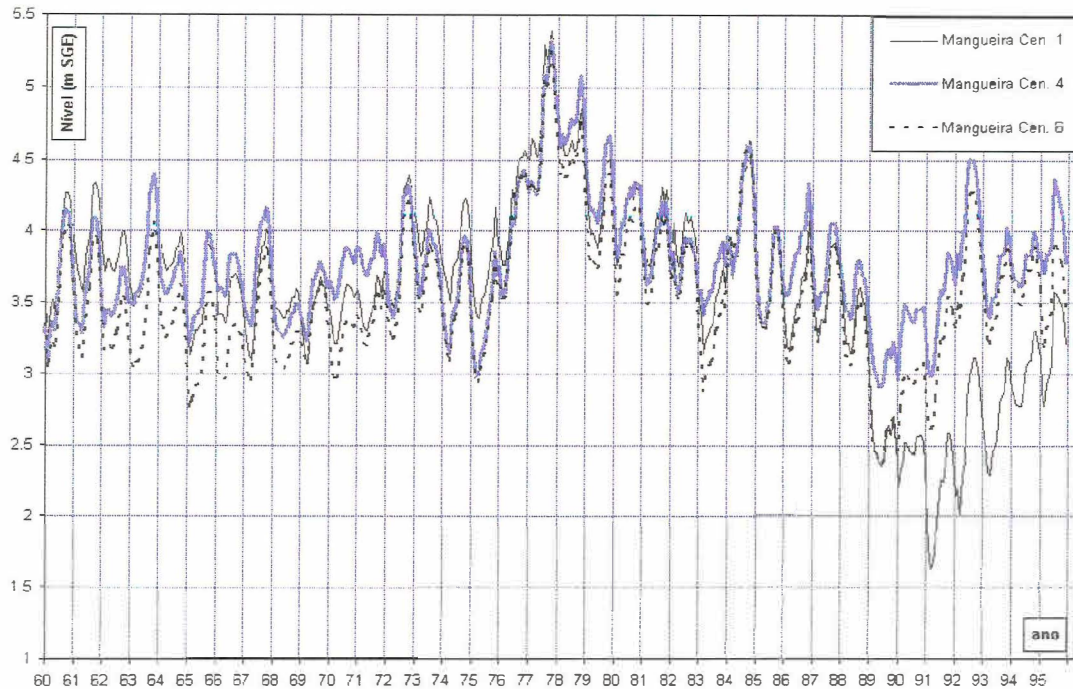


Figura 6.9: Níveis na Mangueira, cenários 1, 4 e 6.

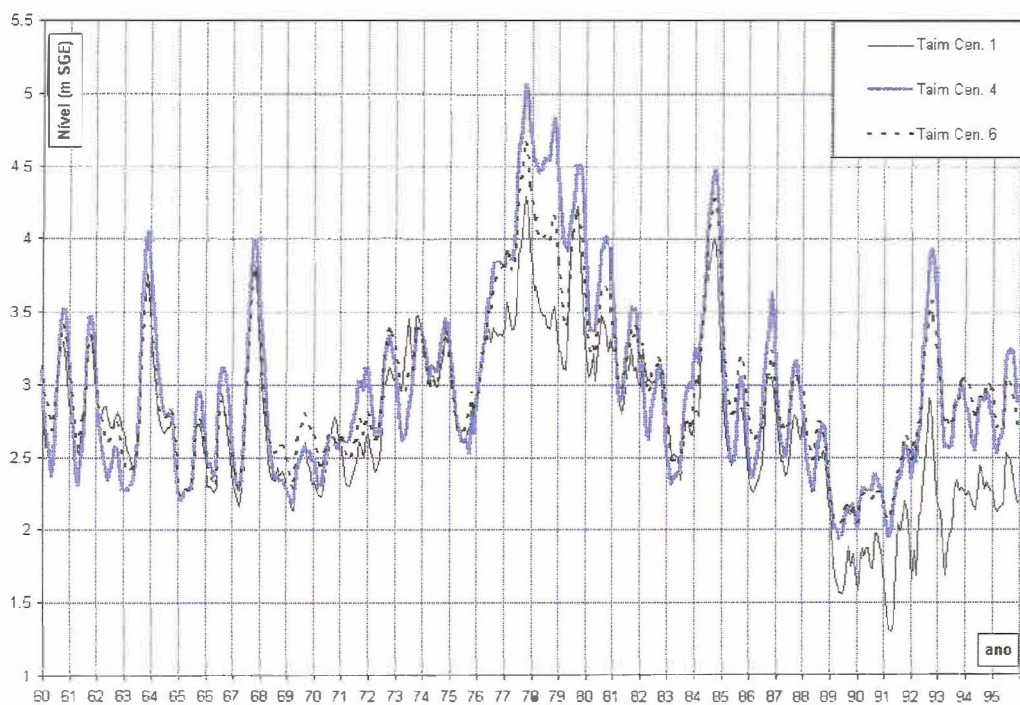


Figura 6.10: Níveis no banhado do Taim, cenários 1,4 e 6.

A diminuição do volume disponível em relação ao máximo, não necessariamente significa diminuição da área plantada. É possível melhorar a

eficiência, de condução e de aplicação, e utilizar tecnologias que diminuam o consumo de água na lavoura. Além disso, para evitar a diminuição da área plantada, em anos com pouca disponibilidade de água na lagoa Mangueira, é possível utilizar a água da lagoa Mirim em forma complementar.

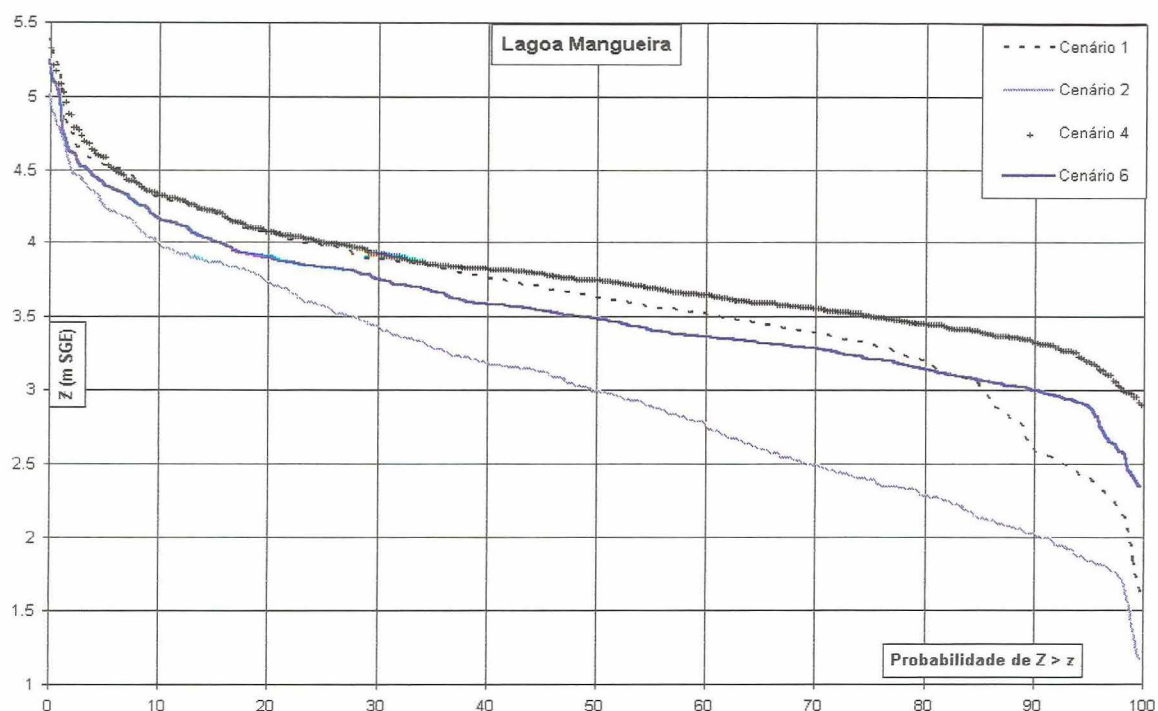


Figura 6.11: Curvas de permanência da lagoa Mangueira, cenários 1, 2, 4 e 6.

Tabela 6.1: Percentagem do volume demandado efetivamente disponível para irrigação, para os cenários 4 e 6.

ano	cenário 4	cenário 6	ano	cenário 4	cenário 6
60/61	82	100	78/79	100	100
61/62	76	100	79/80	100	100
62/63	0	58	80/81	100	100
63/64	100	100	81/82	100	100
64/65	0	55	82/83	12	100
65/66	15	66	83/84	100	20
66/67	22	20	84/85	100	100
67/68	100	100	85/86	11	100
68/69	0	0	86/87	85	81
69/70	0	87	87/88	61	100
70/71	0	27	88/89	0	57
71/72	100	74	89/90	0	0
72/73	93	100	90/91	0	0
73/74	100	100	91/92	0	15
74/75	100	100	92/93	98	100
75/76	59	53	93/94	88	96
76/77	100	100	94/95	18	100
77/78	100	100			

## **6.7 Conclusões**

Os cenários simulados analisaram diferentes combinações dos fatores, que influenciam o Taim, e sobre os quais é possível agir. Esses fatores são dois: a estrutura de saída do banhado para a lagoa Mirim e a retirada de água para irrigação.

Para preservar as características biológicas do banhado do Taim é necessário não só manter níveis adequados, mas também permitir que esses níveis oscilem, reproduzindo o hidroperíodo que constitui a "assinatura" do banhado. Isto impede que seja adotada como solução o fechamento total das saídas do mesmo, e impõe a necessidade de controlar as retiradas de água para irrigação, para evitar níveis muito baixos durante períodos prolongados.

As simulações dos cenários com irrigação sem restrições mostrou que o sistema não tem condições de suportar a extração do volume atualmente demandado para irrigação. Se essa extração de água não for limitada, seja pela imposição de limites ao volume extraído ou por diminuição da demanda, o sistema sofrerá sérios danos, e as alterações deles decorrentes poderão se tornar permanentes, acabando com o ecossistema como o conhecemos.

