

**ESTIMATIVA DO CONSUMO DE ÁGUA EM LAVOURA ORIZÍCOLA
COM O USO DE MODELO PLÚVIO-HIDROMÉTRICO – MOPH**

por

Sandro Pedrotti Acosta

Dissertação apresentada ao Curso de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

PPGEC

Santa Maria, RS, Brasil

2004

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
Aprova a Dissertação de Mestrado

**ESTIMATIVA DO CONSUMO DE ÁGUA EM
LAVOURA ORIZÍCOLA COM O USO DE
MODELO PLÚVIO-HIDROMÉTRICO – MOPH**

elaborada por
Sandro Pedrotti Acosta

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA:

Jussara Cabral Cruz
(Presidente/Orientador)

Oswaldo König

Rita Fraga Damé

Santa Maria, 28 de dezembro de 2004.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível devido a união de esforços de várias pessoas, as quais merecem meu respeito e consideração.

À Universidade Federal de Santa Maria, por minha jornada no Mestrado e a feliz convivência com professores, funcionários e colegas.

À CAPES e à FAPERGS, pelo apoio técnico e financeiro.

Aos professores do Departamento de Hidráulica e Saneamento Jussara e Geraldo.

Ao professor Enio Marchesan, por sua ajuda e sugestões oferecidas.

À minha grande amiga, professora da Universidade Federal de Pelotas, Rita Fraga Damé.

Aos colegas de Mestrado Lauren, Fabiana e Janice, pela parceria, pelo chimarrão e pelos momentos de descontração. À acadêmica Mariane Ravanello.

À Família Acosta, pelo incentivo e o apoio em todos os momentos necessários.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVO DA PESQUISA	2
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	INTRODUÇÃO	4
2.2	CULTIVARES	9
2.3	SOLOS APTOS PARA O PLANTIO DE ARROZ IRRIGADO	11
2.4	QUANTIFICAÇÃO DE ÁGUA PARA LAVOURA ORIZÍCOLA	14
2.4.1	<i>Sistemas de cultivo do arroz em várzea</i>	15
2.4.2	<i>Manejo de água para as lavouras de arroz irrigado</i>	20
2.5	DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA A LAVOURA	22
2.6	OUTORGA DO DIREITO DE USO DA ÁGUA	25
2.7	MODELOS HIDROLÓGICOS PARA O GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS	30
2.8	MODELO PRECIPITAÇÃO-VAZÃO	32
2.9	CURVAS DE PERMANÊNCIA	35
3	METODOLOGIA	37
3.1	AJUSTE DE UM MODELO CHUVA-VAZÃO PARA O PERÍODO SEM A PRÁTICA DE IRRIGAÇÃO:	38
3.2	SIMULAÇÃO DO MODELO CHUVA-VAZÃO PARA O PERÍODO COM PRÁTICA DE IRRIGAÇÃO	40
3.3	ANÁLISE DOS RESULTADOS	40
3.4	MODELO MOPH	41
3.5	PARÂMETROS DE AJUSTAMENTO DO MODELO	49
4	REGIÃO DE ESTUDO	51
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA MARIA	51
4.2	ASPECTOS FÍSICOS	52
4.3	DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS	52
4.4	DEMANDA HÍDRICA NA BACIA DO RIO SANTA MARIA	54
5	APLICAÇÃO	59
5.1	PREPARAÇÃO DADOS	59
5.2	AJUSTE DO MODELO HIDROLÓGICO PARA PERÍODOS SEM IRRIGAÇÃO	63
5.3	SIMULAÇÃO DO MODELO AJUSTADO PARA PERÍODOS COM IRRIGAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	68
5.3.1	<i>Azevedo Sodré</i>	70
5.3.2	<i>Ibicuí da Armada</i>	75
5.3.3	<i>Rosário do Sul</i>	79
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	85
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 Consumo anual de água por lavoura de arroz irrigado em área não sistematizada por classe textural de solos.....	14
Tabela 2-2 - Sistemas de cultivo por região (em ha) 2001-2002.....	16
Tabela 2-3 - Consumo de água em quatro sistemas de cultivo do arroz irrigado. Santa Maria, RS, 2003.....	20
Tabela 4-1 Postos Fluviométricos - ANEEL.....	55
Tabela 4-2 Postos Pluviométricos - ANEEL.....	55
Tabela 4-3 Postos Fluviométricos: Períodos com dados.....	55
Tabela 4-4 Postos Pluviométricos: Períodos com dados.....	55
Tabela 4-5 - Demanda hídrica na bacia.....	57
Tabela 4-6 - Demandas – Azevedo Sodré.....	58
Tabela 4-7 - Demandas – Ibicuí da Armada.....	58
Tabela 4-8 - Demandas – Rosário do Sul.....	58
Tabela 5-1 Estações pluviométricas para as sub-bacias.....	60
Tabela 5-2 - Anos utilizados no processo de ajuste do modelo para cada sub-bacia.....	64
Tabela 5-3 - AzevedoSodre - Área: 1240,55 Km ² L: 52,38 Km.....	64
Tabela 5-4 - Ibicuí da Armada - Área: 5998,02 Km ² – L: 196,52 km.....	65
Tabela 5-5 - Rosário do Sul - Área: 12101,79 km ² – L: 253,54 Km.....	66
Tabela 5-6 Parâmetros de compromisso do modelo MOPH ajustados para cada sub-bacia.....	68
Tabela 5-7 - Anos (Eventos) utilizados para a simulação do modelo para cada sub-bacia.....	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 - Mapa das regiões arrozeiras do Rio Grande do Sul com cultivo irrigado – Safra 1999/2000.....	8
FIGURA 2-2 Mapa de classes de texturas do solo.....	15
FIGURA 2-3 – Esquema: Curva de Permanência e Fluviograma.....	36
FIGURA 3-1 Modelo de Precipitação MOPH-2: Algoritmo de decomposição da precipitação – Fluxograma da Variante I.....	43
FIGURA 4-1 Mapa das lavouras orízícolas na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria.....	53
FIGURA 4-2 Bacia hidrográfica do Rio Santa Maria e postos de observação	56
Figura 5-1 Sub-bacia Azevedo Sodré - Polígono de Thiessen.....	61
Figura 5-2 Sub-bacia Ibicuí da Armada - Polígono de Thiessen	62
Figura 5-3 Sub-bacia Rosário do Sul - Polígono de Thiessen.....	63
Figura 5-4 Ajuste do Modelo - Sub-bacia Azevedo Sodré - março a outubro - 1983.....	64
Figura 5-5 - Ajuste do Modelo - Sub-bacia Azevedo Sodré - março a outubro – 1980.....	65
Figura 5-6 - Ajuste do Modelo - Sub-bacia Azevedo Sodré - março a outubro – 1984.....	65
Figura 5-7– Ajuste do Modelo - Sub-bacia Ibicuí da Armada - março a outubro - 1996.....	65
Figura 5-8 – Ajuste do Modelo - Sub-bacia Ibicuí da Armada – março a outubro - 1994.....	66
Figura 5-9 – Ajuste do Modelo - Sub-bacia Ibicuí da Armada – março a outubro - 1987.....	66
Figura 5-10 Ajuste do Modelo - Sub-bacia Rosário do Sul - março a outubro - 1996.....	67
Figura 5-11 Ajuste do Modelo - Sub-bacia Rosário do Sul - março a outubro - 1993.....	67
Figura 5-12 Ajuste do Modelo - Sub-bacia Rosário do Sul - março a outubro - 1991.....	67
Figura 5-13 Ajuste do Modelo - Sub-bacia Rosário do Sul - março a outubro – 1999.....	67
Figura 5-14 - Azevedo Sodré – Simulação nov/77 – fev/78	70
Figura 5-15 - Azevedo Sodré – Simulação nov/78 – fev/79	70
Figura 5-16 - Azevedo Sodré – Simulação nov/79 – fev/80	70
Figura 5-17 - Azevedo Sodré – Simulação nov/80 – fev/81	71
Figura 5-18 - Azevedo Sodré – Simulação nov/81 – fev/82	71
Figura 5-19 - Azevedo Sodré – Simulação nov/82 – fev/83	71
Figura 5-20 - Azevedo Sodré – Simulação nov/83 – fev/84	71
Figura 5-21 - Azevedo Sodré – Simulação nov/84 – fev/85	72
Figura 5-22 - Azevedo Sodré – Simulação nov/85 – fev/86	72
Figura 5-23 - Azevedo Sodré – Simulação nov/86 – fev/87	72
Figura 5-24 - Azevedo Sodré: Síntese da Simulação do mês de Dezembro.....	73
Figura 5-25 - Azevedo Sodré: Síntese da Simulação do mês de Janeiro.....	73
Figura 5-26 - Azevedo Sodré: Síntese da Simulação do mês de Dezembro.....	74
Figura 5-27 - Azevedo Sodré: Síntese da Simulação do mês de Janeiro.....	74
Figura 5-28 - Ibicuí da Armada:: Simulação nov/87 – fev/88.....	75

Figura 5-29 - Ibicuí da Armada:: Simulação nov/88 – fev/89.....	75
Figura 5-30 - Ibicuí da Armada:: Simulação nov/89 – fev/90.....	75
Figura 5-31 - Ibicuí da Armada:: Simulação nov/91 – fev/92.....	76
Figura 5-32 - Ibicuí da Armada:: Simulação nov/92 – fev/93.....	76
Figura 5-33 - Ibicuí da Armada:: Simulação nov/93 – fev/94.....	76
Figura 5-34 - Ibicuí da Armada:: Simulação nov/94– fev/95.....	76
Figura 5-35 - Ibicuí da Armada:: Simulação nov/95 – fev/96.....	77
Figura 5-36 - Ibicuí da Armada:: Simulação nov/96 – fev/97.....	77
Figura 5-37 - Ibicuí da Armada:: Simulação nov/99 – fev/00.....	77
Figura 5-38 - Ibicuí da Armada: Síntese da Simulação do mês de Dezembro ...	78
Figura 5-39 - Ibicuí da Armada: Síntese da Simulação do mês de Janeiro	78
Figura 5-40 - Ibicuí da Armada: Síntese da Simulação do mês de Dezembro ...	79
Figura 5-41 - Ibicuí da Armada: Síntese da Simulação do mês de Janeiro	79
Figura 5-42 - Rosário do Sul:: Simulação nov/87 – fev/88	80
Figura 5-43 - Rosário do Sul:: Simulação nov/88 – fev/89	80
Figura 5-44 - Rosário do Sul:: Simulação nov/89 – fev/90	80
Figura 5-45 - Rosário do Sul:: Simulação nov/91 – fev/92	80
Figura 5-46 - Rosário do Sul:: Simulação nov/93 – fev/94	81
Figura 5-47 - Rosário do Sul:: Simulação nov/94 – fev/95	81
Figura 5-48 - Rosário do Sul:: Simulação nov/95 – fev/96	81
Figura 5-49 - Rosário do Sul:: Simulação nov/96 – fev/97	81
Figura 5-50 - Rosário do Sul:: Simulação nov/97 – fev/98	82
Figura 5-51 - Rosário do Sul:: Simulação nov/99 – fev/00	82
Figura 5-52 - Ibicuí da Armada: Síntese da Simulação do mês de Dezembro ...	82
Figura 5-53 - Ibicuí da Armada: Síntese da Simulação do mês de Janeiro	83
Figura 5-54 - Rosário do Sul: Síntese da Simulação do mês de Dezembro	84
Figura 5-55 - Rosário do Sul: Síntese da Simulação do mês de Janeiro.....	84

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

ESTIMATIVA DO CONSUMO DE ÁGUA EM LAVOURA ORIZÍCOLA COM O USO DE MODELO PLÚVIO-HIDROMÉTRICO – MOPH

Autor: Sandro Pedrotti Acosta
Orientador: Jussara Cabral Cruz

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 28 de dezembro de 2004.

Este estudo objetivou avaliar a aplicabilidade do uso do modelo chuva-vazão para identificar o consumo de água para a irrigação, como ferramenta auxiliar na gestão de recursos hídricos. A área de estudo foi a Bacia do Rio Santa Maria, região de intenso cultivo de arroz. O modelo escolhido foi o Modelo Plúvio-Hidrométrico - MOPH, desenvolvido por Silveira, 1999. O estudo ajustou os parâmetros do modelo para cada sub-bacia nos meses de março a outubro (período sem irrigação). Com os parâmetros ajustados, foram geradas as vazões para o período de novembro a fevereiro (período com irrigação). A suposição era de que a diferença entre as vazões sintetizadas no período de irrigação e as respectivas vazões observadas pudessem indicar a ordem de grandeza do consumo. Com os resultados obtidos concluiu-se que o modelo apresentado consegue traduzir essa ordem de grandeza, mas ainda requer estudos que considerem outras variáveis como por exemplo a representação dos açudes no consumo de água na lavoura de arroz.

ABSTRACT

Dissertation Master Degree
Master Degree Program in Civil Engineering
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brazil

ESTIMATIVE OF THE WATER CONSUMPTION IN RICE FARM WORK USIN THE PLUVIAL-HYDROMETRIC MODEL - MOPH

Author: Sandro Pedrotti Acosta
Advisor: Jussara Cabral Cruz

Santa Maria, 28th of December of 2004

This study aimed to evaluate the applicability of the use of the rain-flow model, in order to identify the water consumption to the irrigation, as an auxiliary tool on the water resources management. The area of this study was the Santa Maria River basin, which is a region with an intense rice culture. The model adopted on this work was the MOPH, developed by Silveira (1999). On this study was adjusted the parameters for each sub-basin from March up to October, which is the period without irrigation. With the adjusted parameters founded, was synthesized the flows for the period from November up to February, which is the period with irrigation. The supposition was that the difference between the synthesized flows on the irrigation period and the respective observed flows could indicate the consumption order of greatness. With the obtained results it was concluded that the presented model gets to translate that order of greatness, but it still requests studies that consider another variable as for instance the representation of the dams in the consumption of water in the farming of rice.

1 INTRODUÇÃO

A Lei Federal nº. 9433 de 08 de janeiro de 1997, e a Lei Estadual nº. 10350, de dezembro de 1994 (Rio Grande do Sul, 1994), instituem e regulamentam os sistemas Federal e Estadual de gestão de recursos hídricos. Uma das funções básicas a serem atendidas pelo Estado, definidas nessa legislação, é a outorga de direito de uso dos recursos hídricos. O estabelecimento dos critérios de outorga de direito de uso das águas, além de estar vinculado à disponibilidade hídrica, é dependente dos sistemas jurídicos e econômicos locais. Para alavancar o processo de implementação da outorga, esta deve estar vinculada a estudos referentes ao "balanço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais" (Art. 7º... III da Lei Federal 9433/97 - BRASIL, 1997).

Para a instrução de um processo de outorga, que atenda as condições estipuladas nesse artigo sétimo, é necessário o cotejo das duas grandezas fundamentais: disponibilidade hídrica (oferta) e demanda.

A disponibilidade hídrica quantitativa na seção de interesse, conhecida a partir de suas vazões ou funções características, deve ser avaliada a partir do conhecimento do regime hidrológico da bacia, sendo que, via de regra, a seção é desprovida de monitoramento fluviométrico.

A demanda, por sua vez, pode ser conhecida a partir de um eficiente cadastramento de usuários. No caso deste estudo, o foco de interesse é a demanda da lavoura de arroz, a qual representa papel importante na economia de várias bacias sul-rio-grandenses. As estimativas de consumo de água na lavoura orizícola do Rio Grande do Sul apresentam informações regionalizadas, com períodos descontínuos, sendo, portanto, de grande necessidade a sistematização destas informações.

Avaliando-se a dinâmica dos escoamentos na bacia hidrográfica, caracterizada pelo uso intenso da água pela lavoura de arroz, definem-se, no caso do Rio Grande do Sul, dois períodos bem distintos: o de irrigação e o fora de irrigação. O período de irrigação compreende aos meses de novembro a março e o de fora de irrigação, período complementar, de abril até outubro.

A oferta hídrica na bacia, caracterizada através da série de vazões obtidas por monitoramento em sua rede fluviométrica, é não homogênea ao longo do ano, pois no período de irrigação vem descontada das derivações (retiradas) realizadas pela lavoura de arroz. Portanto, os períodos de irrigação são caracterizados pela dificuldade de avaliação da disponibilidade hídrica, grandeza de indispensável conhecimento para cotejo do balanço disponibilidade/demanda, na instrução de processo de outorga, (Cruz, 2001).

No período de irrigação, reconhece-se que a disponibilidade hídrica monitorada traz embutidos os usos quantitativos da água exercidos de um período histórico até o presente, sendo esta a vazão remanescente. Fora do período de irrigação, a vazão observada representa o comportamento da bacia hidrográfica e, no caso da região deste estudo, espelha a inexistência de conflitos por parte dos usuários da água.

Perante a dificuldade de quantificação do consumo de água pela lavoura orizícola, pretende-se avaliar a possibilidade metodológica de estimativa do consumo de água com o uso de simulação chuva-vazão em bacias predominantemente agrícolas, em apoio à instrução dos processos de outorga do uso dos recursos hídricos.

1.1 Objetivo da pesquisa

O objetivo da presente pesquisa é avaliar a demanda hídrica na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria - RS, especialmente o consumo de

água na lavoura orizícola, usando para tanto a simulação hidrológica. Bem como avaliar a partir de dados existentes, a aplicabilidade de modelo chuva-vazão, como estimador do volume médio de água consumido pela lavoura de arroz no período em que é realizada a prática de irrigação.

A questão norteadora baseia-se na hipótese de que os escoamentos na bacia no período da prática de irrigação, que compreende os meses de novembro a fevereiro, vêm descontados da vazão consumida pela lavoura de arroz. Portanto, sendo possível ajustar um modelo que reflita o comportamento da bacia, utilizando dados do período sem irrigação, é possível ajustar o modelo para simular o comportamento da bacia no período com a prática de irrigação. O resultado dessa simulação é uma estimativa das vazões naturais produzidas na bacia, caso não houvesse a prática da irrigação. A diferença entre os volumes calculados e os volumes observados durante esse período de irrigação, virá a ser, então, a estimativa do consumo das lavouras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução

Sendo a água um elemento necessário para todo o tipo de atividade humana e um bem de valor inestimável, deve ser protegida e acima de tudo conservada. Segundo Barth *et al.* (1987), com o crescimento da demanda e a falta de planejamento, tanto urbano quanto rural, o surgimento de conflitos entre os usuários da água vem crescendo a cada dia, juntamente com a escassez em alguns locais, demonstrando claramente a necessidade de se estabelecer prioridades e regras que tentem solucionar essas dificuldades, preservando para gerações futuras os recursos naturais.

De acordo com Filho (2000), o Brasil é detentor de cerca de 12% das reservas de água doce do planeta, e assim como outros países, enfrenta problemas de escassez de água em algumas regiões, sendo em algumas situações, de extrema gravidade como é o caso do semi-árido Nordeste, onde habitam cerca de 29% da população e possui apenas 5% das reservas hídricas do país. Nas regiões Sul e Sudeste estão apenas 10% dos recursos hídricos do país.

Muitos projetos de irrigação, segundo Rodriguez (1998), ao desviarem a água à montante, fazem com que as áreas à jusante, que dependem da água para manter seus ecossistemas, acabem sendo prejudicadas em suas funções de equilíbrio natural no ambiente, como a filtragem de poluentes e a manutenção da biodiversidade.

Para Lima *et al.* (1999), por não adotar um método de controle da irrigação, normalmente o produtor rural irriga em excesso, temendo que a cultura sofra estresse hídrico, fazendo com que a produção da lavoura

seja afetada. Dessa forma, justifica-se que um manejo e gestão adequada dos recursos hídricos são necessários.

Para Corrêa *et al.* (1997), a irrigação por inundação pode ser contínua com água corrente ou estática e ainda intermitente, as quais são muito utilizadas nos dias de hoje.

Na cultura do arroz no mundo inteiro Tsutsui (*apud* Sachet, 1981, p. 24), destaca que a irrigação por inundação contínua estática mantém sempre uma lâmina de água estagnada nos quadros de arroz, desde o início até o fim do cultivo, sendo este sistema muito usado nas regiões com disponibilidade hídrica insuficiente.