A combinação adequada de uma nova estrutura de saída do Taim e uma regra limitando a extração de água para irrigação permite conservar o sistema. Com a combinação recomendada nenhuma das "partes" envolvidas consegue sua situação ideal, que seria volume livre para irrigação e níveis históricos na Mangueira e no Taim, além do hidroperíodo no banhado. No entanto, a situação resultante (níveis um pouco mais baixos na Mangueira, um pouco mais altos no Taim, e diminuição de 25 % no volume extraído para irrigação), não é crítica para nenhuma das "partes", o que permite compatibilizar o uso dos recursos com a conservação do sistema.

Outra alternativa que diminuiria (ou evitaria) o impacto da limitação à extração de água da lagoa Mangueira seria o uso da água da lagoa Mirim, de forma complementar. Essa alternativa foi contemplada na formulação de cenários para o balanço da lagoa Mirim (cap. 7 deste relatório), cujos resultados mostraram que a lagoa Mirim tem condições de fornecer os volumes necessários para complementar a irrigação na área atualmente servida pela lagoa Mangueira.

## **7 BALANÇO HÍDRICO DA LAGOA MIRIM**

### **7.1 Metodologia de análise**

O impacto das possíveis mudanças na extração de água da lagoa Mirim foi estudado formulando diferentes cenários, que refletem as condições esperadas da demanda no futuro. Dado que a demanda dominante (~98 % da demanda total) é para irrigação de arroz, a definição dos cenários foi feita estimando os possíveis aumentos nessa demanda, seja por aumento da área cultivada, seja por transferência de demanda de bacias vizinhas.

Os níveis médios mensais, para cada um dos cenários, foram obtidos simulando o período de análise (1967-1995), com um modelo de balanço, baseado na seguinte expressão:

$$S_{t+1} = S_t + P - E + \sum Q_b - D_m - Q_{sg} \quad (7.1)$$

onde  $S_{t+1}$  e  $S_t$  são os armazenamentos inicial e final na lagoa Mirim;  $P$ ,  $E$  são a precipitação e a evaporação incidentes sobre a área da lagoa;  $Q_b$  é a vazão das sub-bacias afluentes à lagoa;  $D_m$  é a vazão para suprimento das demandas e  $Q_{sg}$  é a vazão efluente da lagoa através do canal São Gonçalo. O termo  $D_m$  é o que representa os cenários, mudando para cada simulação.

No capítulo 5 deste relatório foi apresentada a estimativa das séries de precipitação, evaporação e vazões afluentes ( $P$ ,  $E$  e  $Q_b$ , respectivamente). Neste capítulo será apresentada a metodologia de cálculo das vazões efluentes pelo canal São Gonçalo e a estimativa da série histórica de demandas usada no ajuste do modelo de balanço.

### **7.2 Características hidráulicas do sistema da lagoa Mirim**

#### **7.2.1 Circulação da água no sistema**

O sistema hidrológico da lagoa Mirim se caracteriza por ter múltiplos pontos de entrada, e um só ponto de saída. Os pontos de entrada são os correspondentes às sub-bacias de contribuição, entre as quais deve ser destacada a do sub-sistema Mangueira-Taim. Este sub-sistema tem características bem diferentes de uma bacia hidrográfica clássica, com condicionantes ecológicos importantes, e tem sido analisado separadamente, no capítulo 6 deste relatório.

Outra sub-bacia com características especiais é a do rio San Luis, na parte uruguaia da área de contribuição à lagoa. Nesta sub-bacia se localizam áreas alagadas, conhecidas genericamente como "banhado de Rocha". Infelizmente, não foi possível conseguir informações sobre esta região, o que

impede maiores considerações sobre suas características e os condicionantes (ecológicos e outros) nela existentes.

A saída natural de água da lagoa ocorre através do canal São Gonçalo. Existe também saída de água para a lagoa Mangueira, mas este fenômeno é raro, e não chega a ser relevante em termos do funcionamento da lagoa Mirim.

O funcionamento hidráulico da lagoa Mirim é bastante simples, e, de fato, descontando a circulação interna da lagoa, que está fora do escopo deste relatório, os aspectos mais importantes do funcionamento hidrodinâmico da lagoa Mirim são basicamente dois:

- o efeito do vento sobre os níveis na lagoa;
- as características hidráulicas do canal São Gonçalo.

Os ventos predominantes na região em estudo tem como direção o eixo sudoeste - nordeste, que é a mesma orientação que o eixo principal da lagoa. O comprimento da mesma nessa direção é de aproximadamente 200 km, o que favorece a ação dos ventos sobre os níveis da lagoa, gerando oscilações nos mesmos. Como resultado, um extremo esta, normalmente, mais alto que o outro. O sentido do vento determina qual extremo está mais alto. Isto introduz erro na utilização dos níveis para determinar o volume de água armazenado na lagoa num determinado momento. A utilização de níveis médios mensais diminui um pouco a importância deste erro, mas não o elimina. Para se obter um bom conhecimento dos padrões de oscilação da lagoa Mirim seria importante a instalação de registradores de nível (e não só régua), em vários pontos do contorno da lagoa.

Os níveis citados neste estudo, observados e calculados são níveis médios da lagoa. Os observados foram fornecidos pela Agencia da Lagoa Mirim. Os calculados foram obtidos a partir dos volumes armazenados, através da curva cota x volume.

As características do canal São Gonçalo são comentadas no item seguinte.

### **7.2.2 Vazões efluentes através do canal São Gonçalo**

A única saída de água da lagoa Mirim é através do canal São Gonçalo, que é um canal natural de aproximadamente 76 km de comprimento entre ela e a lagoa dos Patos. O sentido mais comum de escoamento é da Mirim para a lagoa dos Patos, que, no entanto, pode se reverter quando a lagoa Mirim está muito baixa. Para evitar o risco de salinização da Mirim nestas situações, no final da década do 70 foi construído, no extremo do canal próximo à lagoa dos Patos, um conjunto de comportas e uma eclusa, conhecidos como

“Barragem-eclusa do canal São Gonçalo”. A palavra “barragem “ não é uma descrição adequada do funcionamento da estrutura, cujas comportas não tem condições de suportar desníveis entre montante e jusante maiores que 0,50 m, que em termos operativos se reduzem a 0,35 - 0,45 m. Isto significa que a estrutura não pode reter água na lagoa Mirim em épocas secas, a diferença do que a expressão “barragem” poderia fazer pensar. Em geral, a estrutura simplesmente deixa passar a água que vem da lagoa Mirim, e quando há risco de inversão de fluxo (Patos ⇒ Mirim) as comportas são fechadas. Segundo os operadores, quando o nível no canal fica baixo de ~0,80 m (~1,10 m na lagoa), a operação do sistema de comportas é feita de maneira a dificultar a saída de água, mas as características da estrutura impedem que este efeito seja muito importante.

O resultado do exposto anteriormente é que a “barragem-eclusa” não exerce praticamente influencia sobre o balanço de volumes na lagoa Mirim para prazos maiores que alguns dias. Portanto, como a análise neste trabalho é feita a nível mensal, o cálculo da vazão efluente só levou em conta a “barragem-eclusa” para impedir a inversão no escoamento quando os níveis na lagoa dos Patos são maiores que os da Mirim, e como uma limitação da saída de água quando os níveis na lagoa Mirim são menores que 0,50 m.

A vazão que sai pelo canal foi calculada utilizando uma seção representativa para o cálculo da condutância hidráulica ( $K$ ), e o desnível entre as lagoas Mirim e dos Patos para cálculo da declividade, como

$$Q_{\text{São Gonçalo}} = K(h) \left( \frac{Z(\text{Mirim}) - Z(\text{Patos})}{\Delta x} \right)^{1/2} \quad (7.2)$$

onde  $Q_{\text{São Gonçalo}}$  = vazão efluente pelo canal ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $K(h)$  = condutância hidráulica para o nível médio no canal,  $Z(\text{Mirim})$ ,  $Z(\text{Patos})$  = níveis nas lagoas Mirim e Patos,  $\Delta x$  = distância entre as lagoas (~76 km).

### 7.3 Demandas de água na bacia da lagoa Mirim

Na bacia da lagoa Mirim são identificados usos da água em atividades econômicas diversas, como a agricultura, a indústria e também no abastecimento humano. Dentre estas, a atividade que demanda maior montante de água é a irrigação das culturas de plantio.

Segundo a Divisão de Recursos Hídricos da Direção Nacional de Hidrografia do Uruguai, várias bacias hidrográficas deste país têm limitadas a extração de água para irrigação devido a escassa disponibilidade em épocas de estiagem, incapaz de satisfazer à demanda. São citadas neste caso as bacias do rio Tacuarembó e a bacia da lagoa Mirim, na região que cobre os departamentos de Cerro Largo, Treinta y Tres e Rocha.

Na zona uruguaia da bacia, com base nos dados das safras de 1994 e



1995 fornecidos pelo Inventário Nacional do Aproveitamento dos Recursos Hídricos, do total de 102 pontos de usuários de água cadastrados, contemplando os três usos da água, o maior número de pontos foi, destacadamente, também para a irrigação com 95 pontos, seguida dos pontos para abastecimento industrial, 1 ponto, e para abastecimento público, 6 pontos. A demanda hídrica para irrigação corresponde a 107.963 l/s e equivale a 99,78% da demanda total na zona uruguaia. Para o abastecimento público, a demanda é de 218 l/s (0,20% do total) e para o abastecimento industrial, esta corresponde a 15 l/s (0,02%). Observou-se que, do total de 56.273 ha irrigados por retirada direta de água, as sub-bacias ali conhecidas como da lagoa e do rio Cebollati representam 40,22%.

Na zona brasileira da bacia, do total de 556 pontos de usuários de água cadastrados, contemplando três usos - irrigação, abastecimento público e abastecimento industrial - o maior número de pontos foi, destacadamente, para a irrigação, com 256 pontos de extração direta do rio e 159 de barragens/açudes (Magna, 1997). A demanda hídrica para irrigação corresponde a 315.454 l/s e equivale a 97,52% da demanda total na zona brasileira. Para o abastecimento público, a demanda é de 5672,06 l/s (1,75% do total) (Magna Eng., 1997, pg. 116) e para o abastecimento industrial, esta corresponde a 2354,91 l/s (0,73%).

As informações levantadas mostram que o maior número de pontos se concentra na região que corresponde à margem leste da lagoa Mirim e do canal São Gonçalo (125 pontos), seguida da sub-bacia do Rio Jaguarão (margem esquerda) com 118 pontos e da região da lagoa Mangueira e faixa litorânea com 102 pontos cadastrados. Em termos de área, do total de 151.558 ha irrigadas, as regiões das margens da lagoa Mirim e da lagoa Mangueira e faixa litorânea correspondem a 50% da área irrigada total da zona brasileira da bacia da lagoa Mirim. Dos 56.273 ha irrigados por retirada direta de água, as sub-bacias da lagoa Mirim e do rio Cebollati representam 40,22%. O Anexo 7.2 apresenta os valores das demandas registradas em cada sub-bacia

Para o cálculo do termo de demanda na equação (7.1) foi considerada toda a retirada de água, tanto a que é efetuada diretamente da lagoa Mirim, como a que é retirada dos afluentes. Embora nem toda a água saia diretamente da lagoa Mirim, isso é correto em termos de volume, já que a água retirada de pontos ao longo dos rios também é, indiretamente, uma demanda existente sobre a lagoa. No entanto, os resultados da análise não são válidos em termos do suprimento individual dessas demandas, já que o fato de que o sistema tenha volume suficiente não significa que ela vai estar disponível na localização onde é requerida.

A extração de água para irrigação é feita de duas maneiras: i) extraíndo diretamente da lagoa ou dos cursos durante o período de irrigação, e ii) acumulando água em açudes ou reservatórios durante o inverno, e depois extraíndo deles durante o período de irrigação. O primeiro caso é simples de considerar, já que a distribuição no tempo das retiradas é bem definida,

acontece entre dezembro e março, fora alguns casos de plantio de variedades precoces ou tardias. Neste estudo considerou-se que toda a demanda direta é retirada nos meses de dezembro a março, assumindo que nos meses de dezembro e março se irriga durante metade do mês, e em janeiro e fevereiro durante o mês todo, de maneira a completar 100 dias de irrigação.

O caso da irrigação a partir de açudes ou reservatórios é mais complicado, já que, embora a irrigação seja igual ao caso anterior, a forma em que a água é retirada dos cursos pode variar de ano para ano, e entre açudes. Dado que é impossível conhecer as diferentes políticas de acumulação e uso de água dos açudes e reservatórios, foi adotada a seguinte distribuição para a extração de água dos rios e arroios:

1. metade do volume necessário para irrigação é extraído dos cursos de água entre abril e novembro, com valores iguais para todos os meses, e acumulado nos açudes para uso no período de irrigação; e
2. a outra metade é extraída dos cursos de água durante o período de irrigação (dezembro a março).

## **7.4 Simulação do sistema**

### **7.4.1 Características do modelo**

A formulação básica do modelo de balanço é a equação (7.1), e a forma especificamente usada no programa do modelo é:

$$S_{t+1}(m^3) = S_t(m^3) + [P(mm) - E(mm)]0.001A(m^2) + [\sum Qb(m^3/s) - Qsg(m^3/s) - Dm(m^3/s)][86400 \text{ n}^\circ \text{ dias(mês)}] \quad (7.3)$$

onde A: área da lagoa Mirim.

Os valores de armazenamento assim obtidos são transformados em níveis, usando a curva volume x nível apresentada no capítulo 3. Como o presente trabalho não contemplava a execução de topografia, os dados da batimetria (e da curva) só chegam até o nível 1,85 (nível da lagoa no momento da execução do perfis). Para o balanço era necessário dispor de valores da curva até nível 5,0 m, o que foi conseguido extrapolando a curva volume x nível adotando os mesmos critérios que no estudo "Batimetria - cubagem da lagoa Mirim" (UNDP/FAO/CLM, 1968), mas utilizando os dados da batimetria executada para este estudo como ponto de partida.

A partir de um estado (nível) inicial da lagoa os valores dos meses subsequentes são obtidos pela aplicação recursiva da equação 7.3. O cálculo é executado de forma iterativa, sendo a área da lagoa e a vazão de saída pelo canal São Gonçalo calculados a partir do nível médio entre um mês e o anterior.

Os termos correspondentes à evaporação e à precipitação sobre a lagoa, e às vazões afluentes foram os mesmos para todas as simulações dos cenários. O termo de demandas muda em função do cenário simulado, dado que são as diferentes demandas as que definem os cenários.

#### 7.4.2 Ajuste do modelo

Para verificar a capacidade do modelo para representar o sistema, foi feita uma simulação utilizando uma série histórica de demandas para irrigação. Essa série foi estimada a partir da evolução da superfície cultivada no estado de Rio Grande do Sul, e supondo que a evolução na parte uruguaia da bacia foi a mesma. Na figura 7.1 pode ser vista a série histórica utilizada, adimensionalizada com relação à demanda da safra 1996/97 (demanda 96/97=1).

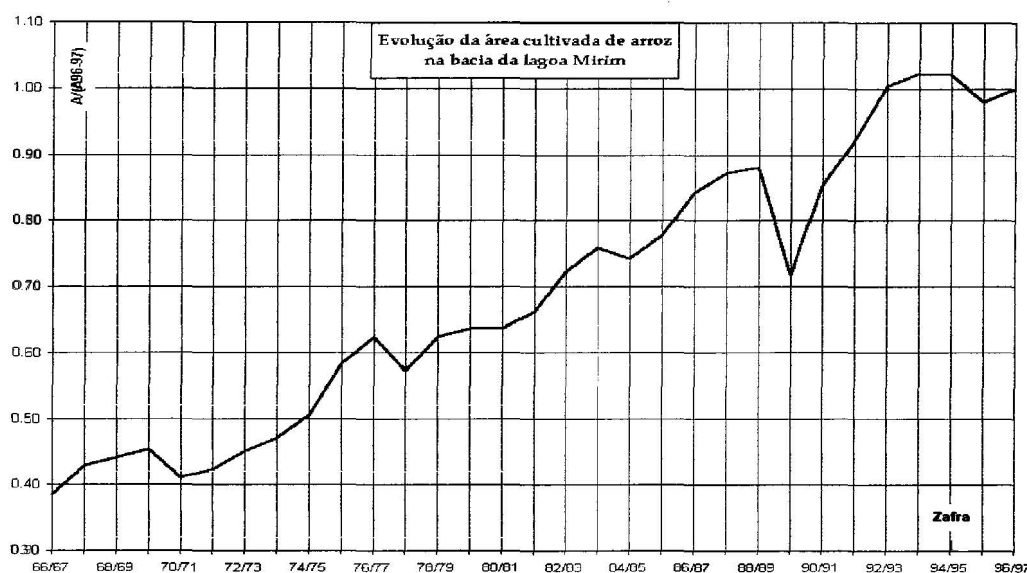


Figura 7.1: Série histórica de áreas cultivadas adotada na simulação.

A comparação entre os níveis médios observados na lagoa Mirim e os calculados pelo modelo mostrou que o modelo tem uma boa capacidade de representar o sistema da lagoa. Os resultados do ajuste foram bons, especialmente considerando as incertezas envolvidas (níveis na lagoa, vazões afluentes e efluentes, e demanda para irrigação). O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) do ajuste foi 0,89, com um erro padrão de 0,29 cm. Na figura 7.2 são apresentados os níveis médios mensais na lagoa, observados e calculados, e na figura 7.3 as curvas de permanência de níveis. As séries de vazões afluentes, de demanda, e de evaporação e precipitação direta da lagoa não foram alteradas no processo de ajuste. Só foram necessários alguns ajustes menores na condutância hidráulica do canal São Gonçalo.

#### 7.4.3 Cenários de análise

Para a simulação dos diferentes cenários foram considerados diferentes valores de demanda, constantes ao longo de todo o período simulado. As

demandas utilizadas nos cenários analisados estão maximizadas, e provavelmente as condições reais serão um pouco mais favoráveis. Por exemplo, não foi considerado o limite para a demanda representado pela localização das áreas disponíveis para cultivo, que nem sempre podem extrair água diretamente da lagoa, e estão condicionadas à vazão dos rios. No caso da demanda da lagoa Mangueira, foi considerada a transferência de toda sua demanda para a lagoa Mirim, quando só seria necessário transferir parte dela (Villanueva, 1997).

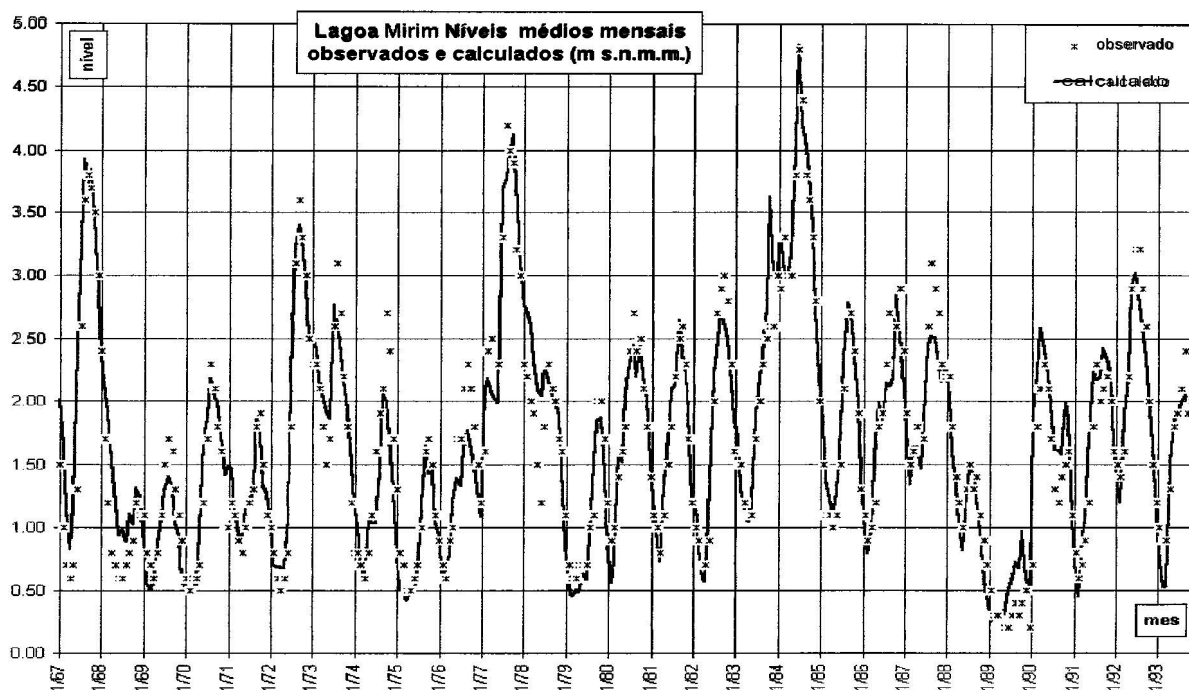


Figura 7.2: Níveis médios mensais na lagoa Mirim, irrigação histórica.