Para Tsutsui, *apud* Sachet (1981), a irrigação por inundação contínua corrente, isto é, em forma de fluxo, é utilizada em regiões com grande disponibilidade de água. Já a irrigação intermitente, que procura manter o solo encharcado na maior parte do tempo do cultivo, é feita em regiões que apresentam elevado custo de energia e escassez de água. A irrigação contínua, com elevado consumo e baixa eficiência, é usada no Rio Grande do Sul principalmente para controle da temperatura da água, Corrêa *et al.* (1997)

Para Gondin (1983), o sistema de irrigação mais recomendado para o Rio Grande do Sul é o de irrigação contínua, pois em comparação com outros sistemas, essa é a melhor forma de fornecer água às plantas de arroz, devido ao maior controle de plantas daninhas. Segundo o autor, não se consegue um manejo eficiente da água se o terreno não for previamente aplainado.

Segundo Beltrame e Gondin (1982), o consumo de água na lavoura de arroz irrigado por inundação contínua, é excessivo e pode ser reduzido, ocasionando um uso eficiente dos recursos hídricos. O consumo de água na lavoura de arroz irrigado pode ser estimado por balanço hídrico, estabelecendo-se em um determinado período os volumes de

entrada e saída de água, sem levar em conta as perdas desde a captação até a distribuição Beltrame e Louzada, (*apud* Corrêa *et al.*, 1997, p. 3).

Atendendo as demandas de uso consuntivo e ainda das perdas ocorridas por infiltração lateral e percolação profunda, a quantidade de água necessária para a lavoura de arroz, apresenta variações em função das diferentes técnicas de manejo da cultura, diferenças climáticas, condições do solo e do período vegetativo da cultivar (Gomes e Pauletto, 1999).

Para Bernardo (1995), qualquer projeto para uso da irrigação necessita levar em consideração aspectos sociais e ecológicos de cada região, principalmente buscando maximizar a eficiência de uso da água, mantendo as condições físicas, químicas e biológicas do solo, sempre procurando quando irrigar, uma uniformidade de aplicação e de eficiência no uso da água. Para o autor, a instalação de equipamentos que permitam obter dados relativos ao sistema de uso, como vazões aplicadas, tempo de aplicação, entre outros, conseqüentemente implicará em aumento da eficiência do sistema.

Conforme Sachet (1981), a prática recomendada para o manejo de água na lavoura orizícola é aquela que mantém rasa a lâmina de água, oferecendo maior eficiência e menor custo de produção.

Para Gomes *et al.* (2002), em função de que no Estado do Rio Grande do Sul a evapotranspiração média da lavoura orizícola varia em torno de $7,2 \text{ mm dia}^{-1}$, os arroseiros utilizam em média 2000 litros de água para produzir um quilo de grãos com casca, sendo uma das culturas mais exigentes no que diz respeito ao consumo de água e, para isso, alguns aspectos no manejo da lavoura são fundamentais para o uso racional dos recursos hídricos.

Para tanto, aspectos como condução, distribuição e o controle da água são fundamentais. Em situações não muito comuns, o transporte da

água é feito por gravidade, mas na maioria das vezes, é utilizado sistema de bombeamento ou de recalque com o emprego de bombas centrífugas, devido ao baixo custo e alto rendimento. Após o bombeamento, o transporte da água pode ser feito por gravidade nos canais de distribuição. Com correto planejamento, construção e operação do sistema, a eficiência pode atingir níveis entre 50 e 60%, (Gomes *et al.*, 2002).

Na lavoura orizícola em geral, o consumo de $2,0 \text{ l/s/ha}^{-1}$, faz com que a eficiência corresponda à 42%, bem abaixo dos possíveis valores a serem alcançados, cerca de 60%, (Gomes *et al.*, 2002).

No que se refere ao arroz irrigado por inundação do solo, considerando a safra 98/99, o Brasil possui aproximadamente, de 1,3 milhões de hectares, sendo os Estados do RS e SC os maiores contribuintes, correspondendo a 30,4% da área cultivada com arroz no Brasil, respondendo por 55,6% da produção brasileira, (Gomes *et al.*, 2002, p. 563).

Nas safras de 99/00, 00/01 e 01/02, tivemos para o Rio Grande do Sul um total de área cultivada com arroz irrigado de 2.861.093 hectares, sendo de 966.795, 952.539, 942.596 e 936.876 ha para cada ano respectivamente, (IRGA, 2002).

O Estado do Rio Grande do Sul, conforme o Censo divulgado pelo Instituto Riograndense do Arroz – IRGA, para a safra de 99/00 deteve as seis maiores regiões produtoras de arroz irrigado (Figura 2.1).

Das regiões demonstradas na Figura 2.1, a Fronteira Oeste contribui com 32,3% da área total produtora, e respectivamente, as regiões da Depressão Central (17,6%), Campanha (17,1%), Sul (14,6%), Planície Costeira Externa (9,4%) e Planície Costeira Interna (9%); totalizando 870.496 ha no estado, (IRGA, 2002).

Na maioria das lavouras de arroz no Estado do Rio Grande do Sul, a irrigação é feita pelo sistema contínuo, e a disponibilidade hídrica não supre a demanda exercida (efetiva), tornando-se necessário uma redução de consumo, principalmente para uma adequada quantificação da demanda, considerando as possibilidades distintas de manejo da lavoura, (Hernandez, 1996).



Fonte: Irga (2000).

Figura 2-1 - Mapa das regiões arrozeiras do Rio Grande do Sul com cultivo irrigado – Safra 1999/2000.

Ao abordar a questão das diferentes regiões produtoras de arroz no Estado do Rio Grande do Sul, procurou-se salientar a existência de inúmeras diferenças contextuais com relação à disponibilidade e uso dos

recursos hídricos, verificando-se a necessidade de um aperfeiçoamento na questão de monitoramento hídrico.

2.2 Cultivares

A escolha correta da cultivar torna-se imprescindível para o aumento da produtividade no campo, uma vez que, cada região possui particularidades, influenciadas por fatores climáticos, geológicos, hídricos, entre outros. A escolha¹ correta de uma determinada cultivar, segundo Fukushima (2001), é um dos pontos mais importantes para obtenção do sucesso na lavoura de arroz irrigado, fazendo-se necessário, que o produtor considere características² como: vigor, ciclo, altura da planta, tolerância às pragas, doenças e frio, resistência ao acamamento, degrane, bem como a produtividade e a qualidade do produto final.

Conforme Fukushima (2001), um dos principais fatores que influenciam na escolha adequada da cultivar a ser plantada é a época de semeadura, se o produtor for efetuar a semeadura com sementes secas em linhas ou a lanço, a data da semeadura dependerá das condições de umidade do solo. Por outro lado, se optar por sistemas pré-germinados ou transplântio de mudas, a época não vai influenciar no plantio, devido às áreas de cultivo já encontrarem-se alagadas.

Segundo Pereira *et al.* (2002), a espécie *Oryza sativa*, é atualmente subdividida em duas principais subespécies: Índica e Japônica.

As cultivares de arroz irrigado, cultivadas no Brasil, pertencem ao primeiro grupo e geralmente são seleções locais de materiais com gene de nanismo introduzidos dos programas de melhoramento do International Rice Research Institute - IRRI, nas Filipinas, e do Centro Internacional de

1 O produtor poderá ter acesso as informações técnicas específicas de cada cultivar através de instituições de pesquisa e assistência técnica.

2 Fukushima (2001) explica essas características das cultivares com maiores detalhes em sua obra.

Agricultura Tropical - CIAT, com sede na Colômbia, ou resultado de cruzamentos entre os referidos materiais (Pereira *et al.*, 2002). Na região nordeste do Brasil predomina o cultivo de arroz de sequeiro, apresentando baixos índices de produtividade e de qualidade dos grãos. No entanto, na região sul do país predomina o cultivo de arroz irrigado.

Neste contexto, as cultivares de arroz irrigado predominantes no Rio Grande do Sul. Comumente são classificadas em três tipos, conforme as características fenotípicas das plantas: tradicional, intermediário e moderno. Porém sendo utilizado praticamente o tipo moderno, descrito a seguir de acordo com o ICTA (2002).

As cultivares do tipo moderno são cultivares de porte baixo (semi-anão ou filipino), folhas curtas e eretas, pilosas ou lisas. A planta apresenta colmos curtos e fortes, alta capacidade de perfilhamento e elevado potencial produtivo, ICTA (2002). Apresentam uma alta exigência quanto ao preparo e nivelamento do solo e no controle inicial de plantas daninhas. Devido à arquitetura das plantas, respondem em produção a níveis mais altos de nitrogênio do que as cultivares dos demais grupos. O ciclo biológico vai de precoce a tardio na maioria das cultivares deste grupo e os grãos são do tipo "patna", de casca pilosa ou lisa. Esse cultivar apresenta um consumo de 7000 – 8000 m³ ha, (Ciência e Ambiente, 2003).

Dentre as cultivares recomendadas para o Estado do Rio Grande do Sul, encontram-se: IRGA 417, abrangendo aproximadamente 30% do total das lavouras irrigadas no estado, seguido por EL PASO 144, cultivar mais utilizada na América Latina, a BRS TAIM tem grande aceitação na região de Santa Maria e a EPAGRI 108 cultivar, recomendada para o Estado de Santa Catarina, sendo cultivada no RS, mas ainda pouco conhecida agronomicamente nas condições locais, (Weber, 2000).

São considerados para cultivares de ciclo precoce, um retardamento inicial e um final em cerca de dez dias com relação às cultivares superprecoces, sendo que na região Norte do Litoral Norte do Rio Grande do Sul são plantadas algumas cultivares de ciclo longo recomendadas, também, para o Estado de Santa Catarina, (Diário Oficial, 2001).

Recomenda-se utilizar os mesmos períodos para as cultivares de ciclo médio, mas a data de término de semeadura deve ser antecipada em cerca de 10 dias; no caso de ocorrer algum evento atípico à época indicada, recomenda-se aos produtores não efetivarem a implantação da lavoura no local atingido, uma vez que o empreendimento estará sujeito a eventos climáticos adversos impossíveis ainda de serem previstos pelo Zoneamento, conforme a Portaria N.º32, publicada no Diário Oficial (2001). Porém, percebe-se na prática que a alternativa para esta situação é substituir as cultivares previstas por cultivares de ciclo precoce ou superprecoce, uma vez que as áreas de plantio são limitadas.

2.3 Solos aptos para o plantio de arroz irrigado

O solo é um dos recursos básicos para a produção agrícola, e a seleção do método de irrigação está relacionada a fatores como: estrutura do solo, textura do solo, presença de sais, infiltração, entre outros. A diferente capacidade de retenção de água, erodibilidade e estabilidade são alguns dos fatores mais importantes a serem conhecidos antes da implementação da lavoura, podendo interferir nas condições para tração de máquinas e implementos agrícolas.

Solos com textura arenosa apresentam grande capacidade de infiltração, e não devem ser irrigados com métodos de irrigação por gravidade, já que apresentam elevadas perdas por percolação. Em solos com baixa capacidade de infiltração, alguns métodos de irrigação por inundação não devem ser usados, pois eles estancam a água por um

período prolongado, sendo vantajosos para a cultura do arroz por reduzirem as perdas por percolação, (Cauduro, 1997).

No caso do arroz irrigado, o tipo de solo tem pouca influência no risco climático associado com as épocas de semeadura, pode-se dizer inclusive que a sua influência estaria mais relacionada com o consumo de água na lavoura do que com o risco climático propriamente dito, (Diário Oficial, 2001).

O consumo de água da lavoura orizícola é influenciado por características físicas do solo, que estão relacionadas ao movimento da água por infiltração, armazenamento, condutividade hidráulica, entre outros. A redução de fluxo pode ocorrer através de diversas formas de alteração, principalmente pelo preparo do solo, (Corrêa *et al.*, 1997).

De uma maneira geral, o arroz pode ser cultivado em vários tipos de solos, sempre levando em consideração as características físicas capazes de influenciar na disponibilidade de água para as plantas. Solos com textura argilosa normalmente são capazes de reter maior quantidade de água do que solos de textura arenosas, (Planeta Arroz, 2000). Solos para sistemas de cultivo de arroz por submersão devem apresentar uma camada pouco permeável abaixo da zona das raízes, não muito profunda, contribuindo para a redução do consumo de água de irrigação.

Para Gomes e Pauletto (1999), são encontrados solos de várzea nas planícies de rios e lagoas, apresentando como característica comum o hidromorfismo, ou seja, a formação em diferentes condições de deficiência de drenagem. No Rio Grande do Sul podemos encontrá-los em algumas regiões do Estado como na Encosta do Sudeste, Depressão Central, Campanha, entre outras, abrangendo uma área de aproximadamente 5.400.000 ha.

Conforme os autores, devido à origem diversa e também a diferentes intensidades de fluxo de transporte de sedimentos, solos de

várzea apresentam composição mineralógica muito heterogênea, resultando na formação de solos com grandes variações em seus atributos físicos e químicos, e como consequência, na aptidão para o uso.

Solos hidromórficos de terras baixas situados em áreas adjacentes às várzeas, são eventualmente usados no cultivo do arroz irrigado. Esse tipo de solo é encontrado na região da campanha, apresentando caráter argiloso associado à densidade natural elevada, relação micro/macroporos muito alta e baixa capacidade de armazenamento de água na camada superficial. Características citadas anteriormente, associadas a fatores como baixa fertilidade do solo entre outros, dificultam a existência de uma diversificação agrícola, portanto, sob tais condições desenvolveu-se a cultura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul, (Gomes e Pauletto, 1999).

Conforme dados da EMBRAPA (1999), o volume de água consumido na irrigação da lavoura de arroz depende da textura e da declividade do solo, além da temperatura e da umidade relativa do ar determinando vazões contínuas entre 1,5 a 2,0 L s⁻¹ há⁻¹ em um período médio de irrigação de 80 a 100 dias.

A área total de solos aptos para qualquer tipo de irrigação no Brasil é estimada em torno de 29,6 milhões de hectares. O que representa cerca de 3,5% da área total do território nacional, (Aneel, 1999).

Com a finalidade de estimar a quantidade de água para irrigar a lavoura de arroz na bacia do Rio Santa Maria, (UFSM, 2003), obteve-se o mapa de classes de consumo de água, através do cruzamento do mapa de área plantada com arroz com o mapa de classes texturais de solo, considerando com consumo por classe textural de solo os valores descritos na Tabela 2.1. Os valores de consumo foram sugeridos para a UFSM por técnicos do IRGA da região de estudo.

Com base na Tabela 2.1, foi feita a caracterização das demandas de água pela lavoura orizícola. Pode-se observar na Figura 2.2 as quatro classes de solos texturais: solos arenosos, mistos, argilosos e situados sobre o cristalino, os quais, para fins de cálculo, foram tomados como mistos.

Tabela 2-1 Consumo anual de água por lavoura de arroz irrigado em área não sistematizada por classe textural de solos.

CLASSE TEXTURAL DE SOLO	CONSUMO DE ÁGUA (M ³ /HA/ANO)
Solos Arenosos	10.500
Solos Mistos	9.500
Solos Argilosos	8.500

Fonte: UFSM, 2003.

2.4 Quantificação de água para lavoura orizícola

A quantidade de água exigida para satisfazer as necessidades da lavoura orizícola é aquela que representa o somatório das quantidades necessárias para compensar a evapotranspiração³, saturar o solo, formar a lâmina de água, repor as perdas laterais e nos canais de irrigação, perdas por percolação vertical, perdas decorrentes do manejo do sistema de captação ao longo do ciclo, (Ramos, 1985; IRGA, 1996; Colasante, 2001).

A quantificação de água para irrigação da lavoura de arroz constitui-se, portanto, em tarefa complexa, pois existem diversos fatores, tais como: manejo, tipo de solo, condições climáticas como a umidade, temperatura, radiação solar, entre outros, capazes de alterar o consumo da lavoura. No Estado do Rio Grande do Sul, a evapotranspiração da lavoura orizícola varia entre 6,7 e 7,7 mm por dia no período de irrigação, (Motta *et al.*, 1990).

Assim, nos itens a seguir são descritos os sistemas de cultivo e os possíveis manejos de água na lavoura orizícola.

³ A evapotranspiração compreende a água transpirada pela planta mais a água evaporada pelo solo (Ramos, 1985)

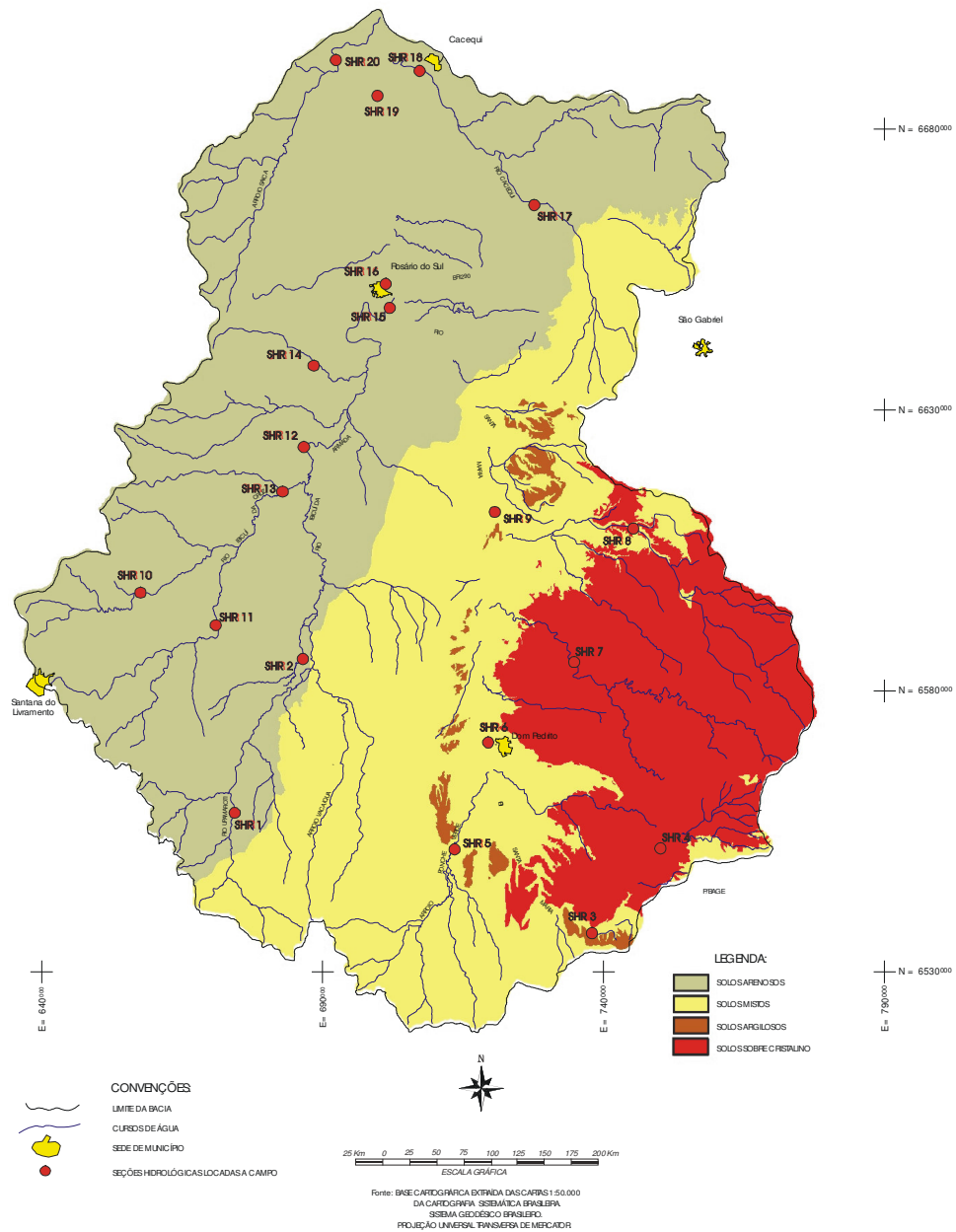


FIGURA 2-2 Mapa de classes de texturas do solo.

2.4.1 *Sistemas de cultivo do arroz em várzea*

A cultura do arroz no Brasil é realizada principalmente em solos de várzea, o que representa cerca de 40% da área total sob a cultura, de 3,5

milhões de hectares, contribuindo com 60% da produção de 10 milhões de toneladas na safra 98/99. Nesse ecossistema predomina o sistema de cultivo com irrigação controlada, que ocupa cerca de 1 milhão de hectares na região subtropical (RS e SC), onde a cultura é manejada sob alto nível tecnológico e apresenta rendimento médio ao redor de 5,5t/ha (EMBRAPA, 2002).