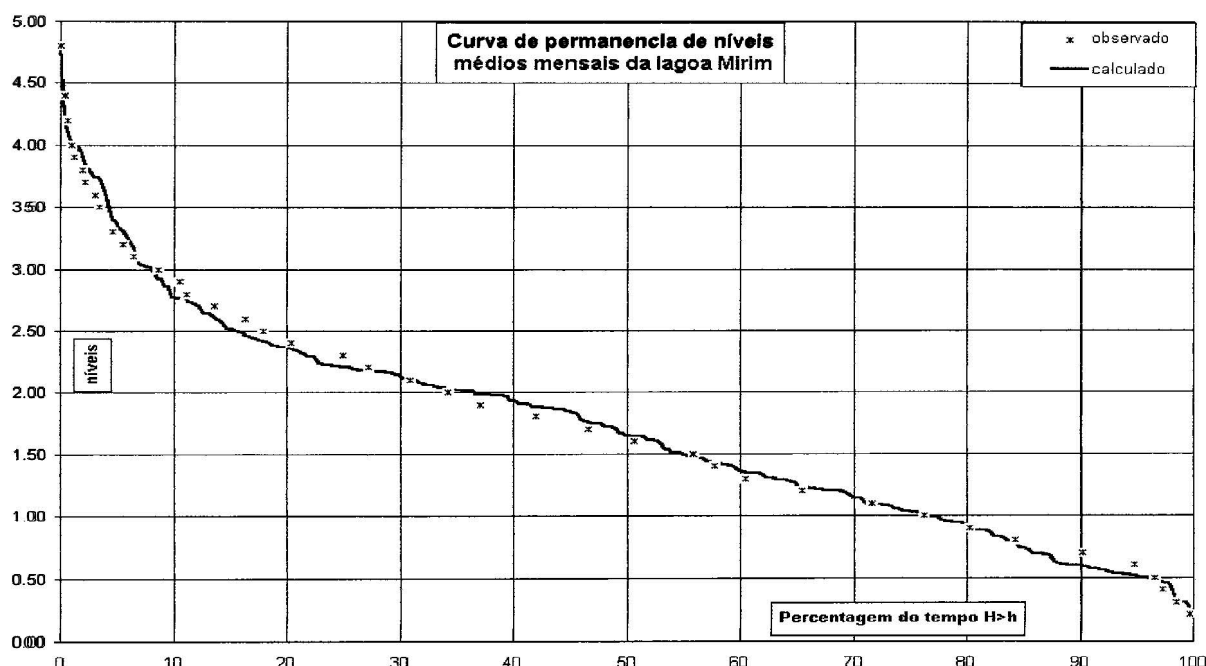


Figura 7.3: Curvas de permanência de níveis para a irrigação histórica.

Além disso, as demandas foram consideradas constantes (iguais para todos os anos), sem diminuições por fatores climáticos, como a ocorrida na safra 89/90, devida à seca. Na tabela 7.1 estão os valores de demanda correspondentes a cada um dos cenários.

Os cenários utilizados foram:

**Cenário 1 - irrigação constante no valor da safra 96/97:** é a situação que aconteceria se a demanda registrada na safra 96/97 tivesse acontecido durante todo o período simulado;

**Cenário 2 - irrigação máxima histórica:** Corresponde aproximadamente a 1,3 vezes a safra de 96/97, que se considera que saturaria a área cultivável, nas condições atuais;

**Cenário 3 - irrigação máxima histórica + demanda da Mangueira:** este cenário foi formulado a partir da necessidade de restringir a extração de água da lagoa Mangueira, para conservar o banhado do Taim (cap. 6 deste relatório). A situação analisada foi extrema, transferindo toda a demanda existente sobre a lagoa Mangueira para a lagoa Mirim.

**Cenário 4 - arroz pre-germinado:** generalização da adoção de arroz pre-germinado, que poderia diminuir a necessidade de rotação de culturas, aumentando a área cultivada. Este valor foi definido como 2 vezes o valor da safra 96/97;

**Cenário 5 - arroz pre-germinado + demanda da Mangueira:** considera-se que é a máxima demanda esperável na região.

Para estes cenários foi também analisada o que aconteceria se fosse possível aumentar um pouco o armazenamento na lagoa Mirim, restringindo a saída de água pelas comportas do canal São Gonçalo, estabelecendo que, para níveis na lagoa Mirim iguais ou menores que 1,50 m, o desnível nas comportas deve ser mantido no máximo valor possível (~0,40 m).

Tabela 7.1: Demandas para irrigação nos diferentes cenários

Cenário	extração direta m <sup>3</sup> /s	irrigação de açudes m <sup>3</sup> /s
1- atual (safra 96/97)	300.80	97.00
2- máxima histórica	391.04	126.10
3- máxima histórica + Mangueira	469.04	126.10
4- arroz pre-germinado	601.60	194.00
5- arroz pre-germinado + Mangueira	721.60	194.00

## 7.5 Análise da simulação dos cenários

A análise das simulações dos diferentes cenários mostra que o impacto do aumento da demanda é bastante localizada nos meses de extração de água. Na figura 7.4 é possível ver que três meses depois do fim da retirada o impacto se reduz à metade, e seis meses depois a diferença entre as alternativas é praticamente desprezível. Isso também é visível nas curvas de permanência, onde a maior diferença está nos níveis mais baixos (permanência > 50 %).

Isto significa que a recuperação da lagoa Mirim é rápida, e há muito pouca propagação interanual do efeito de aumentar a demanda, a diferença do caso da lagoa Mangueira, a qual não consegue se recuperar completamente durante os meses úmidos (ver capítulo 6).

Nas comparações entre cenários, a demanda da safra 96/97 (cenário 1) tem sido tomada como padrão de comparação, porque é a mais representativa da que tem acontecido durante a última década (ver figura 7.1).

Na figura 7.5 são apresentados os níveis mensais para os cenários 1, 2 e 4. Nela é claramente visível o afirmado anteriormente com relação à propagação interanual do efeito da demanda, dado que a diferença entre cenários, para os meses úmidos, é praticamente nula. Já para os níveis mínimos anuais (geralmente no mês de março), a diferença entre os cenários 1 e 4 oscila entre 0,20 e 0,50 m. Em termos práticos, isto significa que neste caso extremo, o limite de níveis da lagoa Mirim desceria aproximadamente 0,30 m, e sua média aproximadamente 0,25 m. Se a comparação é feita entre os cenários 1 e 2, a diferença fica na ordem dos 0,10 m. Na figura 7.6 estão as curvas de permanência para os cinco cenários simulados, e na tabela 7.2 os valores correspondentes.

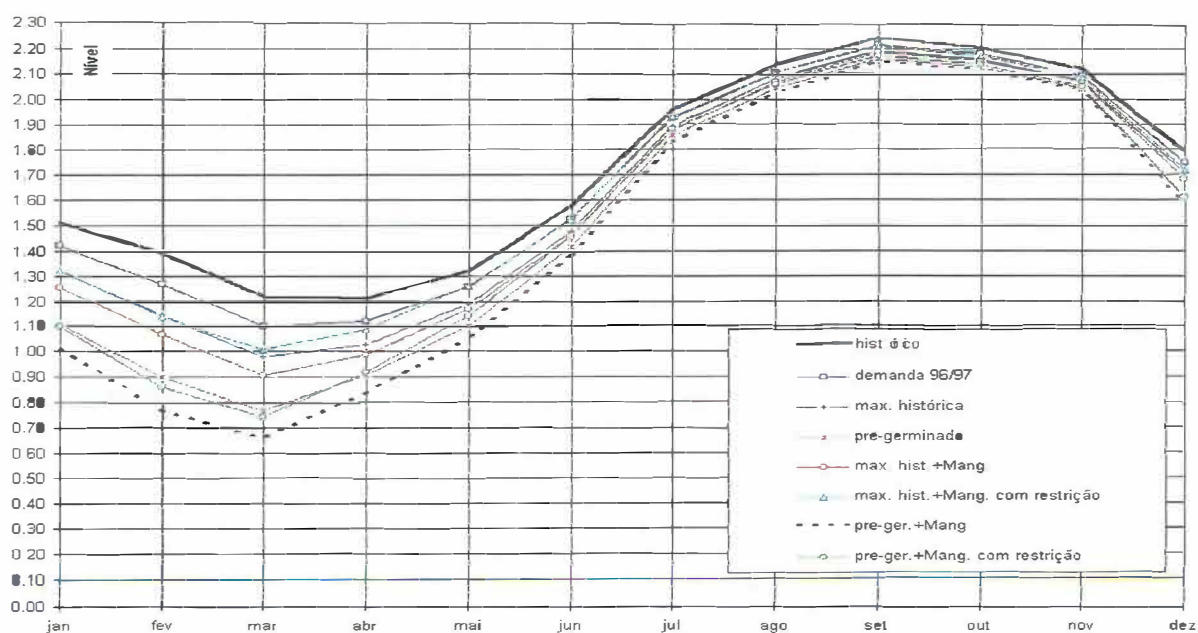


Figura 7.4: Nível médio de cada mês, para os cenários considerados.

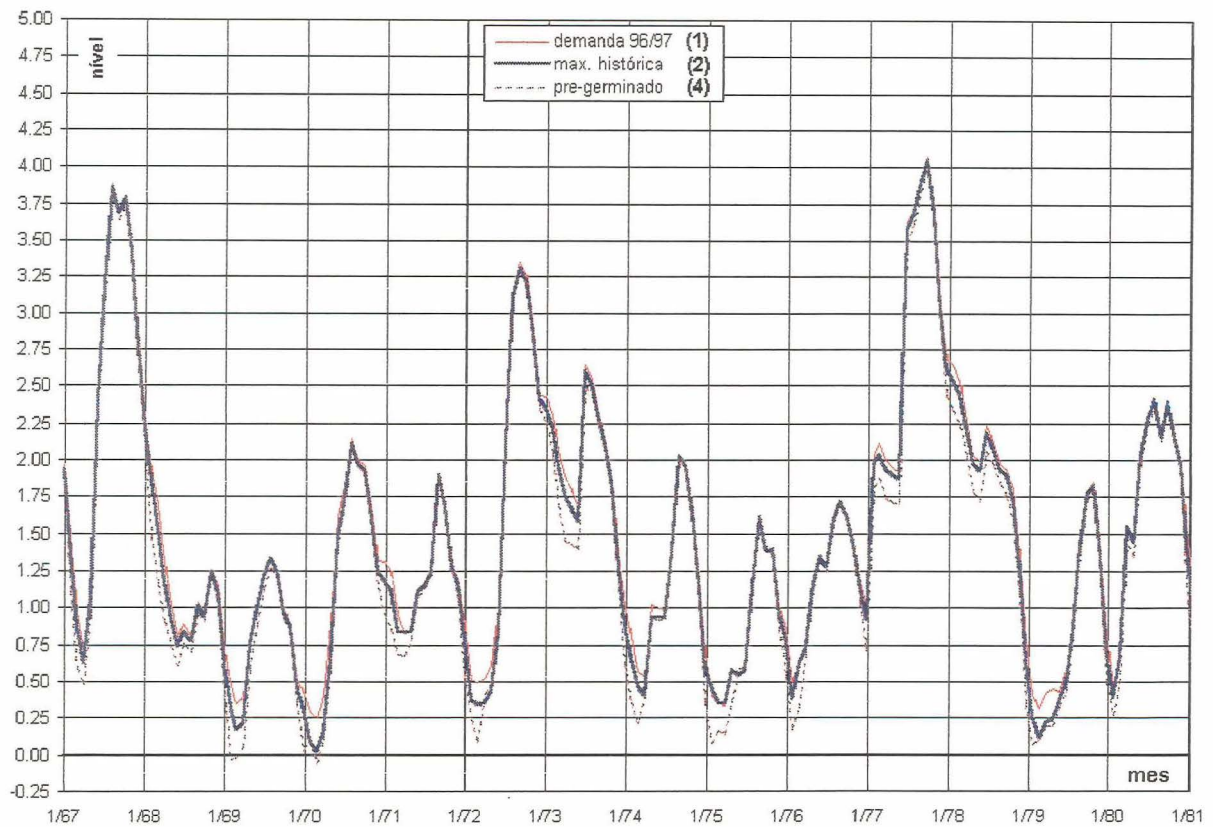


Figura 7.5: Níveis mensais da lagoa Mirim para os cenários 1, 2 e 4.

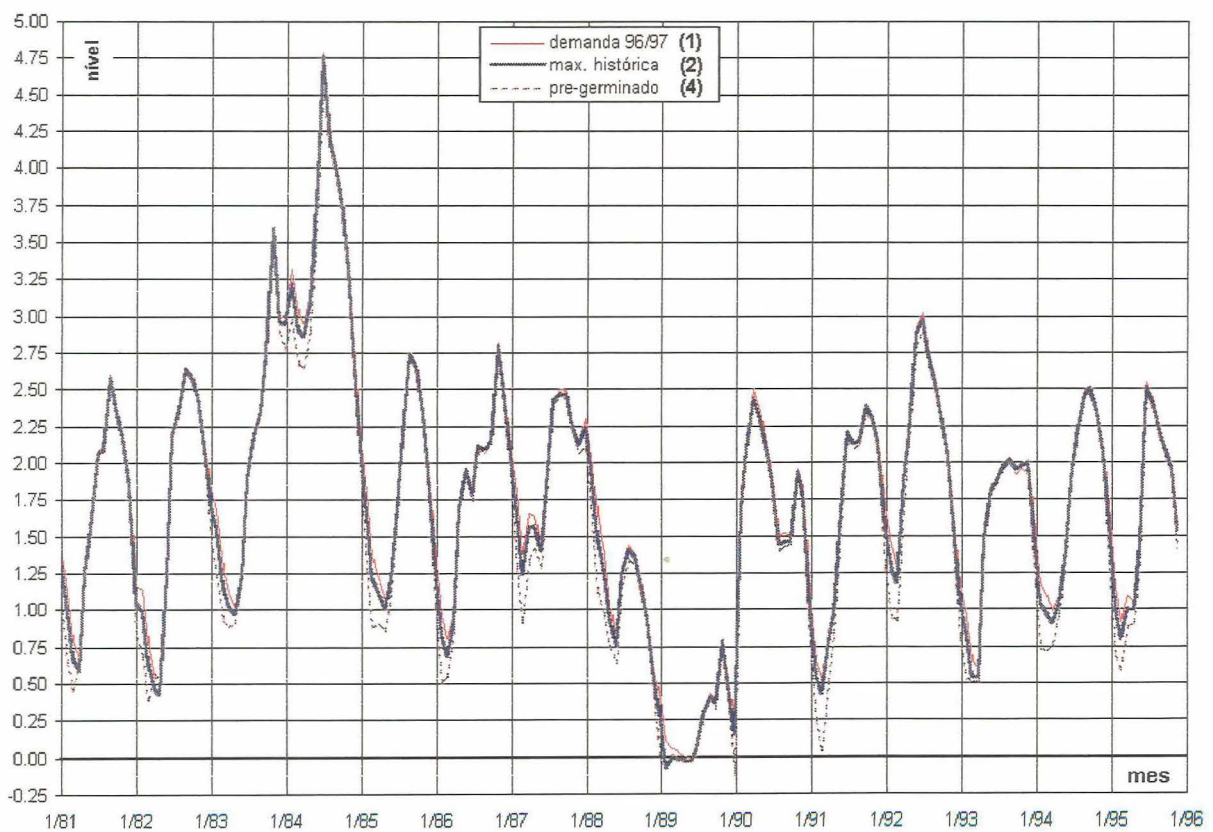


Figura 7.5 (cont.): Níveis mensais da lagoa Mirim para os cenários 1, 2 e 4.

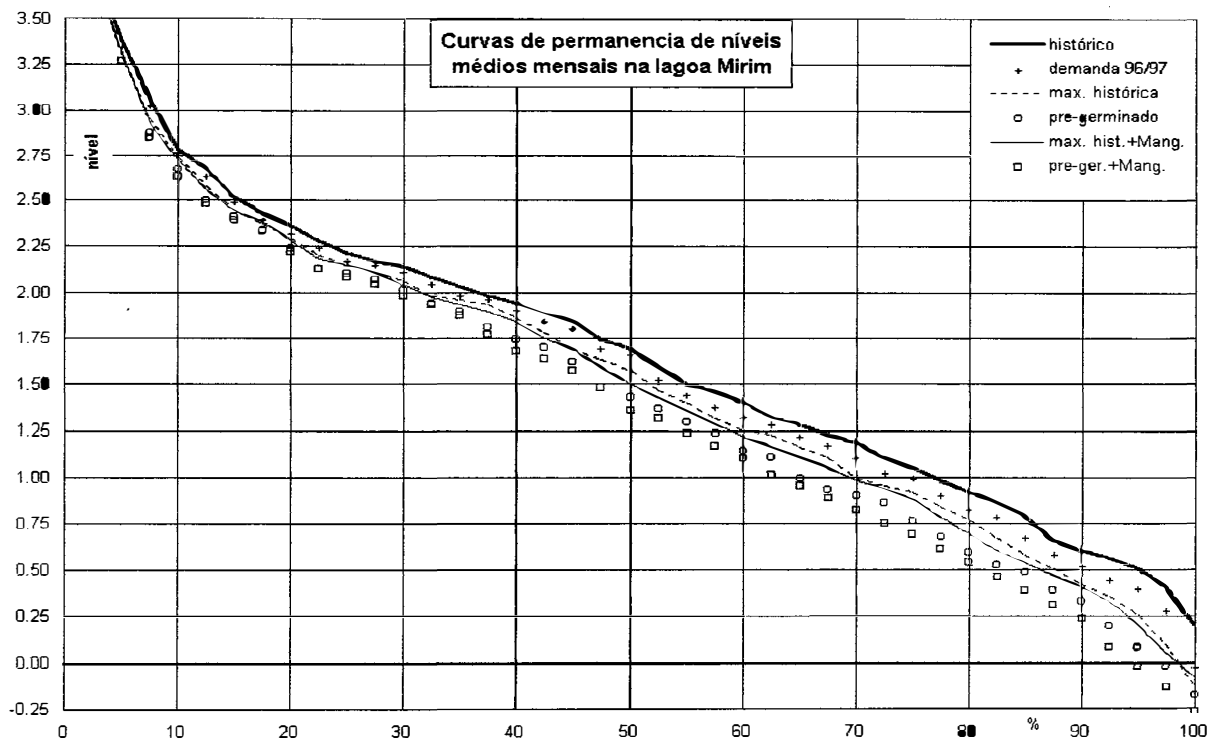


Figura 7.6: Curvas de permanência de níveis para os cenários simulados.

Tabela 7.2: Níveis da curva de permanência (m).