Segundo dados da EMBRAPA, os principais sistemas de cultivo utilizados na cultura do arroz irrigado no Estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina são denominados por: convencional, plantio direto, pré-germinado e transplante de mudas. O sistema de produção convencional no RS é altamente mecanizado em áreas sistematizadas e a semeadura é feita em solo seco e a água manejada na forma de banhos, até o início do perfilhamento, quando a água é então aplicada definitivamente nas quadras.

Pode-se observar na Tabela 2.2 a situação dos diferentes sistemas de cultivo nas diferentes regiões do Estado do Rio Grande do Sul:

Tabela 2-2 - Sistemas de cultivo por região (em ha) 2001-2002

REGIÃO	CONVENCIONAL			DIRETO	TRANSPL.	TOTAL
	LANÇADO	LINHA	PRÉ-GERMINADO			
Planície Cost.Externa	27.165	12.185	41.559	5.486	22.946	109.340
Campanha	72.561			79.573	13.773	165.907
Depressão Central	16.447	49.236	27.769	5.244	22.916	121.612
Fronteira Oeste	36.335	90.509	118.211	21.759	7.467	274.281
Zona Sul	28.040	33.496	62.597	17.430	9.852	151.416
Planície Cost.Interna	9.923	8.652	58.765	2.444	26.121	105.905
Total	190.471	194.078	308.901	131.936	103.075	928.461
%	20,51	20,9	33,27	14,21	11,1	100

Fonte: IRGA, 2002.

Como principais diferenças para produção de arroz entre estes sistemas, temos o modo de preparo do solo e principalmente o manejo da água para irrigação da lavoura.

Portanto, a seguir, serão descritos os sistemas de cultivo mais utilizados na lavoura orizícola.

Conforme dados do IRGA (2002), o preparo do solo em sistema convencional é feito com o solo na sua condição natural de umidade. O preparo primário do solo envolve operações normalmente realizadas com arados ou grades niveladoras visando o rompimento das camadas compactadas e a eliminação de cobertura vegetal. No preparo secundário são utilizadas operações mais superficiais realizadas através de grades ou plainas para nivelar ou desterroar o solo, criando condições mais favoráveis à sementeira, emergência das plantas, incorporação de adubo e o desenvolvimento da cultura a ser implantada.

De acordo com dados do IRGA (2002), o sistema de plantio direto é o sistema de sementeira em que a semente é colocada diretamente no solo não revolvido. Somente é aberto uma cova ou pequeno sulco com profundidade e largura suficientes para garantir uma boa cobertura e contato da semente com o solo. A principal característica é a manutenção do solo em seu estado natural, sem movimentação de suas camadas, evitando a retirada da cobertura vegetal. Nesse sistema, o manejo da água é semelhante ao sistema de plantio convencional, onde é estabelecida uma lâmina de água sobre o solo, normalmente de 20 a 35 dias após a emergência das plântulas. Alguns produtores antecipam a colocação de água nos quadros para aumentar o controle de plantas daninhas, (IRGA, 2002; EMBRAPA, 2004).

O sistema pré-germinado é caracterizado pela sementeira das sementes pré-germinadas, em solo previamente saturado ou encharcado, para favorecer o desenvolvimento das plantas, mantendo até próximo da colheita uma lâmina de 5 a 10 cm de água. No preparo do solo há necessidade da formação de lama, o nivelamento e o aplainamento são realizados normalmente com o solo inundado, (IRGA, 2002; EMBRAPA, 2004).

O sistema pré-germinado é o predominante em SC e vem ganhando relevância no RS pelas mesmas razões do cultivo mínimo. Segundo Corrêa *et al.* (1997), o consumo de água no sistema pré-germinado decorre em função de preparo dentro da água, provocando uma desestruturação do solo na superfície, acarretando assim, uma redução das taxas de infiltração.

Ainda é utilizado na lavoura orizícola o sistema de transplântio de mudas, onde inicialmente as plantas crescem de 13 a 15 cm em um viveiro e logo após, é feito o transplante para a área a ser cultivada. O preparo do solo e o manejo da água é idêntico ao recomendado para o sistema pré-germinado. O método tem por objetivo principal a obtenção de sementes de alta qualidade. O sistema compreende as fases de produção de mudas e de transplântio, (IRGA, 2002; EMBRAPA, 2004).

Com exceção do método de transplântio, geralmente a aplicação da lâmina de inundação da lavoura orizícola ocorre nas seguintes etapas:

No 1º mês, a lâmina de água é insuficiente para atingir o nível da lâmina de água a ser aplicada. No início do 2º mês, ocorre a aplicação aproximada de 50% da lâmina de água a ser utilizada. No 3º mês, é completada a aplicação da lâmina de água. Desde o início do 4º mês, a lâmina plena de água está completa, (IRGA, 2002).

Para Gomes e Pauletto (1999), a manutenção de uma lâmina de água sobre a superfície do solo, pode provocar algumas alterações relacionadas aos aspectos físicos e fisiológicos das plantas, às condições físicas, químicas e biológicas do solo, que em sua grande maioria favorece as plantas de arroz, já que as mesmas apresentam períodos mais exigentes em relação à água, devendo ser considerado em sistema de irrigação intermitente.

Na comparação entre sistemas de cultivo convencional e pré-germinado com irrigação contínua, Eberhardt (1993) concluiu que houve

um acréscimo de 22% no consumo de água no ciclo do arroz no sistema convencional em relação ao sistema pré-germinado, mas não havendo diferença entre o consumo total da lavoura dos dois sistemas.

O sistema de cultivo mínimo, cujo objetivo principal é o controle do arroz vermelho -, planta daninha de difícil controle - é um sistema muito semelhante ao convencional em seu manejo, porém utiliza uma menor mobilização do solo, sendo uma alternativa já consolidada no Rio Grande do Sul com a vantagem adicional da redução dos custos de produção.

Hernandez (1996) identificou que o consumo de água entre os sistemas convencionais e cultivo mínimo não apresentou diferença significativa. De acordo com o autor, existem várias maneiras de buscar a redução do consumo de água pela lavoura orizícola, entre elas está a sistematização do terreno a ser cultivado e o uso de cultivares que possibilitem menores lâminas de água (5 a 10) cm, também é possível reduzir o número de dias de irrigação pela antecipação ou pelo término do período. Em condições normais de trabalho dentro da lavoura orizícola, sabemos que o consumo de água está muito acima dos níveis recomendados, principalmente em função de perdas nas etapas de captação e adução da água até os canais de distribuição.

Na Tabela 2.3 apresenta-se os dados obtidos no trabalho realizado por Machado (2003), onde se têm a estimativa de consumo de água na lavoura orizícola sob condições de inundação contínua e estática para quatro sistemas de cultivo: convencional, cultivo mínimo, pré-germinado, e transplante de mudas, em área experimental do Departamento de Fitotecnia da UFSM. O experimento foi realizado em solo aplainado tipo Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico com textura média de 22% de argila e 1,9% de matéria orgânica a partir da safra de 2000/2001.

Tabela 2-3 - Consumo de água em quatro sistemas de cultivo do arroz irrigado. Santa Maria, RS, 2003.

SAFRA AGRÍCOLA 2000/2001				
	SPC (a)	CM	PRÉ (b)	T (b)
Consumo de água ($m^3 ha^{-1}$) ² (a)	5998	5431	6216	6422
Início da irrigação (c)	23º	23º	3º	3º
Período de irrigação (dias)	103	103	124	124
Produtividade ($kg há^{-1}$)	6849	6729	8095	8228
E.U.A. ($Kg m^3$)	1,14	1,24	1,30	1,28
SAFRA AGRÍCOLA 2001/2002				
Consumo de água ($m^3 ha^{-1}$) ² (a)	5487	5374	5852	5581
Início da irrigação (c)	21º	21º	3º	3º
Período de irrigação (dias)	101	101	121	121
Produtividade ($kg há^{-1}$)	7036	6854	7654	8053
E.U.A. ($Kg m^3$)	1,28	1,27	1,31	1,44

Fonte: MACHADO, 2003. (Adaptado para este trabalho)

(a) SPC – sistema plantio convencional, CM – cultivo mínimo, PRÉ – sistema pré-germinado, T – transplante de mudas.

(b) Incluindo a água utilizada para o preparo (manejo) do solo ($1285 m^3 há^{-1}$ ou $128,5 mm$).

(c) Dias após a semeadura ou o transplante de mudas.

2.4.2 Manejo de água para as lavouras de arroz irrigado

É fundamental a relação entre fatores capazes de determinar o consumo de água na lavoura, entre eles está o tipo de irrigação utilizada, podendo ser contínua, corrente, estática ou intermitente e também, a altura da lâmina de água relacionada com o tipo de cultivar, temperatura da água e a topografia do terreno.

O manejo de água na agricultura segundo Gomes *et al.* (1998), compreende as seguintes etapas: captação, distribuição e controle de água de irrigação. Porém o manejo de água na irrigação deve compreender todos os processos que assegurem a uma determinada cultura uma quantidade de água necessária para maximizar sua produção, dentro de condições específicas de clima e operação do sistema. Aspectos como o dimensionamento de bombas centrífugas, o diâmetro de tubulações de recalque, a altura manométrica total (desnível geométrico entre os níveis da água na tomada e a cota do terreno para onde a água é transportada), a rede de distribuição de água, os canais de irrigação, entre outros, são fundamentais para otimizar a aplicação de água na lavoura.

Quando a irrigação é feita por submersão, a relação de água/ar no solo não é muito relevante. No caso do arroz irrigado o manejo fica mais simplificado, mas é necessário levar em consideração o aspecto econômico, diferente do caso que pode chegar até 20% do custo total de produção, (GOMES *et al.*, 2002).

As plantas de arroz apresentam, durante o seu desenvolvimento, períodos com maior e menor exigência de água, devendo ser considerado em sistemas intermitentes de irrigação, onde a drenagem da lavoura é realizada, (Gomes *et al.*, 1998).

De acordo com Colasante (2001), a influência da água nas características das plantas, na disponibilidade dos nutrientes, controle de plantas daninhas e na incidência de pragas e doenças está diretamente relacionado a um manejo eficiente, capaz de fornecer um ambiente favorável para o desenvolvimento da cultura evitando o uso excessivo, o que acarreta num aumento dos custos de produção.

No Rio Grande do Sul, são estimados 15,5 bilhões de metros cúbicos utilizados na lavoura orizícola; a maior parte da água utilizada no sistema de irrigação por submersão é captada principalmente de rios, lagoas e açudes, sendo que 43% de todo o processo desde a captação, condução e distribuição são feitos por gravidade, (Zaffaroni e Tavares, 1999).

Para os demais sistemas, a captação é feita utilizando-se conjuntos moto-bomba e a distribuição é feita utilizando-se canais de irrigação,, (IRGA, apud Zaffaroni e Tavares, 1999).

Segundo Zaffaroni e Tavares (1999), a aplicação de água nas lavouras de arroz vem diminuindo ao longo do tempo, mas ainda encontra-se em níveis muito elevados, sabendo-se que a eficiência de irrigação por submersão em condições adequadas de manejo pode atingir níveis de eficiência em torno de 60%, mas como os agricultores adotam

normalmente uma vazão de 2,0 l/s/ha, a mesma atinge níveis entre 40 a 45%. Porém, com condições desfavoráveis, estes níveis de eficiência podem ficar em torno de 30%, resultando no dobro da aplicação estimada.

De acordo com Zaffaroni e Tavares(1999), logo após o plantio existe a necessidade de se determinar o *stand* ideal, já que a carência de água durante a germinação das sementes e emergência das plântulas pode acarretar uma redução da população de plantas, no período de iniciação da panícula até dez-quinze dias após o florescimento da cultura, o que influencia no número de grãos/panícula, na esterilidade e no peso dos grãos. Os dois períodos de cultivo estão relacionados com a disponibilidade hídrica para a irrigação da lavoura de arroz podendo afetar a produtividade.

A ocorrência de chuvas com alta intensidade, na época de implantação da lavoura de arroz, é motivo de preocupação para os agricultores. Estas se situam em áreas sujeitas a alagamentos freqüentes. Com chuvas intensas, áreas próximas a rios e riachos, tornam-se suscetíveis a ficarem submersas por períodos que podem ser significativos para a produtividade na lavoura, podendo prejudicar o estabelecimento de lavouras de arroz que já tenham sido implantadas. No entanto, não se têm informações a respeito da duração do período de inundação e da época mais suscetível do arroz no período inicial de estabelecimento da lavoura, (Gomes *et al.*, 2002).

2.5 Disponibilidade Hídrica para a lavoura

Avaliando-se a dinâmica dos escoamentos na bacia hidrográfica afetados pelo uso intenso de água pela lavoura de arroz, define-se no Estado, dois períodos distintos: *o de irrigação* compreendendo os meses de novembro a março, e *o fora de irrigação*, de abril a outubro, (UFSM,

2003). Esses períodos, oferecem dificuldades para avaliar a disponibilidade hídrica na bacia, uma vez que nos meses de irrigação ocorrem às retiradas de água para as lavouras e as vazões observadas na rede de drenagem estão subtraídas dessas retiradas.

A disponibilidade hídrica quantitativa é conhecida a partir do conhecimento do regime hidrológico da bacia, o qual é caracterizado pelas vazões ou funções características calculadas a partir da observação de suas vazões. Como as vazões estão sob a influência do consumo, para a perfeita avaliação da disponibilidade é preciso conhecer a demanda exercida.

Tendo em vista a necessidade da realização de um balanço hídrico considerando que as estimativas de consumo de água nas lavouras orizícolas no RS apresentam informações regionalizadas com períodos descontínuos. O conhecimento da demanda é fundamental para realização de balanço hídrico compatível com a realidade, como também a estruturação de um eficiente cadastramento de usuários aliado, que inclua as informações relativas ao manejo e espécies cultivadas, da geomorfologia, dos tipos de solo, declividades, entre outras, são fundamentais mas não eliminam as incertezas do conhecimento da água utilizada na lavoura.

Conforme informações obtidas verbalmente com o Professor do Departamento de Fitotecnia da UFSM, Dr. Ênio Marchesan, em setembro de 2003, as incertezas na quantificação da água para a lavoura de arroz podem se dar devido a:

a) Operação:

Este tipo de incerteza está relacionada diretamente ao planejamento de todo o processo produtivo da cadeia do arroz, já que bastam pequenas modificações em fatores como o clima e a umidade do solo, variações nos

custos de produção, mão de obra, entre outros, para termos diversas incertezas na quantificação da água a ser aplicada.

b) Perdas nas e instalações hidráulicas:

A tomada de água para a irrigação da lavoura de arroz é feita, na sua grande maioria, através de estações elevatórias que descarregam a água em canais adutores. Cada estação elevatória é composta de poço de bombas, casa de bombas, base para motores e base para bombas. Deficiências técnicas de instalação conduzem a efeitos negativos no processo de tomada de água, como por exemplo; cavitações, velocidades excessivas de escoamento e peças acessórias inadequadas, podendo reduzir significativamente a eficiência do sistema de captação e distribuição de água na propriedade.

O dimensionamento dos equipamentos muitas vezes não é o adequado para tal, sendo em grande parte superdimensionados, pois garantem uma quantidade superior de água do que aquela realmente necessária para a irrigação da cultura. Outro fator que eleva a demanda de água para a cultura, é a prática de adução influenciando significativamente o manejo, implicando no aumento desnecessário de volume aduzido, um aumento no consumo energético na propriedade e também na fonte geradora, pois a energia utilizada poderia ter outra finalidade.

c) Incertezas dos sistemas de cultivo:

As incertezas nos sistemas de cultivo estão relacionadas ao manejo utilizado na irrigação, sendo este o grande responsável pela incorreta quantificação do volume necessário as necessidades de cada cultivar e dos diferentes sistemas de cultivo citados. Por exemplo, entre os sistema convencional e o sistema pré-germinado existem diferenças: (i) nas alturas das lâminas de água a serem aplicadas; (ii) o início do período para a aplicação de água nos quadros também é desuniforme entre

alguns produtores, uns antecipam e outros retardam esta etapa, além de diferentes planejamentos para as etapas do processo produtivo. O preparo do solo também pode gerar incertezas,

d) Cadastrais:

A baixa confiabilidade nos cadastros existentes é um fator que dificulta a quantificação de volume por área de plantio. Esta dificuldade pode ser suprida com dados existentes nos anuários estatísticos oficiais, mas estes, não fornecem muitas vezes as informações georeferenciadas.

Com o uso das técnicas de geoprocessamento e interpretação de imagens de satélite, é relativamente fácil a avaliação de áreas de plantio e localização nos respectivos trechos de gerenciamento.

Dados não confiáveis prejudicam o desenvolvimento e a implementação de estratégias de gerenciamento efetivo da demanda, sendo necessário para esta, a previsão a longo prazo, associada à compatibilidade com os projetos de irrigação envolvidos.

2.6 Outorga do Direito de uso da água

O regime de outorga de direito de uso de recursos hídricos foi instituído como um instrumento de gestão de uso da água conforme o art. 29 da Lei 9.433/97, e tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água.

A outorga dos direitos de uso ou interferência dos recursos hídricos é um ato administrativo de autorização ou concessão, mediante o qual o poder público faculta ao outorgado fazer uso da água por tempo determinado, finalidade e condição expressam no respectivo ato, (Conejo, 1993). Conforme o autor, a outorga constitui-se num instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos, essencial à compatibilização

harmônica entre a sociedade e as responsabilidades e deveres que devem ser exercidos pelo poder concedente, tendo como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água, buscando a sustentabilidade dos recursos naturais.

Para a instrução do processo de outorga, é necessário o conhecimento de duas grandezas fundamentais: disponibilidade hídrica e demanda de uso, (Cruz, 2001). A disponibilidade hídrica é conhecida a partir de suas vazões ou funções características, já a demanda pode ser conhecida através de um eficiente cadastramento de usuários.

Silva e Pruski (2000), comentam que a Lei 9.433/97 não previu a necessidade de licitação para a outorga de uso dos recursos hídricos, não configurando uma prestação de serviço público. No Estado do Rio Grande do Sul a Lei 10.350/94 instituiu o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, regulamentando o Artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul.

Devido ao uso intenso da água pela lavoura de arroz, a qual representa importante papel para o crescimento e desenvolvimento da região de estudo, as estimativas de consumo da lavoura orizícola no Rio Grande do Sul necessitam de maior sistematização das informações referentes ao uso da água para a prática da irrigação das lavouras.

Segundo Cruz (2001), considerando que o conhecimento da disponibilidade hídrica é fundamental para o cotejo disponibilidade/demanda, duas estratégias de balanço hídrico são possíveis para contornar a dificuldade advinda da não homogeneidade das séries de dados e avaliar a disponibilidade hídrica para as outorgas descritas a seguir.

Estratégia 1: adicionar a demanda exercida nos valores de vazões observadas

A estratégia baseia-se na hipótese de que os valores observados das vazões constituem o remanescente do uso atual. Assim, a estratégia consiste em acrescentar ao escoamento ocorrido na bacia (avaliado através de série hidrológica observada) o volume de água consumido (demanda exercida) pela lavoura de arroz no período de irrigação, e obter-se como resultado a série natural (sem os efeitos consultivos da ação antrópica).

Como exemplo de uso desta estratégia pode-se lembrar o caso do Texas Natural Resource Conservation Commission (TNRCC), que está desenvolvendo um novo modelo de avaliação de disponibilidades hídricas, considerando para o balanço hídrico vazões naturais reconstituídas. A definição de vazão natural reconstituída representa escoamentos históricos que teriam ocorrido na bacia se a mesma não fosse afetada por captações, despejos e/ou obras de regularizações (TNRCC, 1997). O procedimento baseia-se no conhecimento de registros históricos de vazões, de obras de regularização e preservação com suas regras operativas, de evaporação e de demanda, que, no caso do Texas, são considerados a totalidade dos direitos de água emitidos.