Permanência %	histórico	demanda 96/97	máxima histórica	max. hist. +Mang.	pre-germ. 4	pre-germ. +Mang. 5
		1	2	3		
95	0.51	0.40	0.26	0.21	0.08	-0.02
90	0.60	0.52	0.42	0.41	0.33	0.24
85	0.79	0.67	0.58	0.54	0.49	0.39
80	0.92	0.82	0.77	0.70	0.59	0.54
75	1.05	0.99	0.92	0.88	0.76	0.69
70	1.19	1.10	0.99	0.98	0.90	0.82
65	1.28	1.22	1.16	1.12	0.99	0.95
60	1.40	1.32	1.25	1.22	1.14	1.10
55	1.50	1.44	1.40	1.37	1.30	1.24
50	1.69	1.66	1.57	1.50	1.43	1.36
45	1.85	1.80	1.69	1.69	1.62	1.57
40	1.94	1.90	1.86	1.84	1.74	1.68
35	2.03	1.98	1.96	1.93	1.89	1.87
30	2.14	2.11	2.06	2.04	2.01	1.98
25	2.21	2.17	2.15	2.15	2.10	2.08
20	2.36	2.32	2.29	2.28	2.24	2.22
15	2.52	2.49	2.45	2.44	2.41	2.39
10	2.79	2.76	2.74	2.73	2.67	2.63
5	3.39	3.34	3.29	3.31	3.27	3.27



Pode-se observar destes resultados que para 95 % da curva de permanência (5 % dos valores da série são menores que esse nível), a diferença entre os cenários limites de 0,53 m.

Com relação ao impacto de transferir a demanda de água da lagoa Mangueira para a lagoa Mirim, como recomendado no capítulo 6, para preservação do banhado do Taim, a comparação nas entre os cenários 2 e 3 (fig. 7.8 e tab. 7.2), e 4 e 5 (tab. 7.2), mostra que o impacto seria da ordem de 0,05 a 0,10 m, nos meses de concentração da demanda. Este impacto pode ser considerado aceitável, especialmente porque, como já foi comentado, a análise foi feita considerando que toda a demanda sobre a lagoa Mangueira seria transferida para a lagoa Mirim. Isto constitui uma situação extrema, já que a recomendação do capítulo 6 é de transferencia parcial, e só em alguns anos. Portanto, o impacto da transferencia recomendada seria ainda menor que o observado na situação simulada.

Uma situação adicional que foi contemplada na análise foi a possibilidade de aumentar um pouco o armazenamento na lagoa Mirim durante os meses de irrigação, aproveitando ao máximo a pequena capacidade de controle das comportas da "barragem-eclusa". Na figura 7.8 pode-se ver o efeito desse tipo de operação para a alternativa do arroz pre-germinado, e na figura 7.9 e na tabela 7.3 o mesmo efeito analisado nas curvas de permanência. Como esperado, em função das características da obra, o ganho obtido seria pequeno, da ordem de 0,10 m. No entanto, esse ganho de armazenamento compensaria, por exemplo, o efeito da transferencia de demanda da Mangueira para a Mirim

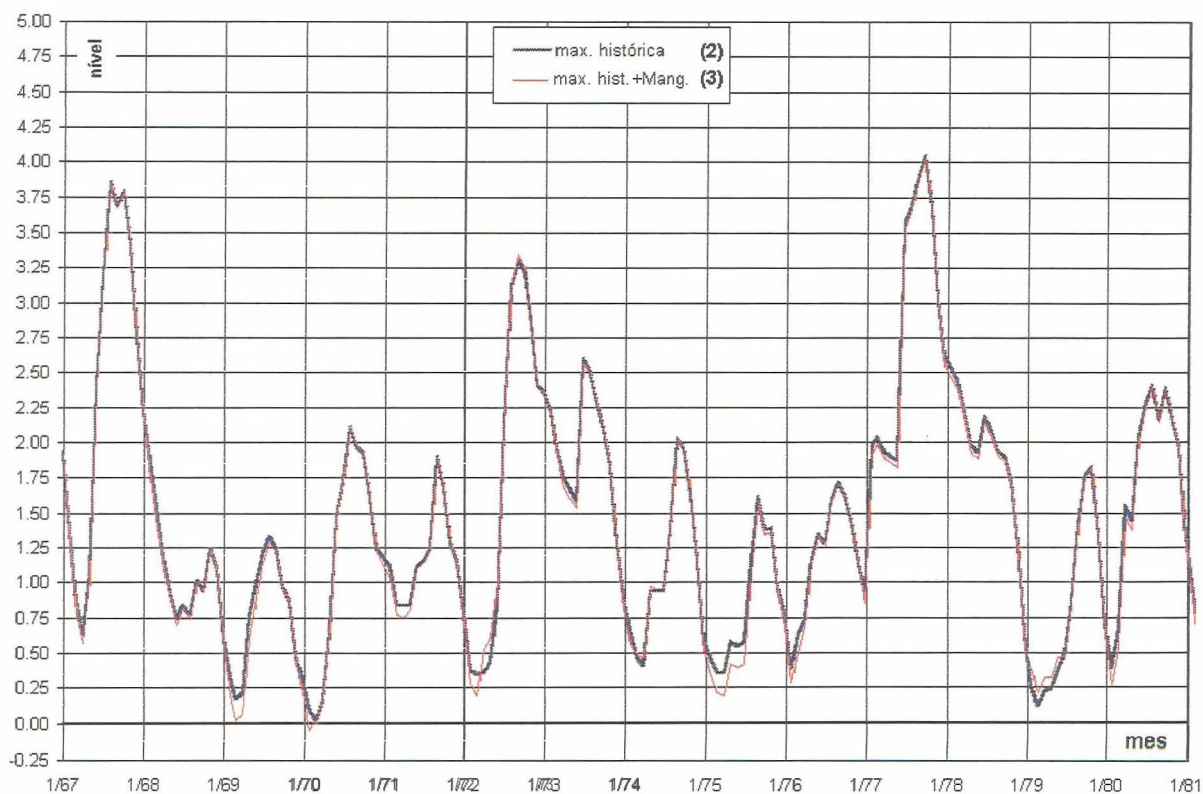


Figura 7.7: Efeito da transferencia da demanda da lagoa Mangueira.

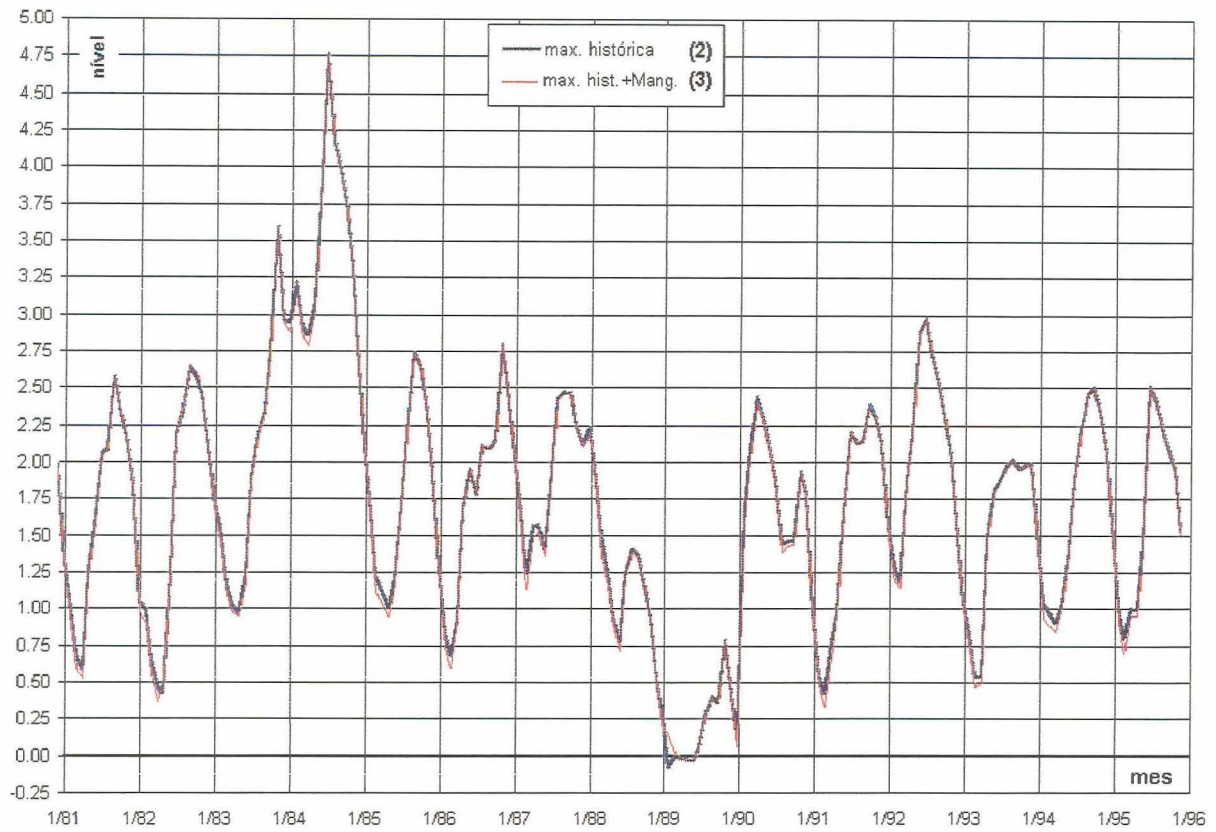


Figura 7.7 (cont.): Efeito da transferencia da demanda da lagoa Mangueira.

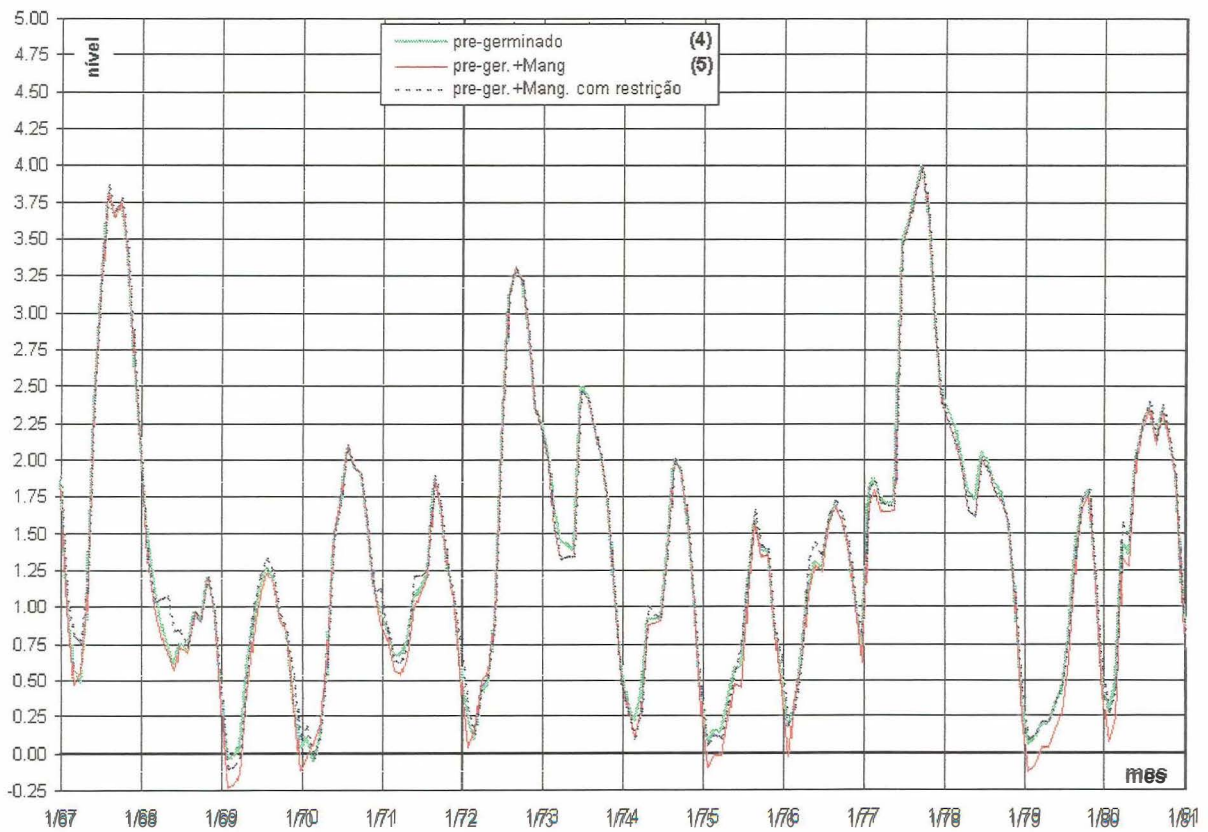


Figura 7.8: Efeito de restringir a saída de água pelas comportas.

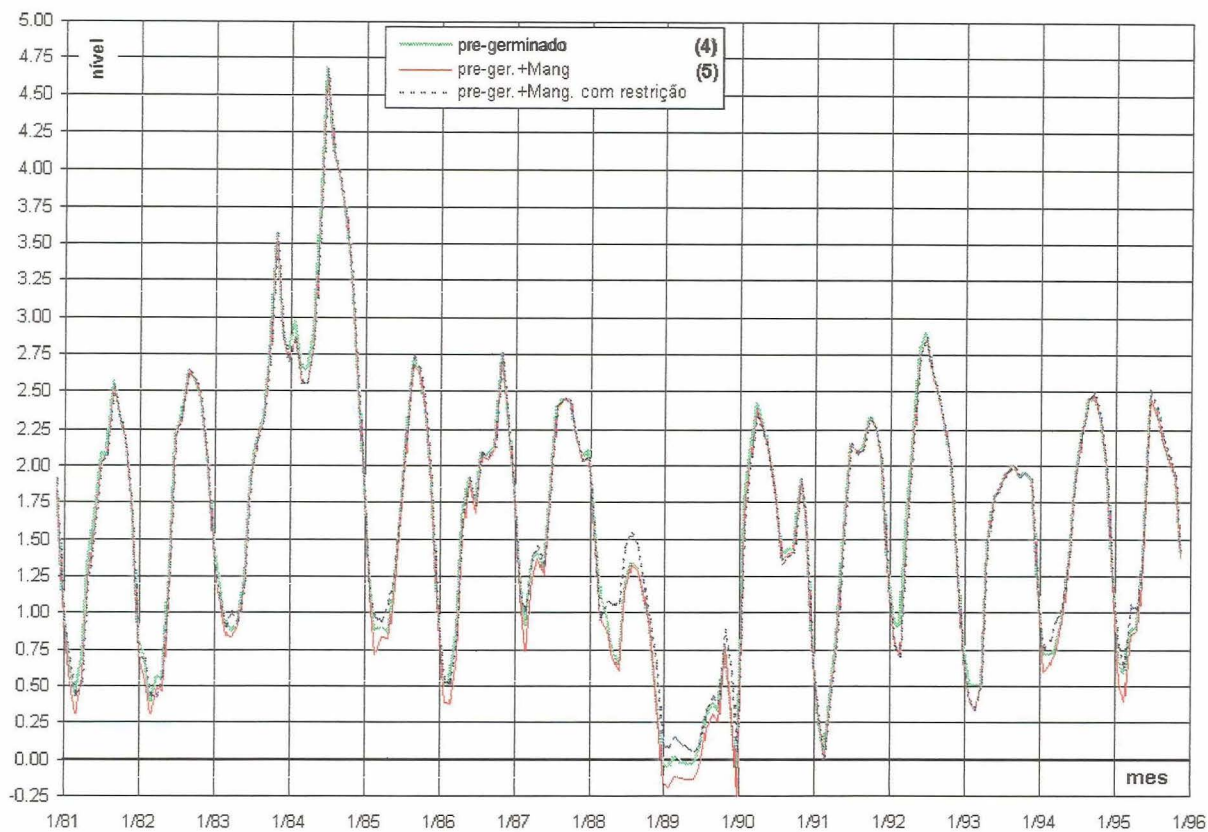


Figura 7.8 (cont.): Efeito de restringir a saída de água pelas comportas.

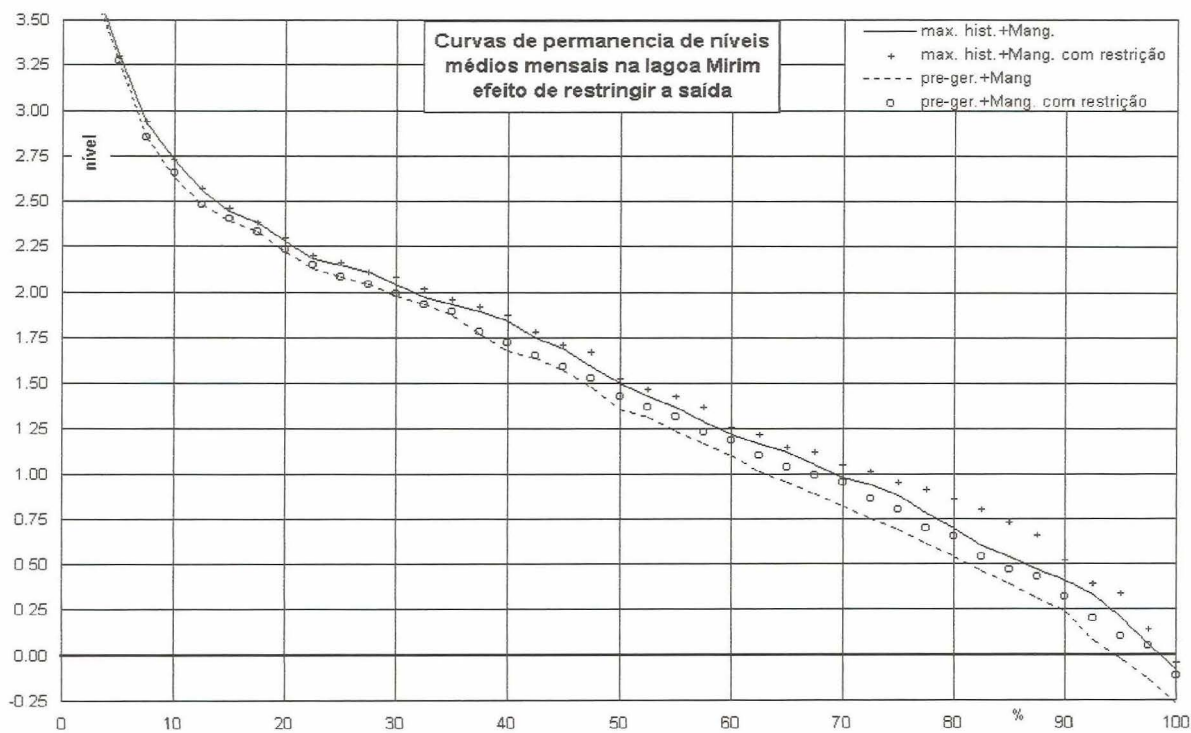


Figura 7.9: Curvas de permanência com operação mais restritiva nas comportas.

Tabela 7.3 Curvas de permanência com operação mais restritiva nas comportas

Permanência %	max. hist.	max. hist. +Mang.	max. hist. +Mang. restrição	pre-germ.	pre-germ. +Mang	pre-germ. +Mang. restrição
95	0.26	0.21	0.34	0.08	-0.02	0.10
90	0.42	0.41	0.52	0.33	0.24	0.32
85	0.58	0.54	0.73	0.49	0.39	0.47
80	0.77	0.70	0.86	0.59	0.54	0.65
75	0.92	0.88	0.95	0.76	0.69	0.80
70	0.99	0.98	1.05	0.90	0.82	0.95
65	1.16	1.12	1.15	0.99	0.95	1.04
60	1.25	1.22	1.26	1.14	1.10	1.19
55	1.40	1.37	1.43	1.30	1.24	1.32
50	1.57	1.50	1.53	1.43	1.36	1.43
45	1.69	1.69	1.71	1.62	1.57	1.59
40	1.86	1.84	1.87	1.74	1.68	1.72
35	1.96	1.93	1.96	1.89	1.87	1.89
30	2.06	2.04	2.08	2.01	1.98	1.99
25	2.15	2.15	2.16	2.10	2.08	2.08
20	2.29	2.28	2.30	2.24	2.22	2.23
15	2.45	2.44	2.46	2.41	2.39	2.40
10	2.74	2.73	2.73	2.67	2.63	2.66
5	3.29	3.31	3.30	3.27	3.27	3.27

## 7.6 Conclusões da simulação dos cenários

A figura 7.10 mostra o efeito da demanda total (extração direta + açudes) sobre os níveis das curvas de permanência. Cabe lembrar que o impacto da demanda dos açudes é menor, porque parte dela se distribui ao longo do ano. Como já foi comentado, o efeito se dá principalmente para os níveis correspondentes a permanências de 50 % ou maiores (menores níveis). A maior diminuição de níveis é da ordem de 0,25 m, e aconteceria no caso de que a demanda fosse maior do que o dobro do valor atual. No entanto, analisando os valores médios de cada mês (fig. 7.4), e as séries completas de valores mensais (figuras 7.5, 7.7 e 7.8), é possível ver que existem impactos, geralmente no meses de fevereiro e março, que excedem esses valores, chegando a 0,50 m em casos extremos.