“Esta estratégia tem como desvantagem à dificuldade no conhecimento da demanda devido a sua dependência a fatores demográficos, econômicos, tecnológicos, sociais, políticos e de desenvolvimento regional. Como agravante, em uma bacia que irá iniciar o processo de outorga e cujas informações sistematizadas relativas ao consumo de água ao longo do tempo não existem, o primeiro passo é a realização de um cadastro detalhado sobre os usuários da água. Porém os valores obtidos não necessariamente representam a verdadeira demanda exercida, dado que esta é função dos rendimentos de operação dos equipamentos e também do sistema de operação, cujas horas verdadeiras e volume de retirada ou de lançamento constituem também variáveis aleatórias (Cruz, 2001). Essas dificuldades são encontradas mesmo no Texas, cuja tradição de registro de uso das águas é antiga e onde se podem observar falhas nos registros históricos de declarações de usuários sobre as quantidades utilizadas em alguns anos; declarações incorretas na quantidade realmente derivada pelos usuários; declarações não detalhadas das quantidades sazonais de uso da água e sim apenas de volumes anuais totais, (Cruz, 2001). “

Pode-se dizer que a técnica de reconstituição de vazões somente é satisfatória quando existem informações, (Stalnaker *et al.*, 1995). Considerando-se a realidade brasileira da rede de monitoramento e o quase total desconhecimento do regime histórico de demanda, pode-se dizer que a reconstituição de vazões naturais, além de tarefa difícil, embora necessária, define uma realidade distante de ser alcançada. Isso porque, mesmo com o levantamento detalhado dos usuários atuais das bacias, seria difícil recuperar o passado de derivações para usos, assim como suas sazonalidades e interrupções de captação, com a finalidade de reconstruir a produção hídrica da bacia, (Cruz, 2001).

No Brasil, um exemplo da tentativa de caracterizar as disponibilidades hídricas baseando-se na reconstituição da vazão natural, foi feita por Paiva *et al.* (1999) para o Rio São Francisco. Após a análise dos dados existentes na bacia, os autores verificaram que, para o trecho entre as nascentes e o reservatório de Três Marias, por exemplo, não havia dados confiáveis para que se pudesse avaliar as disponibilidades naturais.

“No Rio Grande do Sul, foi realizado um resgate do que seria a vazão não afetada pela atividade orizícola, com a finalidade de quantificar as vazões que devem permanecer no rio para a preservação ambiental. E, embora o uso preponderante fosse apenas um, o da lavoura orizícola, e, embora se tivesse acesso a bons dados dos anuários estatísticos do Estado sobre a evolução das lavouras, os mesmos não estavam divididos por bacia hidrográfica. Também ficou difícil conhecer quais foram, dentre as lavouras irrigadas, as que utilizaram derivação do rio ao longo do período de dados, já que, ao longo desses anos, muitos reservatórios para irrigação foram sendo construídos na bacia de drenagem. Além disso, não era possível conhecer exatamente quais e quantos eram os irrigantes, devido à não existência de cadastro detalhado para a finalidade de quantificar o consumo. Todos estes fatores introduziram grande incerteza nos balanços efetuados por Silveira *et al.* (1993).”

Uma alternativa utilizada em estudos de demanda é a estimativa pela medida da área plantada e o uso de um coeficiente de consumo por unidade de área plantada (Arnêz, 2002), estratégia aplicada por exemplo

nos estudos de SPO (UFSM, 2003), ambos para a bacia do Rio Santa Maria.

Em síntese, a recuperação ou reconstituição de um fluviograma atual sem conhecimento das intervenções históricas, seria um procedimento difícil e com muitas incertezas, (Cruz, 2001). Como alternativa a dificuldade da reconstituição de vazões naturais, foi proposta a alternativa 2, conforme a seguir enumerada.

Estratégia 2: Estratégia do Marco Zero

“Neste caso, a aposta é considerar que o consumo de água da lavoura de arroz representa o seu estágio atual de desenvolvimento, ao qual estão associados os atuais usuários da água, sendo o desenvolvimento do cotejo disponibilidade x demanda realizado a partir deste estágio, considerado como “Marco” inicial para a instrução dos processos de outorga. Nessa estratégia, reconhece-se que a disponibilidade hídrica do manancial calculada atualmente (a partir de dados observados) traz embutidos os usos quantitativos da água exercidos de um período histórico até o presente, e a esta vazão dá-se a denominação de disponibilidade marco zero, (Silveira et. Al., 1998; Cruz, 2001).”

Essa estratégia foi proposta por Silveira *et al.* (1998), aplicada por Cruz *et al.* (1999) e estudada em Cruz (2001). A suposição é de que, para alavancar o processo de outorga, os atuais usos da bacia seriam outorgados, dado que representam o passado de uso, e o processo de análise se faria para planejar e otimizar o balanço hídrico considerando os usos futuros.

“A vazão disponível (disponibilidade atual remanescente) deve ser diminuída da vazão de conservação ambiental, para encontrar a verdadeira disponibilidade remanescente passível de processo de outorga. O resultado expressa três possibilidades para essa vazão remanescente: menor, igual ou maior do que zero. No primeiro caso o consumo é maior do que poderia ser, uma vez que ultrapassa os limites impostos pela vazão de proteção ambiental. Duas possibilidades de gestão são aplicáveis: racionamento e/ou investimentos em obras de regularização. O segundo caso, diferença igual a zero, a demanda está no limite de seu crescimento. Finalmente, o terceiro caso, diferença maior do que zero é possível aumentar a demanda até o limite do valor resultante, (Cruz, 2001).”

É necessário levar em consideração a dificuldade enfrentada mediante os dados observados, já que a fiscalização enfrenta um problema de diferenças entre vazões naturais dos rios analisados e as vazões permanentes, pois nas vazões naturais estão embutidos os diferentes tipos de uso da água, principalmente para a prática da irrigação das lavouras orizícolas.

Portanto, o uso de ferramentas como os modelos de simulação hidrológica são de grande importância no auxílio para o planejamento da retirada da água para irrigação em bacias com uso predominantemente agrícolas.

2.7 Modelos hidrológicos para o gerenciamento de recursos hídricos

Conforme Tucci (1987), o modelo hidrológico é uma representação do comportamento de um determinado sistema, buscando compreender como este sistema responde a diferentes entradas, no caso de modelos hidrológicos, dados de precipitação e evaporação por exemplo, tentando representar o comportamento da bacia hidrográfica em diferentes condições observadas.

Para Tucci (1987), pode-se classificar os modelos hidrológicos segundo vários critérios existentes na literatura, por exemplo: modelos contínuos e discretos, quando os fenômenos são contínuos ao longo do tempo e discretos quando ocorrem mudanças de estado em intervalos discretos; modelos concentrados e distribuídos, quando não levam em conta a variabilidade espacial, tendo como exemplo a precipitação como variável de entrada; modelos conceituais levam em conta os processos físicos na sua elaboração enquanto os modelos empíricos ou caixas-preta usam funções empíricas sem base física.

O uso de modelos lineares para representar o escoamento deve-se a facilidade de uso, a pequena não-linearidade apresentada por algumas bacias. Para modelos lineares devem ser satisfeitas as propriedades de homogeneidade, ou seja, para um sistema que possui n entradas de tal forma que $y_1 = y_2 \dots = y_n$, é válido que n y_1 produz uma saída n x_1 ; e do princípio da superposição, no qual uma entrada y_1 produz uma saída x_1 , desta forma uma entrada y_2 produz uma saída x_2 e também a entrada $y_1 + y_2$ produz uma saída $x_1 + x_2$.

Conforme Tucci (2000), duas condições básicas aparecem no momento em que o técnico busca solucionar e planejar questões relativas ao gerenciamento dos recursos hídricos: o meio onde o recurso se distribui que é denominado de bacia hidrográfica e o local onde os recursos hídricos são utilizados, podendo ser no meio urbano ou no meio rural. Para o autor, o uso de modelos matemáticos implica em técnicas que permitam representar propostas para solucionar e simular o comportamento real do meio em questão, portanto, o modelo deve ser visto como uma ferramenta capaz de apoiar a simulação de soluções alternativas, mas não é capaz de resolver os problemas por si mesmo, e sim conta com a ajuda de todos os usuários envolvidos no uso de recursos naturais.

O uso de modelos matemáticos em recursos hídricos baseia-se em três condições fundamentais: dados históricos disponíveis, os objetivos do estudo e a metodologia utilizada, (Tucci, 1987).

Segundo Tucci (1993), o gerenciamento dos recursos hídricos é composto por ações multidisciplinares, necessitando o planejador reunir todas as informações do processo, referentes às diferentes fases para então tomar as decisões necessárias. Conforme o autor, os modelos de gerenciamento são classificados com base no seguinte:

- a) Modelos que apresentam apenas o comportamento de uma parte do sistema: tipo hidrológico, que simula a transformação da

precipitação; tipo precipitação-vazão, que simula a operação de reservatórios e modelo de quantidade de água.

- b) Modelos de otimização do sistema: buscam as soluções adequadas à nível de projeto de um sistema específico, como por exemplo a otimização de abastecimento de água.
- c) Modelos de planejamento: simulam as condições globais do sistema planejado, por exemplo, o gerenciamento do uso de água numa bacia hidrográfica.

2.8 Modelo precipitação-vazão

Do tipo determinístico, estocástico, empírico, conceitual ou físico, o modelo precipitação-vazão calcula a vazão de uma bacia hidrográfica, a partir da precipitação, sendo utilizado em extensão de série de vazão, previsão do tempo, avaliação do uso da terra, dimensionamento, análise de consistência e preenchimento de falhas de séries hidrológicas, auxiliando no melhor entendimento do comportamento dos fenômenos hidrológicos na bacia, (Tucci, 1987).

Para Tucci (1998), existe na literatura, uma infinidade de modelos para as classificações citadas, portanto a comparação entre eles pode ser considerada perda de tempo, já que cada um possui características semelhantes, com variações somente nas equações semi-empíricas representantes de cada processo.

No Brasil são utilizados vários modelos, dentre eles, podemos citar:

a) Stanford IV, que gerou muitas outras versões e é considerado um modelo completo, devido ao grande número de algoritmos e processos representados;

b) IPH, também com uma série de versões, utilizando um número reduzido de parâmetros e é baseado em um algoritmo de separação de escoamentos;

c) Modelo SCS, um dos mais utilizados para determinação de hidrograma de projeto em pequenas bacias sem dados hidrológicos;

d) Modelo SSARR, um dos mais antigos, muito utilizado para grandes bacias hidrológicas, e

e) Modelo SMAP, muito utilizado no Brasil para séries contínuas baseado na equação de separação do escoamento do SCS.

Conforme Tucci (1998), as dificuldades encontradas na comparação de uso dos diferentes modelos, ocorrem devido a um grande número de fatores que envolvem a transformação da precipitação em vazão, entre eles podemos citar a climatologia e a geografia de cada local de aplicação dos modelos. Como exemplo, podemos citar a distribuição espacial da precipitação que dificulta qualquer comparação dos processos.

O modelo que melhor representar o comportamento dos fenômenos hidrológicos da bacia, analisar a consistência de dados e o preenchimento de falhas, previsão de vazão em tempo atual, efeitos da modificação do uso do solo, entre outros, deve ser escolhido para a aplicação no local de estudo, lembrando que a familiaridade de uso com o operador deve ser levada em consideração.

O modelo hidrológico MOPH II (plúvio-hidrométrico), utilizado por Silveira *et al.* (1981) em bacias do semi-árido no Nordeste Brasileiro apresentou bons resultados para períodos de estiagem no cálculo de vazões mínimas, já que o mesmo requer poucas informações hidrológicas com poucos parâmetros de ajustamento, simulando com sucesso o comportamento de bacias situadas em regiões bem distintas.

Os modelos chuva-vazão realizam basicamente um balanço hídrico, no qual os dados de entrada são a chuva e a evapotranspiração potencial, que é a perda de água da superfície relacionada diretamente com a quantidade de energia solar que incide na área considerada, e as saídas

são expressas pelas vazões e as estimativas da evapotranspiração exercida ou real. As possibilidades para este balanço são inúmeras.

As informações relativas a outros parâmetros igualmente importantes para o balanço, tais como lâmina de água armazenada no solo, os parâmetros de propagação rápida (superficial) e lenta (sub-superficial), podem ser relacionados com características de uso e tipo de solo, geologia, área, declividade, entre outros, e proporcionar a geração de vazões com qualidade razoável. A utilização de dados físicos locais pode minimizar a incerteza relativa à regionalização da própria vazão de referência, (Cruz, 2001). Conforme o autor, quando o objetivo é o gerenciamento dos recursos hídricos, pode-se, ajustar um modelo chuva-vazão em uma seção fluviométrica, objetivando maior precisão no ajuste para vazões médias e mínimas, já que estas são as mais importantes para esse contexto.

Outra alternativa é basear-se em medições locais de vazão, já que no problema proposto, o escoamento de base é o que possivelmente prepondera e possui um comportamento de grande inércia sendo bom indicador do parâmetro de propagação subterrânea. Esta foi a base utilizada proposta por Silveira (1997), para estabelecer a curva de duração das vazões, com o ajuste de um modelo simplificado chuva-vazão a poucos dados obtidos em uma ou duas estiagens, configurando um ajuste do modelo à realidade local. O procedimento mostrou-se útil e consistente para bacias de pequenas áreas. Esta idéia pode ser testada para bacias maiores do que as utilizadas por Silveira (1997).

A consideração de "entradas" e "saídas" artificiais, como por exemplo, a retirada de vazão para a irrigação, pode ser feita nos modelos simplificados de chuva-vazão ou vazão-vazão através de parâmetros. É o caso da consideração de dois períodos distintos pela atividade antrópica: o período com irrigação e o período sem irrigação, através da pesquisa de um parâmetro que possa considerar a "fuga" da água para a irrigação -

uso consultivo de maior impacto e descontínuo no tempo nas bacias com vocação orizícola no Estado do Rio Grande do Sul, (Cruz, 2001).

Esta pesquisa objetiva justamente verificar a adequabilidade do uso de modelos para “captar” a fuga em derivação da água, com a finalidade de utilizar essa informação para a gestão dos Recursos Hídricos.

Conforme Tucci (1998), cabe ressaltar que existem limitações quanto ao uso de modelos chuva-vazão para as bacias com dados de vazão escassos ou mesmos sem dados são devidas: a disponibilidade de dados de chuva representativos da região (incerteza espacial) e clima (incerteza temporal); a representatividade da estimativa da evapotranspiração potencial; à incerteza de conexão de aquíferos ao rio, na caracterização dos tipos de solo, na definição da curva chave (dos dados de ajuste, quando existirem), das simplificações do processo assumidas na elaboração do modelo, isto é, na capacidade que o modelo tem de captar as principais informações referentes ao processo, e na transferência de parâmetros do modelo, função que pode ser não linear, desconhecida e complexa.

2.9 Curvas de Permanência

A curva de permanência ou de duração de vazões relaciona a vazão e a porcentagem do tempo em que ela é superada ou igualada sobre todo o período histórico utilizado para sua construção. Pode ser interpretada como uma “garantia” ou probabilidade de ocorrência das vazões num horizonte de planejamento. (Searcy, 1959 apud Voguel e Fennessey, 1994; Voguel e Fennessey, 1995 apud Cruz, 2001), apesar de estatisticamente utilizar vazões dependentes entre si.

A Figura 2.3 apresenta de forma esquemática a relação entre fluviograma e curva de permanência. Considerando cada vazão, tem-se que a área sob a reta horizontal, correspondente a esta vazão, representa

volumes iguais em cada gráfico. A curva de permanência sintetiza a variabilidade das vazões, caracterizando a base de comportamento para a sustentabilidade de sistemas aquáticos.

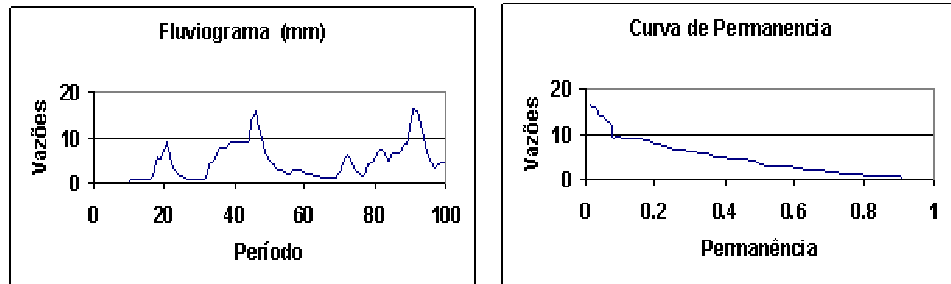


FIGURA 2-3 – Esquema: Curva de Permanência e Fluviograma

Para obtenção da curva de permanência ordena-se os valores de vazão em ordem decrescente e associa-se a cada valor uma frequência de excedência, utilizando uma posição de plotagem empírica, tal como m/n ou $m/n+1$, sendo m a ordem do valor ordenado e n o número de valores da série. Neste estudo, para identificar a sazonalidade das vazões, a curva de permanência foi construída considerando os períodos de estudo, na fase do ajuste, usando os dados de vazão de março a outubro e na fase da simulação usando os dados de vazão de novembro a fevereiro dos anos de dados.

3 METODOLOGIA

A metodologia propõe um ensaio da estimativa do consumo médio da lavoura orizícola tendo como instrumento de apoio o uso de modelos chuva-vazão, especificamente o Modelo Plúvio-Hidrométrico (MOPH), desenvolvido por Silveira (1974). A avaliação do resultado deverá ser feita comparando-se os valores contidos em cadastramentos realizados e na interpretação de informações obtidas em imagens de satélite associadas a coeficientes usuais de consumo agrônômico.

O equacionamento do problema se baseia na divisão da área de estudos em trechos de gerenciamento, conforme proposição em Cruz et al (1999). As SHRs devem ser definidas em função de critérios que consideram a distribuição geográfica da demanda, bem como de critérios geomorfológicos e hidrológicos. Locais de grande demanda pontual ou grande demanda em pequeno trecho podem definir o posicionamento de algumas SHRs (Lanna et al, 1977). Para a bacia do rio Santa Maria, a UFSM em conjunto com o departamento de Recursos Hídricos da Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul (Convênio UFS/SEMA, 2001), definiu vinte Seções Hidrológicas de Referência – SHRs – que definem trechos de gerenciamento e que foram adotados nesta pesquisa.

No período de irrigação, reconhece-se que a disponibilidade hídrica do manancial calculada atualmente traz embutidos os usos quantitativos da água, exercidos de um período histórico até o presente, sendo esta a vazão remanescente. Fora do período de irrigação, a vazão observada representa o comportamento da bacia hidrográfica e a inexistência de conflitos pelo uso da água. Portanto, sendo possível ajustar um modelo que reflita o comportamento da bacia, utilizando dados do período sem irrigação, é possível utilizar o ajuste do modelo para simular o

comportamento da bacia no período com a prática de irrigação. O resultado dessa simulação é uma estimativa das vazões naturais produzida na bacia caso não houvesse a pressão da irrigação. A diferença entre os volumes calculados e os volumes observados, nesse período de irrigação, seria, portanto, a estimativa do consumo atual na bacia.

Baseado nesse raciocínio propõe-se verificar a aplicabilidade da avaliação dos volumes utilizados na irrigação (demanda exercida), através de método indireto, cujos passos são descritos a seguir:

- a) Ajuste de um modelo chuva-vazão para o período sem a prática de irrigação; no caso da aplicação, a partir dos meses de março a outubro, demonstrando o comportamento natural da bacia em estudo;
- b) Simulação do modelo chuva-vazão, utilizando parâmetros ajustados no período sem irrigação para o período com prática de irrigação, isto é, a partir dos meses de novembro a fevereiro, para o caso do sul do Rio Grande do Sul;
- c) Comparação dos resultados da simulação realizada para o período de irrigação com as vazões observadas (monitoramento): a diferença é uma estimativa do consumo exercido. Essa diferença é analisada, juntamente com o uso de informações cadastrais, levantamentos a partir de interpretação de imagens de satélite e dados coletados a campo, para permitir estimar o consumo real da lavoura.

3.1 Ajuste de um modelo chuva-vazão para o período sem a prática de irrigação:

O ajuste do modelo é a fase onde os parâmetros devem ser determinados, a partir da verificação da simulação do modelo com os

valores observados, obtendo-se assim a validade ou não dos ajustes realizados, dependendo muito da disponibilidade dos dados existentes, de medições nem sempre corretas e principalmente, das características físicas da bacia em estudo (Tucci, 1987).