Embora talvez aceitável sob o ponto de vista da lagoa, uma diminuição dessa magnitude nos níveis poderia também afetar alguns ecossistemas tipo *wetland* (banhados), existentes nas margens da lagoa Mirim. Caso seja planejado aumentar a demanda muito além da máxima histórica (~550 m<sup>3</sup>/s), medidas para a conservação desses ecossistemas deveriam ser estudadas. Outro aspecto a ser levado em conta é o aumento de carga poluente que poderia ser provocado pelo aumento de área cultivada e/ou pela mudanças

nas tecnologias utilizadas na lavoura.

Com relação ao problema da preservação do banhado do Taim, as simulações mostram que a transferência da demanda, sugerida no capítulo anterior, da lagoa Mangueira para a Mirim não tem um impacto significativo sobre esta última, e poderia ser compensada se fosse possível operar as comportas do canal São Gonçalo segundo regras orientadas a maximizar a retenção de água na lagoa Mirim.

Finalmente, a alteração das características da “barragem-eclusa” poderia aumentar significativamente a capacidade do sistema de armazenar volumes em épocas de estiagem. Esta alternativa deveria ser contemplada caso se pensasse em aumentar significativamente a demanda para irrigação.

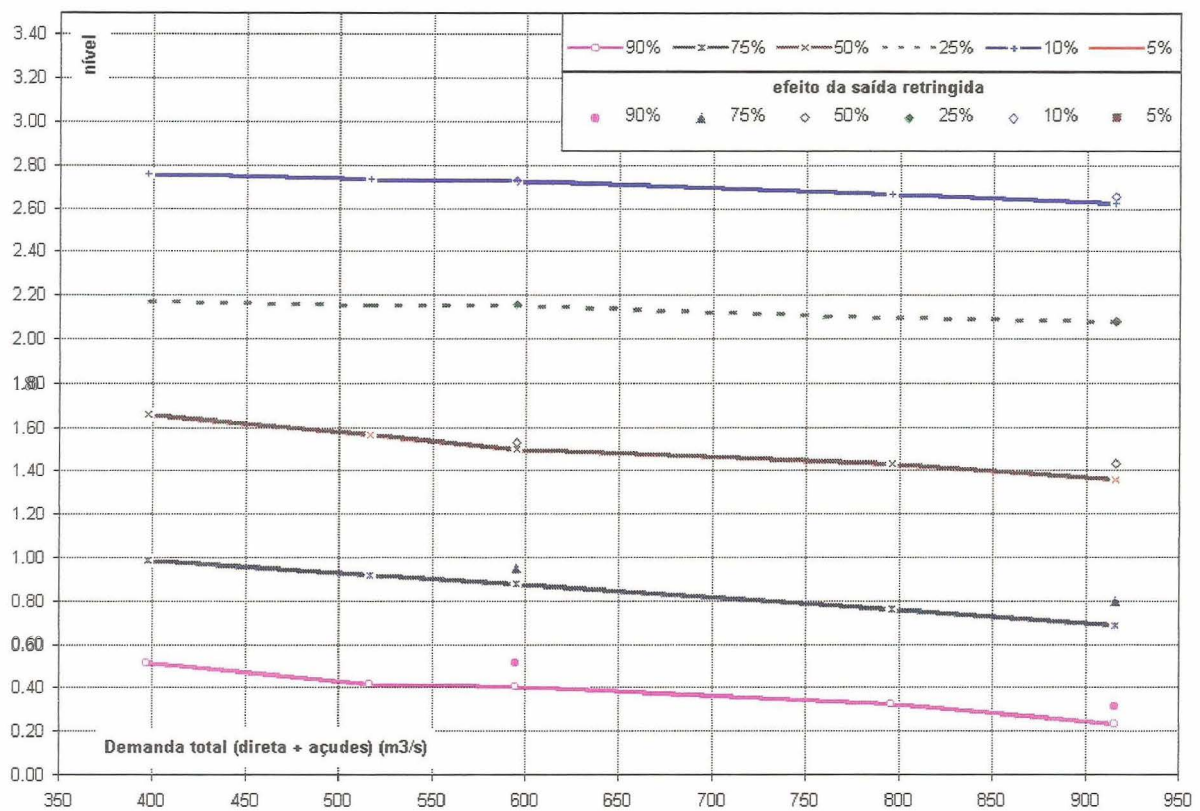


Figura 7.10: Efeito da demanda sobre os níveis da curva de permanência.

## 8 Referencias bibliográficas

- Bossi, J. (1966) - "Geologia del Uruguay". Departamento de Publicaciones de la Universidad de la Republica. Montevideo. Uruguay.
- Camargo, M.N.; Klamt, E.; Kauffman, J.H. 1987. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v12, n°1, p11-33.
- Carta Geológica del Uruguay. Dirección Nacional de Minería y Geología. Escala 1:500.000. 1988.
- Comissão da Lagoa Mirim. 1968. Batimetria, Cubagem da Lagoa Mirim. (s.l). Não Paginado.
- Comissão da Lagoa Mirim. 1968. Estudo de Ventos: Lagoa Mirim. (s.l). Não Paginado.
- Departamento Nacional de Meteorología. 1992. Normais Climatológicas. (1961-1990). Brasília. 1v.
- Dirección Nacional de Hidrografía - División Recursos Hídricos, 1991, 1993, 1994, 1995. Aprovechamiento de los recursos hídricos superficiales - Inventario nacional. Montevideo, Uruguay.
- DNOS, 1968. Projeto de irrigação e drenagem da região do Taim (RS). Brasília, DNOS/OTI/CONSULPRESA/ENGEVIX. 25v.
- DNPM, 1989 - Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Departamento Nacional de Produção Mineral. Escala 1:1.000.000.
- Eletrobrás. 1985. Metodologia para Regionlização de Vazões. Rio de Janeiro, 212p.
- EMBRAPA. 1988a. Critérios para distinção de solos e de fases de unidades de mapeamento: normas em uso pelo SNCLS. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. (Documentos, n. 11).
- EMBRAPA. 1988b. Definição e notação de horizontes e camadas de solo. 2.ed.rev.atual. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. (Documentos, n.3).
- EMBRAPA. 1995. Procedimentos Normativos de Levantamentos Pedológicos. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 101 p.
- Falconer J., (1931) - Memoria explicativa del mapa geológico de la región sedimentaria del departamento de Cerro Largo (Formación de Gondwana). Bol. Inst. Geol. N° 12. Montevideo. Uruguay.
- Fragoso Cesar, Antônio Romalino Santos. Tectônica de placas no ciclo brasileiro: As orogenias dos cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul. São Paulo: USP, 1991.
- IBGE. 1986. Levantamento de recursos naturais: folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim. Rio de Janeiro. V.33.

- Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH). 1997. Batimetria- Lagoas Mirim e Mangueira e Canal São Gonçalo. Porto Alegre.
- IPH, 1996. Comportamento hidrológico do banhado do Taim. Relatório do convênio 011/95 IPH-IBAMA, vol. I. Porto Alegre, IPH-UFRGS, 2 volumes.
- Jost, H. & Bitencourt, F. Estratigrafia e tectônica de uma fração da faixa de dobramentos Tijucas no Rio Grande do Sul. Estudos Tecnológicos, Acta Geológica Leopoldense, São Leopoldo, 4(11):27-60, 1980.
- Klamt, E., Kampf, N., Schneider, P. 1985. Solos de várzea no estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia/UFRGS. 42p. (Boletim Técnico de Solos n.4).
- Lemos, R.C., Santos, Rd. 1996. Manual de descrição e coleta de solos no campo. 3.ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Magna Engenharia, Ltda., 1997. Levantamento cadastral dos usuários da água na bacia hidrográfica da lagoa Mirim. Porto Alegre, Brasil.
- Munsell. 1988. Munsell Soil color charts. Baltimore: Kollmorgen.
- Olmos I. Larach, J. 1981. Bases para leituras de mapas e solos. Rio de Janeiro. EMBRAPA/SNCLS. (Miscelânea n.1).
- Obregón, E. P. 1997. Regionalização de funções hidrológicas com dados escassos: Lagoa Mirim- RS. Porto Alegre: IPH/UFRGS. Dissertação (Mestrado).
- Pereira, F. C. 1971. Contribuição a uma esquematização global para simular o escoamento total: bacia do Rio Piratini- sub-bacia Picada Nova. Porto Alegre : IPH- UFRGS- Curso de Pós Graduação em Hidrologia Aplicada. 46f. Dissertação (Mestrado).
- Proyeto Regional Laguna Merín 1969. Red hidrométrica de la Cuenca de la Laguna Merín. (s.l). Não Paginado.
- Proyeto Regional Laguna Merín 1969. Balance de la humedad del suelo para diferentes regiones de la cuenca de la Laguna Merín (s.l). Não Paginado.
- Proyeto Regional Laguna Merín 1969. Index to hidrological studies. (s.l). Não Paginado.
- Tucci, C. E. , Coord. Regionalização de Vazões do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: IPH/UFRGS. v1.
- Tucci, C. E. 1995. Modelo hidrológico mensal IPHMEN: memorando 4. Porto Alegre: IPH/UFRGS.
- Villanueva, A. O. N., 1997. Simulação de áreas de inundação dinâmicas: canais compostos e *wetlands*. Tese de doutorado, IPH-UFRGS. Porto Alegre, RS, Brasil.
- Walther, K., "Lineas fundamentales de la estructura geológica de la Republica Oriental del Uruguay". Rev. Inst. Nac. Agron. N° 2.
- White, L.C. Relatório final da Comissão das Minas de Carvão de Pedra do Brasil. Rio de Janeiro, Imprensa Nacional, 1908. 607p. 1-300.