A calibração do modelo consiste em pesquisar a melhor combinação de valores dos parâmetros de ajustamento, através de vários testes, para se conseguir uma boa simulação das descargas, dentro do objetivo principal pré-fixado: simulação global; deflúvios anuais; grandes ondas de cheia (picos); períodos de estiagem (curvas de depleção).

Verifica-se, pois a necessidade de seguir critérios que fixem um objetivo desejado, que é, no caso geral, a concordância dos hidrogramas observado e simulado e, neste estudo em particular, a concordância dos trechos das curvas de permanência com permanência maior ou igual a 50%.

Adotou-se então, como indicador de qualidade do ajuste, o coeficiente de determinação R^2 (Clarke, 1973) dado pela expressão a seguir:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (QOBS_t - QCALC_t)^2}{\sum (QOBS_t - QOBSmed_t)^2} \quad \text{Equação 3-1}$$

Onde:

$QOBS$ = vazão observada no intervalo t ;

$QCALC$ = vazão calculada no intervalo t ;

$QOBSmed$ = vazão média observada.

Observa-se que quanto maior o valor de R^2 , melhor será a simulação conseguida, para a qual, no caso de uma simulação perfeita se teria o valor de R^2 no máximo igual a 1.

Neste estudo, os parâmetros utilizados para o ajuste do modelo hidrológico MOPH, foram determinados através do método de tentativas e seguindo os limites estabelecidos na literatura para cada parâmetro, (Silveira, 1981).

3.2 Simulação do modelo chuva-vazão para o período com prática de irrigação

A fase de simulação consiste em realizar a síntese de vazões para o período com a prática de irrigação, utilizando os parâmetros ajustados no período sem irrigação, isto é, síntese de vazões para os meses de Novembro a fevereiro, para o caso da metade sul do Rio Grande do Sul.

As séries geradas pelo processo de simulação são comparadas com as séries de vazões observadas (monitoramento): espera-se que a diferença entre elas seja uma estimativa do consumo exercido. Esta diferença é analisada, juntamente com o uso de informações cadastrais, levantamentos a partir de interpretação de imagens de satélites e dados coletados a campo, com objetivo de verificar a representatividade das diferenças dos volumes como estimativos do consumo pelas lavouras e a viabilidade de aplicação do modelo como ferramenta de gestão.

3.3 Análise dos resultados

A análise dos resultados foi feita comparando a estimativa da demanda, obtida subtraindo das Vazões Calculadas as Vazões observadas, e os valores obtidos em UFSM (2003) e Arnez (2002). A proximidade dos valores é o indicativo do potencial de uso da metodologia para a estimativa do consumo de água em lavoura orizícola.

3.4 Modelo MOPH

Para esta dissertação, foi utilizada uma versão adaptada para exequibilidade em planilha Excel, conforme está descrito a seguir:

Silveira (1974) apresentou o MOPH -1 como trabalho de Dissertação de Mestrado no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. Para o autor, “modelo” é um mecanismo de investigação científica que simula fenômenos naturais ocorridos em determinados locais, fornecendo informações suficientes para um melhor entendimento do seu comportamento.

Segundo o autor, o modelo hidrológico tipo MOPH, visa o cálculo dos escoamentos ocorridos ao longo do tempo na bacia hidrográfica, em função das precipitações ocorridas na bacia. Simulando o comportamento da bacia, o modelo MOPH tem como objetivo primeiro, gerar séries sintéticas de vazão e a partir destas, determinar descargas de cheias e de períodos de estiagem, projeções futuras, entre outras.

Com estrutura bastante simples, o modelo exige poucos dados básicos, de forma a permitir sua aplicação em regiões subdesenvolvidas e é constituído por um algoritmo de decomposição da chuva com dois operadores plúvio – hidrométricos, um hidrograma unitário de escoamento superficial e um “reservatório linear simples” para o escoamento subterrâneo. No MOPH 2, apresentado por Silveira *et al.* (1981), são utilizadas variantes intituladas de I (Figura 3.1) e II, introduzindo parâmetros que traduzem os efeitos de armazenamentos superficiais (interceptação e retenção) e de urbanização.

Neste estudo foi utilizada a Variante I, adaptada para o Excel®,

O modelo é constituído por um algoritmo de decomposição da chuva total (PRECI) ocorrida na bacia, durante um intervalo de tempo Δt , em chuva “chuva infiltrada” (PRINF) e “chuva efetiva” (PEFET), depois de

deduzidas as perdas por evapotranspiração (EVAPO) e satisfeitas as carências de umidade do solo (UMID).

Uma vez determinadas as parcelas de chuva infiltrada e de chuva efetiva, estas são convertidas, respectivamente, em fluxo de base (escoamento subterrâneo) e escoamento superficial, através dos operadores plúvio – higrométricos RLS (Reservatório Linear Simples) e HUSUP (Hidrograma Unitário Superficial), que traduzem a ação modeladora do complexo físico que é a bacia hidrográfica. Estas descargas básicas e superficiais vão sendo somadas, incremento por incremento, de forma a obter a vazão total sintetizada em cada Δt .

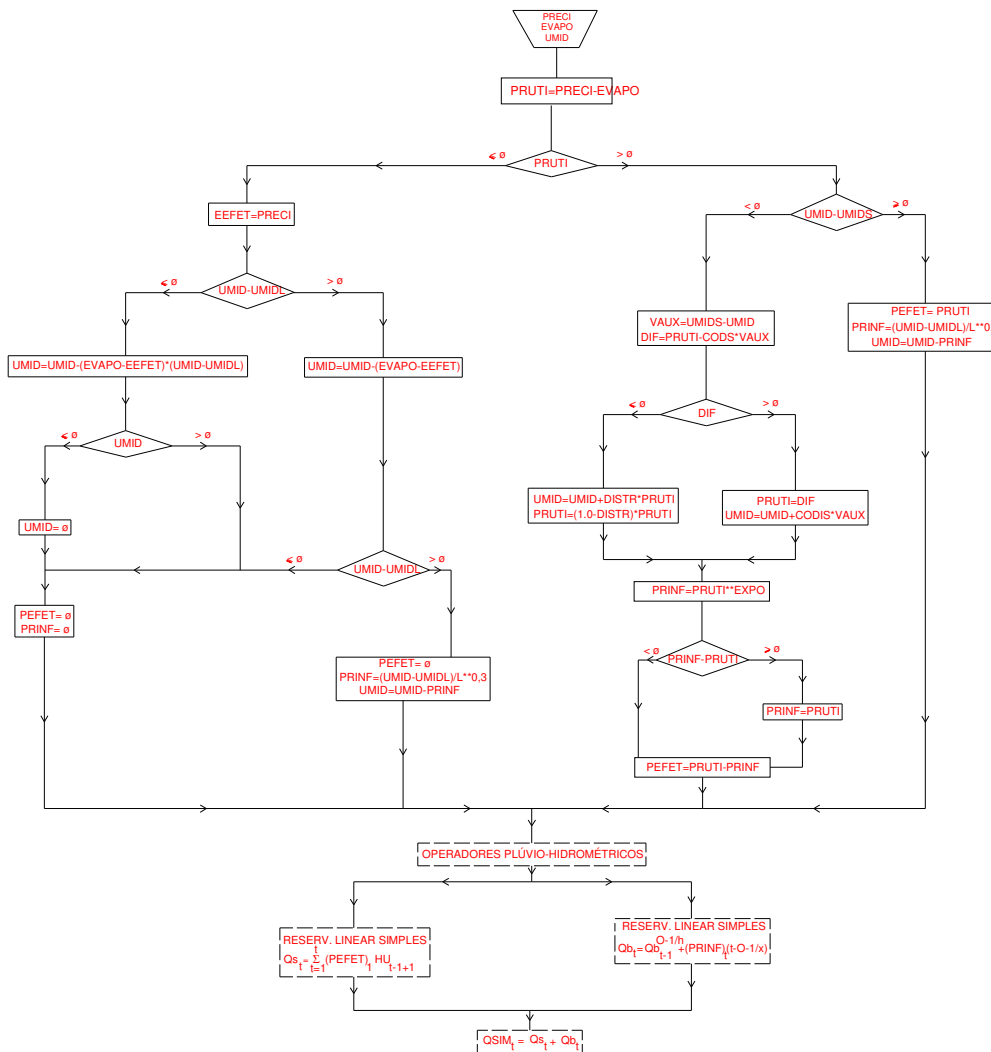


FIGURA 3-1 Modelo de Precipitação MOPH-2: Algoritmo de decomposição da precipitação – Fluxograma da Variante I

Nesta pesquisa, o modelo foi adaptado para ser simulado em planilha Excel® e, para isso, o HUSUP foi substituído por um Reservatório Linear Superficial RLS.

O algoritmo efetua, pois, em cada incremento de tempo, um balanço hídrico respeitando a continuidade, em termos de espessuras da lâmina de água, considerando precipitação, evaporação, infiltração, percolação, recarga do aquífero, chegando às parcelas dos escoamentos acima referidos.

Os dados de entrada são:

- a) Precipitação ocorrida (PRECI), e
- b) Taxa de evapotranspiração potencial (EVAPO);

Através de fórmulas como as de Thornthwaite, Hergreaves e ainda Linacre, é possível a determinação das perdas por evapotranspiração, se não existirem dados de evaporação na região em estudo.

A primeira análise a ser efetuada é a da situação em que não ocorre chuva no decorrer do tempo, ou esta foi inferior a taxa de evaporação, apresentando um valor negativo da chuva útil (PRUTI). Caso não ocorra precipitação, a taxa de evaporação é satisfeita à custa da umidade do solo UMID, diminuindo quando a UMID for superior a UMIDL, que é um valor representativo da umidade do solo, ocorrendo a evapotranspiração potencial.

A segunda análise a ser efetuada é a comparação entre a UMID e UMIDL. Se a umidade do solo for inferior ou igual a UMIDL, a umidade do solo estará abaixo da capacidade de campo, que é a água drenada para baixo da zona radicular ou para dentro de um dreno não sendo mais disponível para a planta, com isto, PRINF e PEFET serão nulas.

Entretanto, se UMID for superior a UMIDL, ocorre percolação do excedente de água no solo, esta percolação é dada pela seguinte expressão:

$$PRINF = \left(\frac{UMID - UMIDL}{L^{0,3}} \right) \quad \text{Equação 3-2}$$

Onde L é o comprimento total do talvegue principal da bacia dado em km.

O teor de umidade do solo fica diminuído de PRINF e ainda nesta situação a chuva efetiva (PEFET) é nula, não ocorrendo escoamento superficial.

Pode-se verificar a seguir, a hipótese em que UMID é inferior a UMIDL, no primeiro teste. Portanto, pode-se admitir que a parcela restante de evaporação ocorra às expensas da umidade do solo e sendo uma função deste teor de umidade, dado pela seguinte expressão:

$$ER = EP \times \frac{UMID}{UMIDL} \quad \text{Equação 3-3}$$

Onde:

ER = evapotranspiração real ou efetiva;

EP = evapotranspiração potencial;

UMID = teor de umidade do solo na ocasião;

UMIDL = parâmetro de ajustamento do modelo.

Segue-se para um teste sobre o valor de UMID. Se UMID for negativo ou nulo, o teste deve ser anulado, não ocorrendo nenhum tipo de escoamento ao longo do tempo, com isto, fazendo que PEFET e PRINF sejam nulas.

Na situação correspondente à ocorrência de precipitação, vê-se o outro ramo do fluxograma, em que a chuva útil será positiva (PRUTI), logo, é feito um teste de comparação do teor de umidade do solo no momento, com UMIDS, representando a umidade do solo saturado. Se a UMID for inferior a UMIDS, ocorre uma divisão da chuva útil em parcelas, sendo que uma delas irá servir de recarga para o aquífero provocando aumento de UMID, outra parcela percola provocando a realimentação da zona de saturação, e com a parcela restante, formando o escoamento superficial.

A maior ou menor quantidade de água no solo em um determinado instante irá condicionar uma maior ou menor permeabilidade, portanto, podendo ocorrer escoamento superficial sobre um solo que não esteja totalmente umedecido, com isto, sendo necessário apenas que a

precipitação na ocasião seja maior do que a capacidade de infiltração do solo utilizado.

Quanto maior for à altura de precipitação ocorrida ao longo do tempo, maior será UMID, logo, menor será a quantidade de água utilizada na recarga do aquífero, ou seja:

$$R = f \times \frac{1}{UMID} \quad \text{Equação 3-4}$$

$$PRUTI = f'(UMID) \quad \text{Equação 3-5}$$

onde:

R= Recarga

PRUTI = “Chuva útil”

O parâmetro DISTR, além de proporcionar a sensibilidade desejada ao modelo, só opera no caso da ocorrência de pequenas precipitações no intervalo de tempo considerado.

Uma outra alternativa do teste, com o parâmetro UMID igual ou superior a UMIDS0 não ocorre à recarga do aquífero, com isto sem parcela de infiltração e sendo assim, ocorrendo apenas escoamento superficial.

Finalmente, o algoritmo define as parcelas de chuva infiltrada (PRINF) e chuva efetiva (PEFET), em função da quantidade de água restante ao longo do tempo Δt , descontando a evaporação e a recarga do aquífero, ou seja, da chuva útil (PRUTI).

Obtendo-se as seguintes expressões:

$$PRINF = (PRUTI)^{EXPO} \quad \text{Equação 3-6}$$

$$PEFET = PRUTI - PRINF \quad \text{Equação 3-7}$$

Nas duas expressões acima, vê-se que a alimentação da zona de saturação segue uma lei parabólica de grau $1/EXPO$, sendo EXPO um

parâmetro de ajustamento. Já a parcela de infiltração (PRINF) aumenta proporcionalmente pouco para valores elevados de PRUTI no Δt .

A parcela de chuva efetiva (PEFET) também sofre variação parabólica com valores relativamente grandes em períodos que ocorram também grandes precipitações, e valores relativamente baixos para pequenas precipitações.

O parâmetro EXPO distribui os escoamentos aumentando picos das cheias e baixando as vazões dos ramos de depleção, mantendo o deflúvio constante no espaço e Δt simulados.

Após a obtenção das parcelas de chuva infiltrada (PRINF) e chuva efetiva (PEFET), são obtidas as propagações destas alturas de chuva ao longo do tempo através dos operadores RLS e HUSUP que, somadas, fornecem as descargas médias nos intervalos de tempo utilizados a na simulação hidrológica.

$$Q_{total} = Q_{bt} + Q_{st} \quad \text{Equação 3-8}$$

Propagação Subterrânea

O cálculo do escoamento subterrâneo é feito através de uma suposição de efeito de armazenamento do aquífero, assumindo que;

$$S = K \times Q_t \quad \text{Equação 3-9}$$

Onde:

S = escoamento;

K = parâmetro que influi na propagação dos escoamentos;

Q_b = vazão básica de saída.

Juntando-se esta equação á equação da continuidade, obtém-se a equação a ser utilizada em cada intervalo de tempo:

$$Q_{bt} = Q_{bt-1} \times e^{\left(\frac{-t}{k}\right)} + (PRINF)_t \left(1 - e^{\left(\frac{-t}{k}\right)}\right) \quad \text{Equação 3-10}$$

onde PRINF é a “chuva infiltrada”.

O parâmetro K é o inverso do coeficiente de depleção α do rio, pois a lei da depleção é expressa através da equação da função exponencial:

$$Q_t = Q_0 \times e^{-\alpha t} \quad \text{Equação 3-11}$$

Se conhecermos α , K deixará de ser um parâmetro de ajustamento do modelo.

Propagação Superficial

Para o cálculo do escoamento superficial, quando é feito através do hidrograma unitário da bacia, tem -se:

$$Q_{st} = \sum (PEFET)_i \times HU_{t-i+1} \quad \text{Equação 3-12}$$

Onde:

Q_s é a vazão superficial;

PEFET é a chuva efetiva;

HU as ordenadas do hidrograma unitário.

No caso da falta de informações hidrológicas mínimas necessárias, poderá ser utilizado o hidrograma sintético triangular do “Soil Conservation Service” do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América, por exemplo.

Como nesta pesquisa utilizou-se um Reservatório Linear Superficial, o algoritmo então é semelhante ao explicado para o escoamento subterrâneo.

3.5 Parâmetros de Ajustamento do Modelo

Os parâmetros de ajustamento do MOPH –2 são:

- a) SMAX –“parâmetro da interceptação e retenção” – quantidade máxima de água (mm) armazenada superficialmente. Manuais de hidrologia apresentam tabelas com valores de interceptação para diferentes tipos de cobertura vegetal;
- b) UMIDL – “parâmetro do solo umedecido” – quantidade máxima de água (mm) do solo totalmente umedecido;
- c) UMIDS – “parâmetro de saturação do solo” – quantidade máxima de água (mm) no solo saturado. Se forem bem conhecidas as características físicas do solo, poderão ser atribuídos de forma judiciosa os valores de UMIDL e UMIDS que poderiam deixar de ser parâmetros de ajustamento;
- d) CODIS – “ 1º parâmetro de distribuição da água” – só funciona quando existe chuva útil no incremento de tempo ($0 \leq \text{CODIS} \leq 1,0$);
- e) DISTR – “2º parâmetro de distribuição da água” – só funciona quando existe chuva útil no incremento de tempo ($0 \leq \text{DISTR} \leq 1,0$). Proporciona sensibilidade ao modelo no caso de precipitação pequena no Δt ;
- f) “EXPO” – “parâmetro modelador” – age na forma do hidrograma elevando picos e baixando vazões de depleção e vice-versa, mantendo inalterado o volume total escoado;
- g) “ K_{sup} ” – “parâmetro da depleção” – regula as vazões em períodos de estiagem. K é o inverso do coeficiente de depleção α do rio, se este for conhecido, “ K ” pode deixar de ser parâmetro de ajustamento, e

h) " K_{sub} " – "parâmetro de recessão" – regula a recessão do escoamento superficial.

O período de "inicialização" do modelo pode se resumir a poucos meses (2 a 3 meses) desde que o teor de umidade do solo (UMID) seja bem arbitrado ao início das simulações.

Conforme Silveira (1974), quando o teor de umidade do solo está abaixo do ponto de saturação e ocorre uma precipitação, a parcela de água que infiltrou no solo provoca um aumento em seu teor de umidade.

Neste estudo, os parâmetros do modelo foram ajustados pelo método de tentativa e erro segundo os propostos por Silveira (1974),

4 REGIÃO DE ESTUDO

Localizada na fronteira sudoeste do Rio Grande do Sul, a bacia hidrográfica do rio Santa Maria possui área de 15.740 Km², e compreende os seguintes municípios: Santana do Livramento, Dom Pedrito, Lavras do Sul, Rosário do Sul, Cacequi e São Gabriel. Com a aparência semelhante a um “y” invertido, sendo os braços do “y” respectivamente à leste e à oeste, os rios Santa Maria e Ibicuí da Armada, que se encontram junto à cidade de Rosário do Sul. A bacia apresenta sua produção econômica baseada na produção primária, pecuária e no cultivo das lavouras de arroz. Conforme a Figura 4.1, podemos observar as áreas de lavoura orizícola na bacia em estudo.

4.1 Caracterização da bacia hidrográfica do Rio Santa Maria

A bacia apresenta as seguintes coordenadas geográficas: 29° 47' e 31° 36' de Latitude Sul e 54° 00' e 55°32' de Longitude Oeste, com área correspondente a 5,6% da área do Estado do Rio Grande do Sul, de acordo com a Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (FIBGE).

Embora o projeto desenvolvido pela UFSM (2003), tenha modulado uma rede de drenagem da bacia com o estabelecimento de vinte Seções hidrológicas de Referência, apenas quatro dessas apresentaram dados fluviométricos concomitantes com os pluviométricos, nos períodos analisados. Assim, dado que a pesquisa visa verificar a utilidade ou a aplicabilidade de modelos chuva-vazão no gerenciamento da oferta de água, e que isso pressupõe a existência de dados para ajuste dos modelos, as sub-bacias possíveis de utilização na pesquisa são: Azevedo Sodré, com área aproximada de 1240,548 Km², Passo dos Guterrez, com 578,890 Km², Ibicuí da Armada, com 5998,021 Km² e Rosário do Sul com

12101,790 Km². São apresentadas na Figura 4.2 as sub-bacias para esse estudo, juntamente com os postos pluviométricos influentes.

4.2 Aspectos Físicos

De acordo com UFSM (2003), os principais aspectos físicos relacionados são os seguintes:

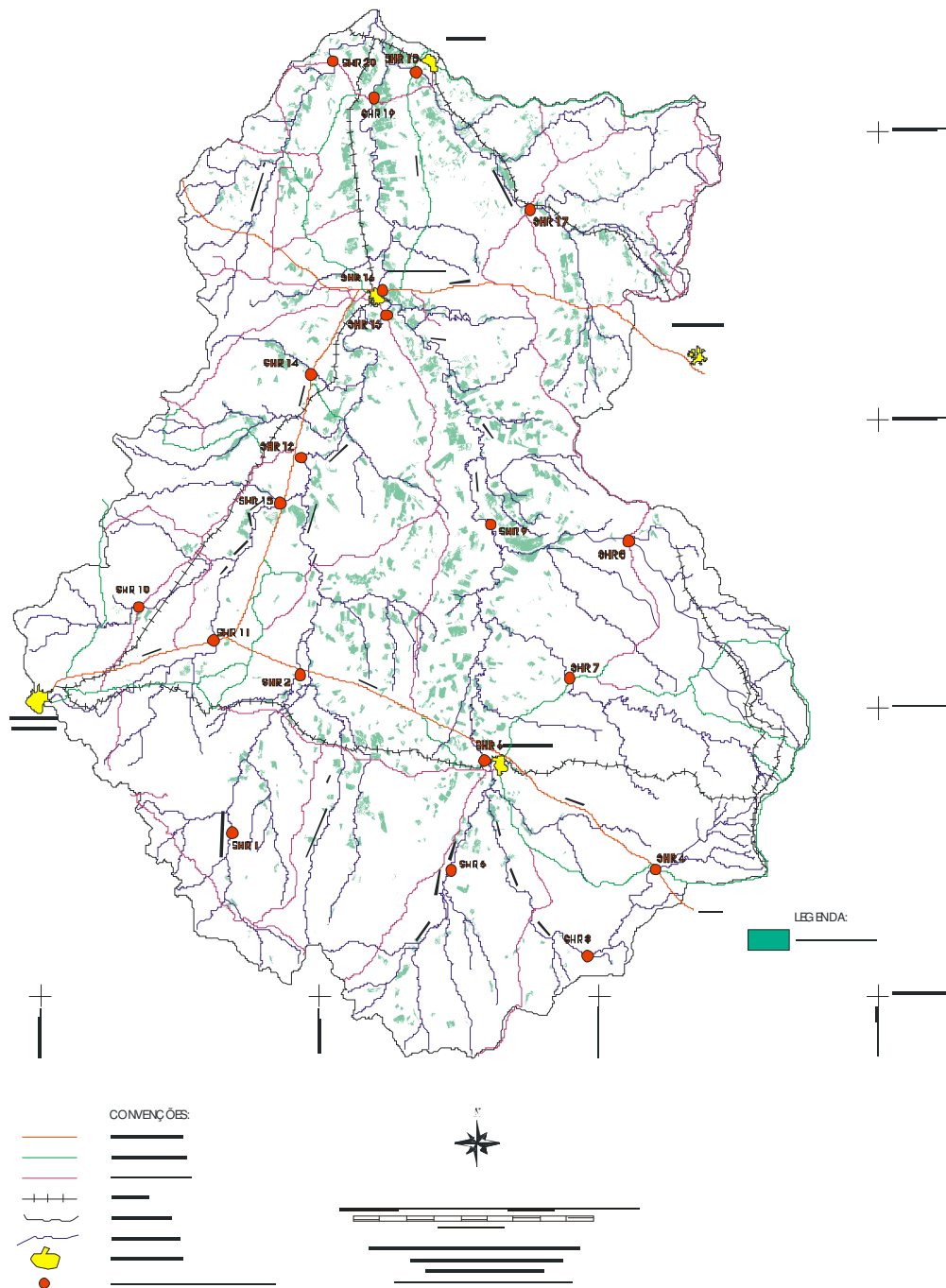
- Geológicos: Maior parte localizada entre o Escudo Sul-Rio-Grandense e o Planalto, delimitada a Oeste pelos contrafortes do Planalto, com ocorrência de rochas Basálticas sobrepostas aos arenitos eólicos. Ao centro, extensas faixas de siltes, argilas e areias. Ao Sudoeste, rochas ígneas e metamórficas do Escudo Riograndense. Na região Nordeste, depósitos quaternários com pequenos afloramentos de basalto.

- Cobertura Vegetal: De acordo com Bourscheid *apud* Arnez (2002, p. 24), 5,7% de áreas de matas de galeria e vegetação de pequeno porte arbóreo, 7,6% de cultivo irrigado e 85% coberta por campo, solo exposto e pastagens.

- Tipo de Solo: Ocorrência do tipo Podzólico e em menor proporção tipo Litólico, não sendo adequados para a irrigação de cultivos. Nas várzeas, Solo tipo Brunizem, Podzólico e Planossolo.

4.3 Dados Hidrometeorológicos

Em uma primeira etapa, na seleção e escolha dos dados a serem utilizados, foram feitas as identificações e a análise das informações existentes através de consulta a banco de dados em levantamentos realizados por entidades como ANEEL, DNAEE, DEPRC E IPAGRO.



MAPA DE LAVOURAS DE ARROZ
 Fonte: Ufsm 2003 Nota: Adaptado para este trabalho.
FIGURA 4-1 Mapa das lavouras orizícolas na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria

Nas Tabelas 4.1 e 4.2 a seguir, apresentam-se às informações referentes aos postos de observação pluviométricos e fluviométricos utilizados neste estudo.

Os períodos com dados disponíveis para cada estação fluviométrica e cada estação pluviométrica, podem ser conhecidos respectivamente nas Tabelas 4.3 e 4.4

4.4 Demanda hídrica na bacia do Rio Santa Maria

A bacia hidrográfica do Rio Santa Maria possui como demanda dominante o consumo de água para a irrigação da lavoura orizícola. O Cadastro realizado pela Bourscheid Engenharia Ltda (1996), apresentou uma área plantada de 275.173,9 ha para o arroz irrigado na bacia do rio Santa Maria. Segundo comentado nos relatórios de UFSM (2003), a relação de cultivo por área é de 3:1, coerente com os sistemas mais adotados na bacia, que trabalha com três cortes de lavoura: um de lavoura do ano, um com resteva de um ano e outro com resteva de dois anos em sistema de rotação arroz-pecuária.

Devido a necessidade de uma estimativa de demanda de água próxima da realidade, UFSM (2003), realizou estudo com uso de técnicas de geoprocessamento através da classificação de imagem de satélite Landsat TM7, de outubro de 2001. Durante esse mês, o estágio do ciclo da lavoura garante que as áreas a serem plantadas na safra estejam com o solo descoberto, facilitando a quantificação das áreas da lavoura.

Através do cruzamento dos mapas das lavouras com o dos tipos de solo, obteve-se a quantidade de ha de lavouras sobre cada tipo de solo. Utilizando a estimativa de demanda de água em função do tipo de solo (Tabela 2.1) UFSM (2003) obteve-se os totais de demandas para cada sub-bacia apresentados na Tabela 4.5

Na primeira coluna da Tabela 4.5, estão as Seções Hidrológicas de Referência correspondentes a cada uma das sub-bacias; nas colunas 2 a

5 as demandas mensais em m³/s correspondentes aos meses de irrigação da lavoura; nas colunas 6 a 9 os volumes mensais em m³ em função de cada área correspondente; e na coluna 10 os volumes totais correspondentes ao período de irrigação.

Tabela 4-1 Postos Fluviométricos - ANEEL

Código	Estação	Município	Lat.	Long.	Período
76300000	Ponte Ibicuí da Armada	Rosário do Sul	30°16'49,63"	54°58'10,04"	76/89
76310000	Rosário do Sul	Rosário do Sul	30°14'30,91"	54°55'00,08"	76/89
76260000	Passo dos Guterres	Dom Pedrito	30°50'40"	54°32'39"	76/89
76360001	Azevedo Sodré	Cacequi	30°06'25"	54°38'20,06"	76/89

Tabela 4-2 Postos Pluviométricos - ANEEL

Código	Estação	Município	Lat.	Long.	Período
3054002	Dom Pedrito	Dom Pedrito	30°58'41"	54°40'33"	69/01
3054007	Rosário do Sul	Rosário do Sul	30°14'49"	54°55'03"	69/01
3054016	Granja Umbu	Rosário do Sul	30°30'52"	55°46'16"	88/01
3055003	Fazenda Encerra	Santana do Livramento	30°41'44"	55°50'28"	76/99
3055005	Santa Rita	Santana do Livramento	30°31'59"	55°07'36"	76/99
2954001	Cacequi	Cacequi	29°52'39"	54°49'24"	43/01
3154003	Torq. Severo	Dom Pedrito	31°01'39"	54°11'04"	76/99
3155001	T.vendas	Dom Pedrito	31°16'30"	55°02'16"	76/99

Tabela 4-3 Postos Fluviométricos: Períodos com dados

CÓDIGO	NOME DA ESTAÇÃO	1970					1980					1990										
76260000	Passo Do Guterres	i	i	i	i	i						i	x	x	x	i						
76300000	Ponte Ibicuí Da Armada											x	x	i	x	x	i	x	x	i	x	i
76310000	Rosário Do Sul (Pcd)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X	x	x
76360001	Azevedo Sodre		i	x	x	x	x	x	i	i	i											

Tabela 4-4 Postos Pluviométricos: Períodos com dados

CÓDIGO	NOME DA ESTAÇÃO	1970					1980									1990										
		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
2953005	Ibic.Arm																									
2954001	Cacequi	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x
3054002	Dom Pedrito	x	x	x	x	i	X	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	i	i	i	i	x	x
3054007	Rosário Do Sul																									
3054016	Granja Umbú		i	x	i	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x
3055003	Faz Encerra		i	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x
3055004	Saicã		i	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	i
3055005	Sta Rita		i	i	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	i	i	i	x
3154003	Torquato Severo		i	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
3155001	Três Vendas		i	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i

x: Dados consistidos – i: Dados Incompletos

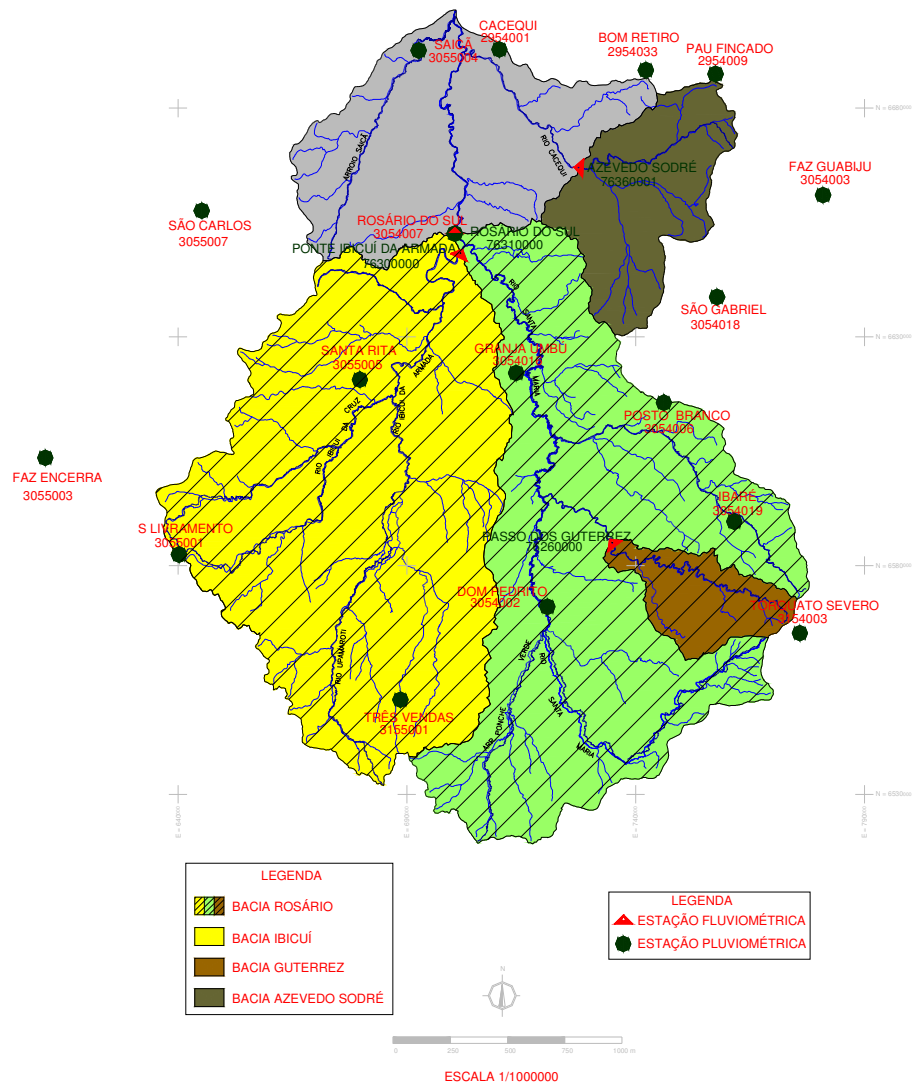


FIGURA 4-2 Bacia hidrográfica do Rio Santa Maria e postos de observação

Arnez (2002), estimou a área irrigada com água oriunda de açudes ou barragens na Bacia do Rio Santa Maria. Tomando-se os dados obtidos por UFSM (2003) e Arnez (2002) e reagrupando-os para as bacias desta pesquisa, organizou-se as Tabelas 4.6, 4.7 e 4.8, que apresentam: i) a demanda total da bacia para cada mês segundo UFSM, (2003); ii) a percentagem da irrigação realizada a partir das barragens, segundo os índices de Arnez (2002); iii) a percentagem de irrigação com derivação direta dos rios e iv) as vazões em m^3/s derivadas dos rios para a irrigação

Tabela 4-5 - Demanda hídrica na bacia.

SUB-BACIA PASSO DOS GUTERREZ									
SHR	Demanda mensal m³/s				Qmédia mensal m³				Vol.total per.irrigação m³
	nov	dez	jan	fev	nov	dez	jan	fev	
7	0	0,03	0,03	0	0	80.352	80.352	0	160.704
TOTAL	0	0,03	0,03	0	0	80352	80352	0	160.704
SUB-BACIA AZEVEDO SODRÉ									
SHR	Demanda mensal m³/s				Qmédia mensal m³				Vol.total per.irrigação m³
	nov	dez	jan	fev	nov	dez	jan	fev	
17	5,31	10,62	9,29	1,47	13.763.520	28.444.608	24.882.336	3.556.224	70.646.688
TOTAL	5,31	10,62	9,29	1,47	13.763.520	28.444.608	24.882.336	3.556.224	70.646.688
SUB-BACIA IBICUÍ DA ARMADA									
SHR	Demanda mensal m³/s				Qmédia mensal m³				Vol.total per.irrigação m³
	nov	dez	jan	fev	nov	dez	jan	fev	
1	0,2	0,4	0,35	0,05	518.400	1.071.360	937.440	120.960	2.648.160
2	5	10	8,75	1,38	12.960.000	26.784.000	23.436.000	3.338.496	66.518.496
11	0,26	0,51	0,45	0,07	673.920	1.365.984	1.205.280	169.344	3.414.528
10	0,18	0,37	0,32	0,05	466.560	991.008	857.088	120.960	2.435.616
8	0,19	0,39	0,34	0,05	492.480	1.044.576	910.656	120.960	2.568.672
14	0,81	1,62	1,42	0,22	2.099.520	4.339.008	3.803.328	532.224	10.774.080
15	20,23	40,46	35,4	5,6	52.436.160	108.368.064	94.815.360	13.547.520	269.167.104
9	8,14	16,28	14,25	2,25	21.098.880	43.604.352	38.167.200	5.443.200	108.313.632
TOTAL	35,01	70,03	61,28	9,67	90.745.920	187.568.352	164.132.352	23.393.664	465.840.288
SUB-BACIA ROSÁRIO DO SUL									
SHR	Demanda mensal m³/s				Qmédia mensal m³				Vol.total per.irrigação m³
	nov	dez	jan	fev	nov	dez	jan	fev	
1	0,2	0,4	0,35	0,05	518.400	1.071.360	937.440	120.960	2.648.160
2	5	10	8,75	1,38	12.960.000	26.784.000	23.436.000	3.338.496	66.518.496
3	0,01	0,03	0,02	0	25.920	80.352	53.568	-	159.840
4	0	0	0	0	-	-	-	-	-
5	1,18	2,36	2,07	0,33	3.058.560	6.117.120	5.544.288	798.336	15.518.304
6	2,91	5,81	5,08	0,8	7.542.720	15.561.504	13.606.272	1.935.360	38.645.856
7	0	0,03	0,03	0	-	80.352	80.352	-	160.704
8	0,19	0,39	0,34	0,05	492.480	1.044.576	910.656	120.960	2.568.672
9	8,14	16,28	14,25	2,25	21.098.880	43.604.352	38.167.200	5.443.200	108.313.632
10	0,18	0,37	0,32	0,05	466.560	991.008	857.088	120.960	2.435.616
11	0,26	0,51	0,45	0,07	673.920	1.365.984	1.205.280	169.344	3.414.528
12	12,41	24,83	21,72	3,44	32.166.720	66.504.672	58.174.848	8.322.048	165.168.288
13	1,76	3,53	3,09	0,49	4.561.920	9.454.752	8.276.256	1.185.408	23.478.336
14	0,81	1,62	1,42	0,22	2.099.520	4.339.008	3.803.328	532.224	10.774.080
15	20,23	40,46	35,4	5,6	52.436.160	108.368.064	94.815.360	13.547.520	269.167.104
16	42,64	85,32	74,65	11,81	110.522.880	228.521.088	199.942.560	28.570.752	567.557.280
TOTAL	95,92	191,94	167,94	26,54	248.624.640	513.888.192	449.810.496	64.205.568	1.276.528.896

Tabela 4-6 - Demandas – Azevedo Sodré

Azevedo Sodré	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro
UFSM (Global) (mm)	11,09478	22,92921	20,05767	2,866674
% Irrigação	52,44%	52,44%	52,44%	52,44%
% direto do rio	47,56%	47,56%	47,56%	47,56%
UFSM (Direto do Rio) (mm)	5,276362	10,90448	9,538854	1,363309

Tabela 4-7 - Demandas – Ibicuí da Armada

Ibicuí da Armada	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro
UFSM (Global) (mm)	15,12931	31,27171	27,36442	3,90023
% Irrigação	81,46%	81,46%	81,46%	81,46%
% direto do rio	18,54%	18,54%	18,54%	18,54%
UFSM (Direto do Rio) (mm)	2,804974	5,797774	5,073363	0,723103

Tabela 4-8 - Demandas – Rosário do Sul

Rosário do Sul	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro
UFSM (Global) (mm)	20,54445	42,46382	37,16892	5,30546
% Irrigação	82,67%	82,67%	82,67%	82,67%
% direto do rio	17,33%	17,33%	17,33%	17,33%
UFSM (Direto do Rio) (mm)	3,560353	7,358979	6,441374	0,919436

5 APLICAÇÃO

A pesquisa foi realizada segundo as etapas:

- a) Preparação dos dados;
- b) Ajuste do Modelo Hidrológico MOPH para períodos sem irrigação;
- c) Simulação do Modelo Hidrológico MOPH para o período de irrigação com parâmetros do período sem irrigação, e
- d) Comparação entre a demanda.

5.1 Preparação dados

Foram inicialmente preparados para simulação dados das quatro sub-bacias do Rio Santa Maria: Azevedo Sodré, Ibicuí da Armada, Passo dos Gutierrez e Rosário do Sul, devido a existência atual ou no passado de séries de vazões. Após verificar as demandas totais (Tabela 4.5) em cada sub-bacia, verificou-se que a sub-bacia Passo dos Gutierrez possuía uma demanda insignificante, a qual dificilmente seria percebida por modelagem. Portanto, as bacias que foram simuladas na pesquisa são: Azevedo Sodré; Ibicuí da Armada; Rosário do Sul.

O cálculo das séries de precipitações médias diárias em cada sub-bacia foi realizado com o método dos Polígonos de Thiessen. As Figuras 5.1, 5.2 e 5.3 apresentam os polígonos de Thiessen para as bacias de estudo. Para a seleção dos períodos úteis para os ajustes (em período de irrigação) e as simulações (em períodos com irrigação), primeiramente observaram-se os períodos concomitantes com dados para as estações de chuva com influência sobre cada sub-bacia e a respectiva estação fluviométrica (ver diagramas de barras nas Tabelas 4.3 e 4.4). As estações pluviométricas utilizadas para o cálculo das séries diárias de

precipitação média em cada sub-bacia estão na Tabela 5.1, onde na quarta coluna são apresentados os respectivos coeficientes de Thiessen.

Tabela 5-1 Estações pluviométricas para as sub-bacias

	Código	Área (Km²)	Coef. De Thiessen
Sub-bacia Azevedo Sodré - Área total da bacia (Km²): 1240,548			
Cacequi	2954001	1240,548	1
Sub-bacia Passo dos Guterrez - Área total da bacia (Km²): 578,890			
Dom Pedrito	3054002	172,147	0,297
Torquato Severo	3154003	406,742	0,703
Sub-bacia Ibicuí da Armada - Área total da bacia (Km²): 5998,02			
Rosário do Sul	3054007	323,287	0,053
Santa Rita	3055005	2363,922	0,394
Fazenda Encerra	3055003	308,042	0,053
Três Vendas	3155001	2002,637	0,333
Dom Pedrito	3054002	445,830	0,074
Granja Umbu	3054016	554,154	0,093
Sub-bacia Rosário do Sul - Área total da bacia (Km²): 12101,79			
Granja Umbu	3054016	1816,19	0,15
Rosário do Sul	3054007	630,263	0,055
Santa Rita	3055005	2346,742	0,193
Fazenda Encerra	3055003	308,046	0,025
Três Vendas	3155001	2639,105	0,218
Dom Pedrito	3054002	3036,255	0,25
Torquato Severo	3154003	1325,243	0,109

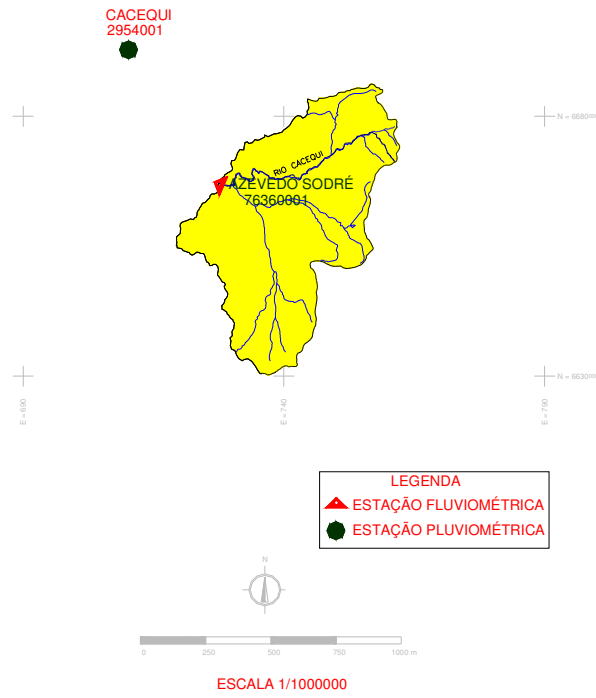


Figura 5-1 Sub-bacia Azevedo Sodré - Polígono de Thiessen

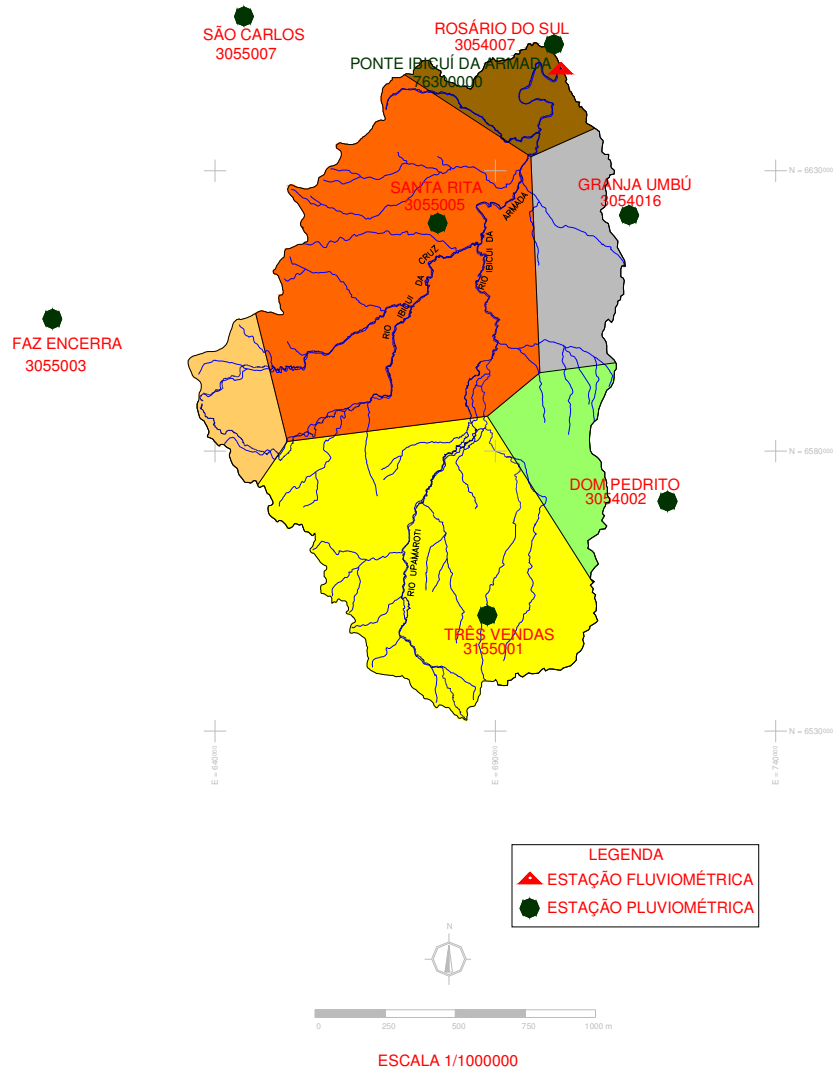


Figura 5-2 Sub-bacia Ibicuí da Armada - Polígono de Thiessen

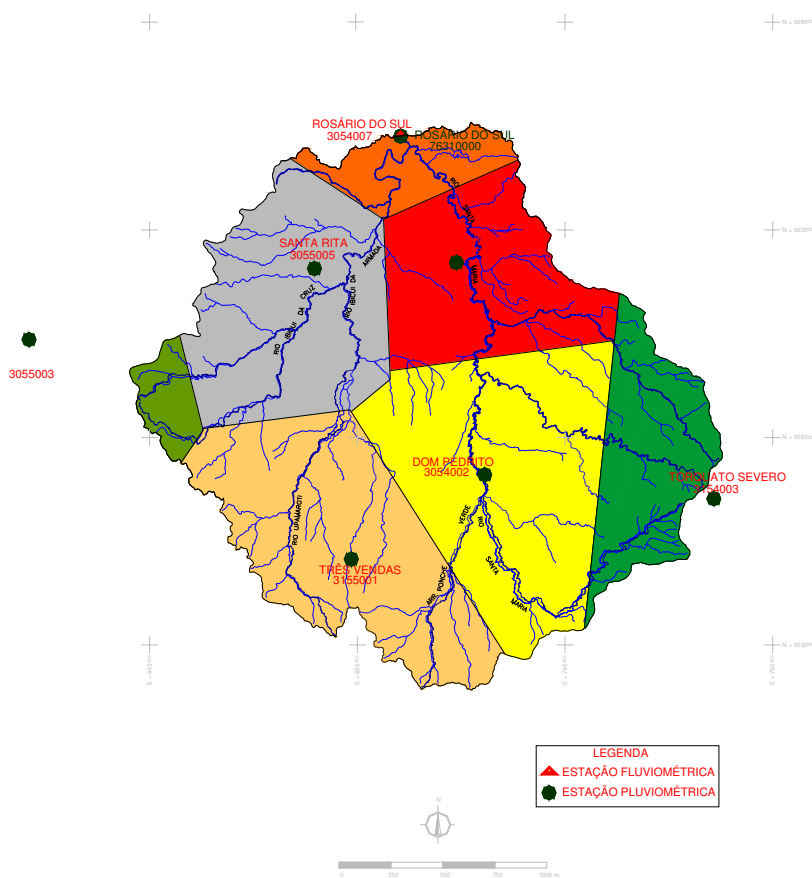


Figura 5-3 Sub-bacia Rosário do Sul - Polígono de Thiessen

5.2 Ajuste do modelo hidrológico para períodos sem irrigação

Para a realização do ajuste do modelo hidrológico a cada sub-bacia foi considerado o período sem irrigação, equivalente aos meses de Março a outubro. Como os dados para ajuste constituem-se de períodos com 8 meses contínuos de dados, entrecortados pelos períodos de irrigação, o procedimento de ajuste adotado foi buscar, para cada período contínuo, um ajuste individual, isto é, para cada ano.

Os anos com dados contínuos de março outubro, concomitantes de chuva e vazão utilizados para o ajuste em cada sub-bacia podem ser conferidos na Tabela 5.2.

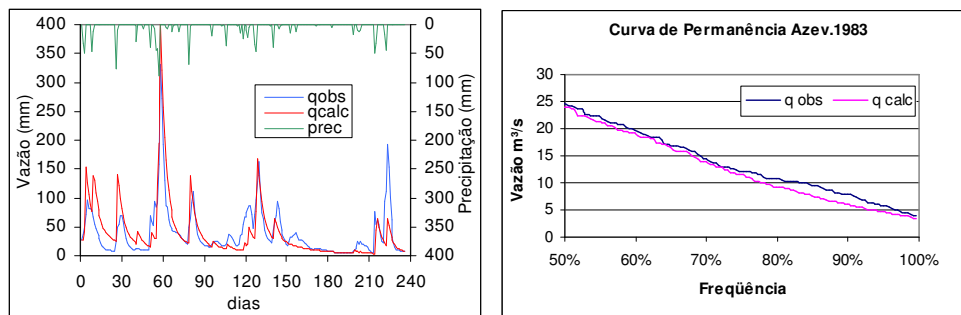
Tabela 5-2 - Anos utilizados no processo de ajuste do modelo para cada sub-bacia

Sub-bacia	Anos com dados
Azevedo Sodré	1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986
Ibicuí da Armada	1987, 1989, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1999
Rosário do Sul	1987, 1988, 1989, 1991, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1999

O processo de ajuste, conforme descrito na metodologia, foi por tentativa. Para conferir a qualidade de cada ajuste, calculou-se o coeficiente de correlação (R^2), de duas formas, um para o fluviograma e outro para a curva de permanência. Como o objetivo do ajuste foi buscar representar o comportamento da bacia em períodos de vazões mínimas, o cálculo de R^2 incidiu somente sobre a porção da curva com permanências maiores que 50 %. Os resultados obtidos para cada sub-bacia constam das Tabelas 5.3 a 5.5, as quais mostram os parâmetros de melhor ajuste para cada ano, e, na última coluna, o conjunto considerado como sendo “de compromisso”. Os hidrogramas calculados e observados dos ajustes para cada sub-bacia podem ser visualizados nas Figuras 5.4 a 5.13.

Tabela 5-3 - AzevedoSodre - Área: 1240,55 Km² L: 52,38 Km

MOPH	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	Parâmetro de Compromisso
SMAX (mm)	10	15	10	15	10	10	10	10	10	10	10
UMIDS (mm)	140	130	130	140	140	130	130	130	130	140	130
UMIDL (mm)	120	110	110	100	100	120	100	100	100	100	110
CODIS	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
DISTR	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
EXPO	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Ktanque	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Ksub (dias)	30	25	30	30	30	30	30	35	35	30	30
Ksup (dias)	3	3	5	4	3	3	4	3	4	5	3
R ² - hidro	0,4883	0,3108	0,3429	0,3926	0,6223	0,4739	0,5140	0,7013	0,6237	0,6306	
R ² 50% CP	0,2599	-2,9942	-0,1934	0,9759	0,7284	0,7598	0,9606	0,8474	0,5007	0,5827	

**Figura 5-4 Ajuste do Modelo - Sub-bacia Azevedo Sodré - março a outubro - 1983**

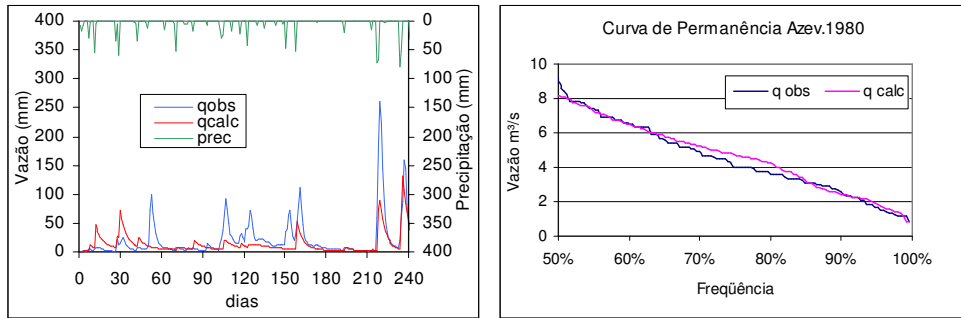


Figura 5-5 - Ajuste do Modelo - Sub-bacia Azevedo Sodrê - março a outubro – 1980

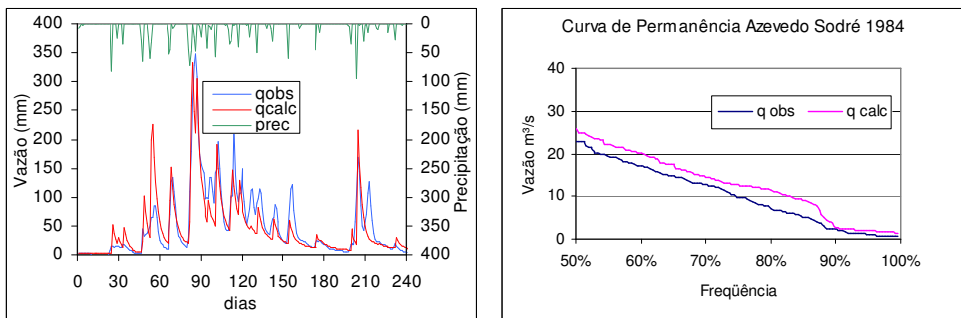


Figura 5-6 - Ajuste do Modelo - Sub-bacia Azevedo Sodrê - março a outubro – 1984

Tabela 5-4 - Ibicuí da Armada - Área: 5998,02 Km² – L: 196,52 km

MOPH	1987	1989	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1999	Parâmetro de Compromisso
SMAX (mm)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
UMIDS(mm)	140	140	140	150	130	140	140	120	140	140
UMIDL (mm)	100	100	130	100	100	110	100	100	100	100
CODIS	0,4	0,7	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
DISTR	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
EXPO	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Ktanque	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
L (Km)	196,52	196,52	196,52	196,52	196,52	196,52	196,52	196,52	196,52	196,52
Ksub (dias)	40	40	45	45	35	40	35	35	40	40
Ksup (dias)	5	4	5	5	5	3	5	5	5	5
R ² - hidro	0,5435	(2,0092)	0,2875	0,7954	0,8144	0,2219	0,4300	(0,0257)	0,4381	
R ² 50% CP	0,8843	-1,0333	0,2499	0,7307	0,5740	0,9105	-0,5828	0,9610	0,3099	

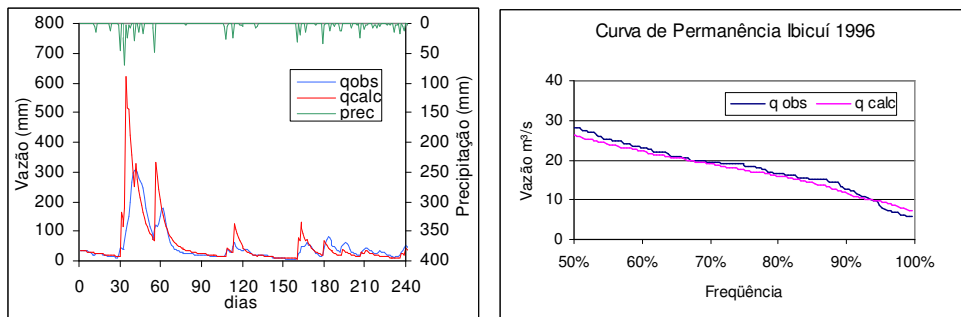


Figura 5-7- Ajuste do Modelo - Sub-bacia Ibicuí da Armada - março a outubro - 1996

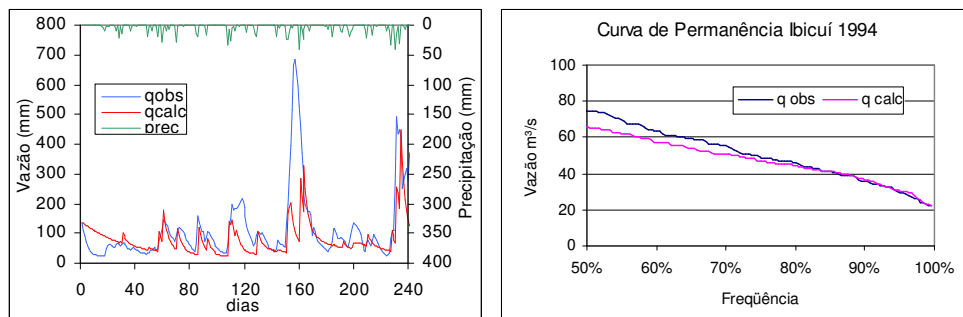


Figura 5-8 – Ajuste do Modelo - Sub-bacia Ibicuí da Armada – março a outubro - 1994

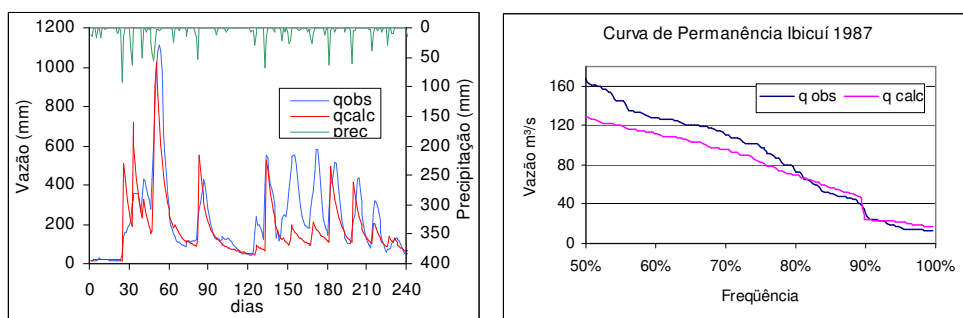


Figura 5-9 – Ajuste do Modelo - Sub-bacia Ibicuí da Armada – março a outubro - 1987

Tabela 5-5 - Rosário do Sul - Área: 12101,79 km² – L: 253,54 Km

MOPH	1987	1988	1989	1991	1993	1994	1995	1996	1997	1999	Parâmetro de Compromisso
SMAX (mm)	20	20	20	20	20	15	20	20	20	15	20
UMIDS(mm)	140	140	140	140	140	130	120	130	130	140	140
UMIDL (mm)	100	100	100	100	100	100	100	120	100	100	100
CODIS	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
DISTR	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
EXPO	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Ktanque	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
L (Km)	253,54	253,54	253,54	253,54	253,54	253,54	253,54	253,54	253,54	253,54	253,54
Ksub (dias)	40	40	40	40	40	40	40	30	30	40	40
Ksup (dias)	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
R ² - hidro	0,2357	0,5252	-0,1508	0,5830	0,6793	0,2220	0,5409	0,5976	0,3533	0,3565	
R ² 50% CP	0,8062	-8,1443	0,2981	0,9169	0,7392	0,5945	-1,7149	-0,1878	-0,9546	0,8175	

- Parâmetro de compromisso - ** 50% da Curva de Permanência - *** Fluviograma

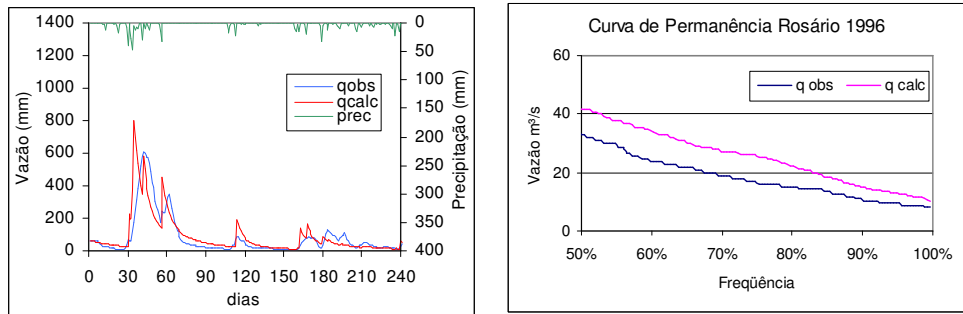


Figura 5-10 Ajuste do Modelo - Sub-bacia Rosário do Sul - março a outubro - 1996

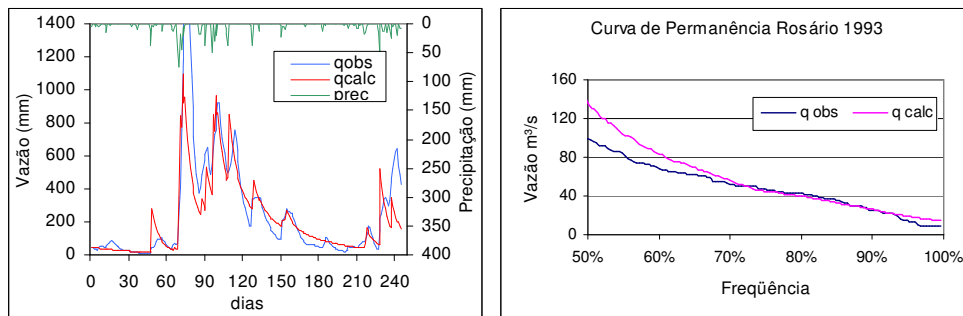


Figura 5-11 Ajuste do Modelo - Sub-bacia Rosário do Sul - março a outubro - 1993

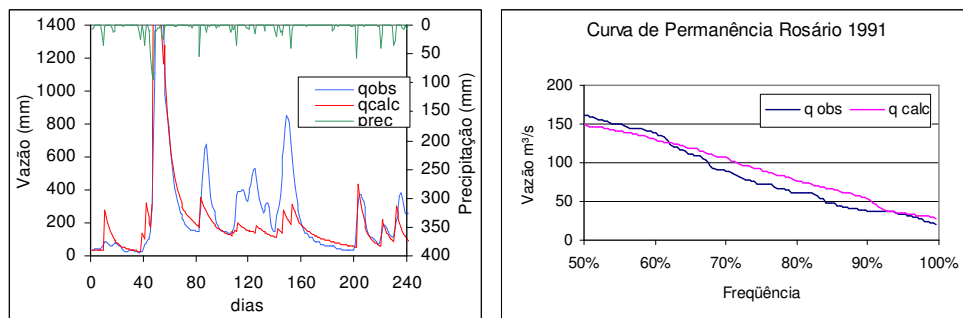


Figura 5-12 Ajuste do Modelo - Sub-bacia Rosário do Sul - março a outubro - 1991

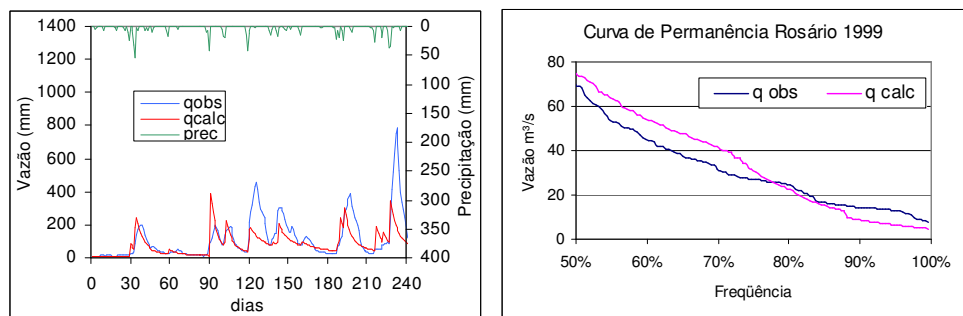


Figura 5-13 Ajuste do Modelo - Sub-bacia Rosário do Sul - março a outubro - 1999

5.3 Simulação do modelo ajustado para períodos com irrigação e análise dos resultados

A idéia contida na metodologia é que a série simulada com parâmetros obtidos no período sem irrigação representa o comportamento natural da bacia e, portanto, pode ser utilizada para estimar a disponibilidade hídrica natural da bacia nos meses com irrigação, caso não houvesse a prática da irrigação.

Assim, neste item serão apresentados os resultados da simulação obtidos neste estudo com suas respectivas análises.

Os parâmetros utilizados para as simulações em cada bacia constam na Tabela 5.6

O período em que há disponibilidade de dados de chuva para os períodos de irrigação, de novembro a fevereiro, utilizadas para as simulações, podem ser vistos na Tabela 5.7. Os períodos de chuva foram selecionados concomitantes com séries observadas de vazão. O objetivo foi simular vazões que serão comparadas com valores históricos. Esta comparação permite através de seu resíduo, avaliar a ordem de grandeza do consumo hídrico no período de irrigação.

Tabela 5-6 Parâmetros de compromisso do modelo MOPH ajustados para cada sub-bacia

MOPH	Azevedo Sodré	Ibicuí da Armada	Rosário
SMAX (mm)	10	15	20
UMIDS(mm)	130	140	140
UMIDL (mm)	110	100	100
CODIS	0,5	0,4	0,5
DISTR	0,5	0,5	0,5
EXPO	0,5	0,5	0,6
Ktanque	0.9	0,9	0,9
L (Km)	52,38	196,52	253,54
Area (km2)	1240,55	5998,02	12101,79
Ksub (dias)	30	40	40
Ksup (dias)	3	5	5

Tabela 5-7 - Anos (Eventos) utilizados para a simulação do modelo para cada sub-bacia

Sub-bacia	Anos com dados
Azevedo Sodre	(1977-1978) (1978-1979) (1979-1980)(1980-1981)(1981-1982)(1983-1984)(1982-1983)(1984-1985)(1985-1986)(1986-1987)
Ibicuí da Armada	(1987-1988) (1988-1989)(1989-1990) (1991-1992)(1993-1994) (1994-1995)(1995-1996) (1996-1997)(1997-1998) (1999-2000)
Rosário do Sul	(1987-1988) (1988-1989)(1989-1990) (1991-1992)(1993-1994) (1994-1995)(1995-1996) (1996-1997) (1999-2000)

Para realizar as análises dos resultados, primeiramente faz-se algumas observações:

- i. os ajustes do modelo foram realizados objetivando o melhor ajuste para as vazões mínimas;
- ii. as permanências das vazões médias observadas e calculadas, tanto sob a ótica das curvas de permanências observadas como das calculadas, e para as três bacias estudadas, são sistematicamente, na maioria dos anos com dados muito baixas e bem menores que 50%, isto implica em vazões médias e altas fora do espectro do objetivo do ajuste.
- iii. os meses de dezembro e janeiro são meses caracterizados pela menor oferta hídrica com vazões de permanências elevadas e
- iv. Observa-se que as demandas no mês de novembro são relativamente pequenas frente aos meses de dezembro e janeiro.

Considerando-se as observações anteriores, optou-se por excluir das análises os resultados referentes ao mês de novembro. Da mesma forma para o mês de fevereiro, pois embora em muitos anos observados a oferta hídrica fosse pequena, as incertezas oriundas do próprio ajuste do modelo podem gerar desvios da mesma ordem de grandeza.

Portanto, somente serão apresentadas as análises das simulações para os meses de dezembro e janeiro, cuja a oferta hídrica é pequena e as respectivas demandas de lavoura muito elevadas.

Nos itens a seguir serão apresentados os resultados e análises das simulações obtidas com o modelo para o período de irrigação.

5.3.1 Azevedo Sodré

As Figuras 5.14 a 5.23 apresentam as simulações realizadas para a bacia de Azevedo Sodré, representando o fluviograma observado, o hidrograma calculado e as respectivas precipitações à esquerda e, as curvas de permanência observadas e calculadas à direita.

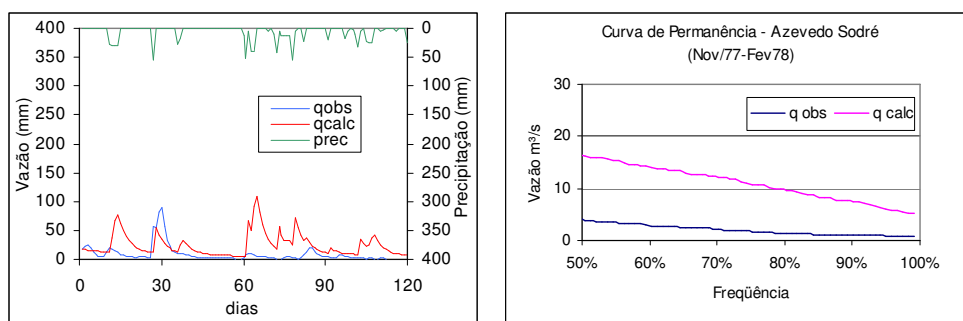


Figura 5-14 - Azevedo Sodré – Simulação nov/77 – fev/78

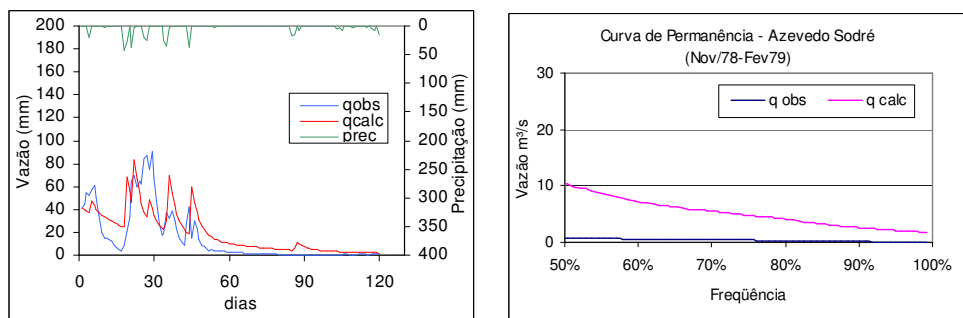


Figura 5-15 - Azevedo Sodré – Simulação nov/78 – fev/79

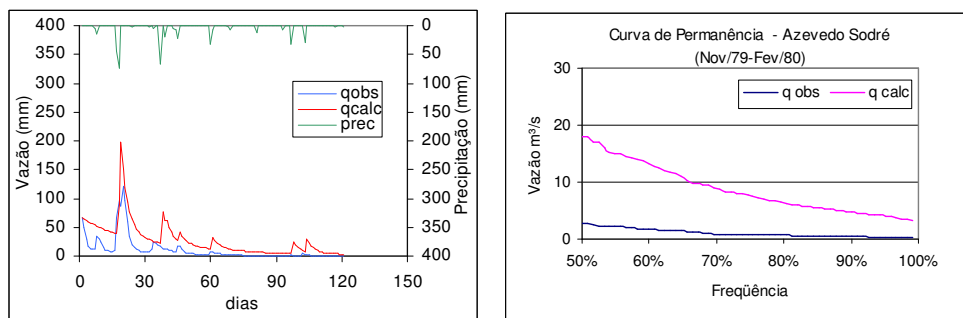


Figura 5-16 - Azevedo Sodré – Simulação nov/79 – fev/80

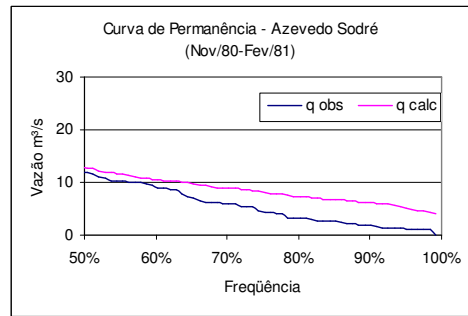
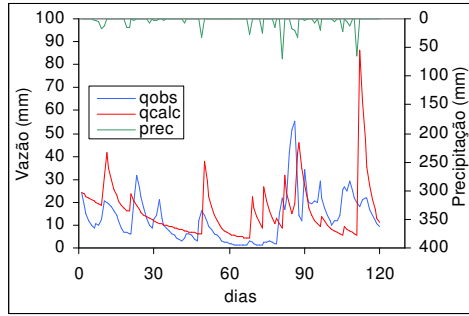


Figura 5-17 - Azevedo Sodré – Simulação nov/80 – fev/81

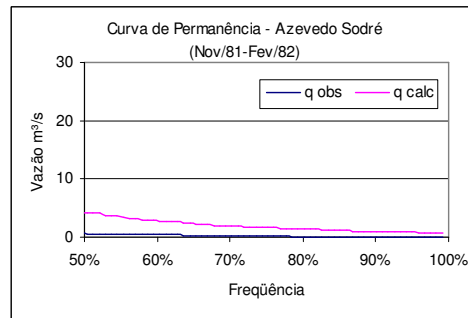
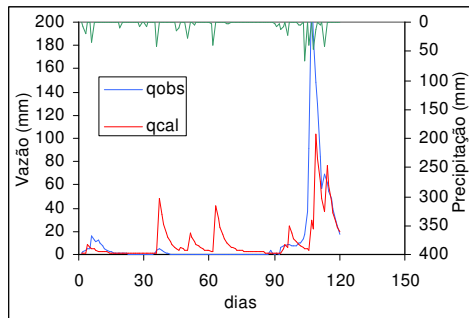


Figura 5-18 - Azevedo Sodré – Simulação nov/81 – fev/82

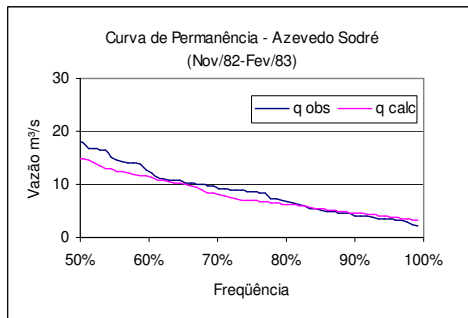
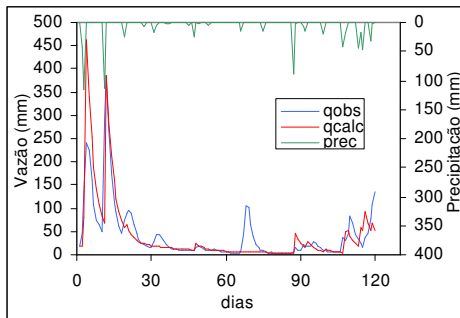


Figura 5-19 - Azevedo Sodré – Simulação nov/82 – fev/83

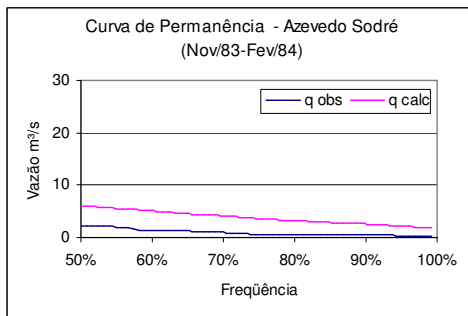
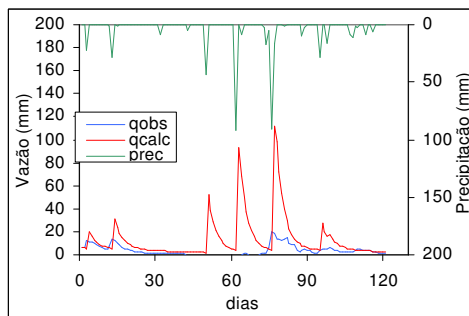


Figura 5-20 - Azevedo Sodré – Simulação nov/83 – fev/84

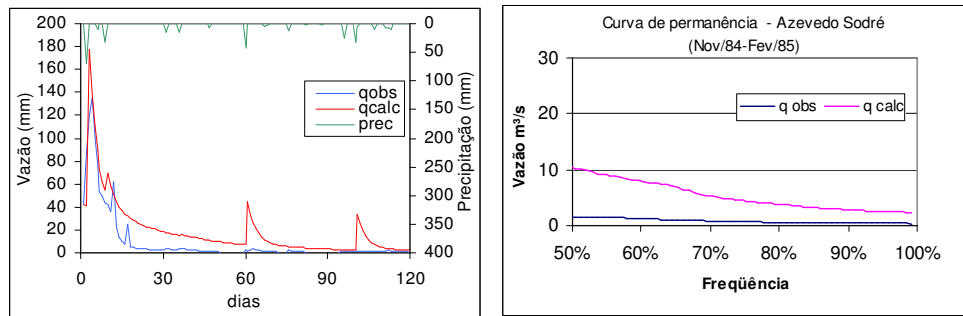


Figura 5-21 - Azevedo Sodré – Simulação nov/84 – fev/85

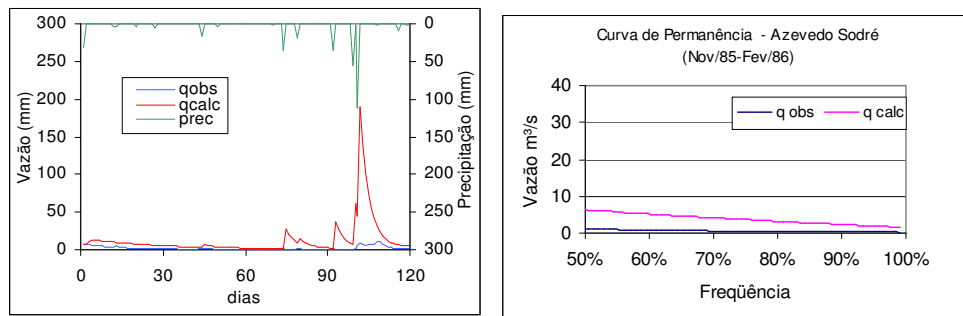


Figura 5-22 - Azevedo Sodré – Simulação nov/85 – fev/86

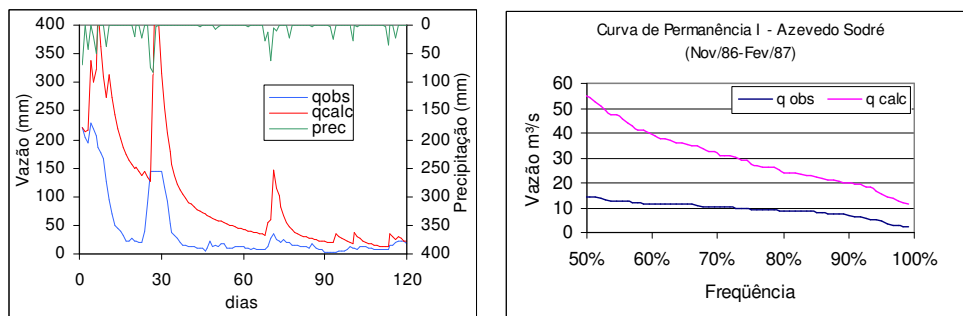


Figura 5-23 - Azevedo Sodré – Simulação nov/86 – fev/87

Uma síntese das simulações é apresentada nas Figuras 5.24 e 5.25: para cada período de irrigação simulado, para os meses de dezembro e janeiro, a diferença entre os totais escoados e os totais calculados, a respectiva média, a demanda total da irrigação e a demanda derivada dos rios. Observando-se o período de 86/87, nota-se que o período inicial da simulação foi com vazões elevadas. As permanências da vazão média de novembro é da ordem de 13%. Esse fato deve ter influenciado os resultados dos meses seguintes, dezembro e janeiro. Para os períodos de

77/78, 82/83 e 83/84 observa-se uma falta de representatividade espacial da curva.

Em janeiro de 77 e 82, observa-se uma chuva muito pequena enquanto uma boa elevação das vazões ocorria no rio. Isto é muito possível ocorrer, pois janeiro é tradicionalmente um mês com ocorrência de chuvas convectivas.

Assim para consideração das análises esses anos foram excluídos.

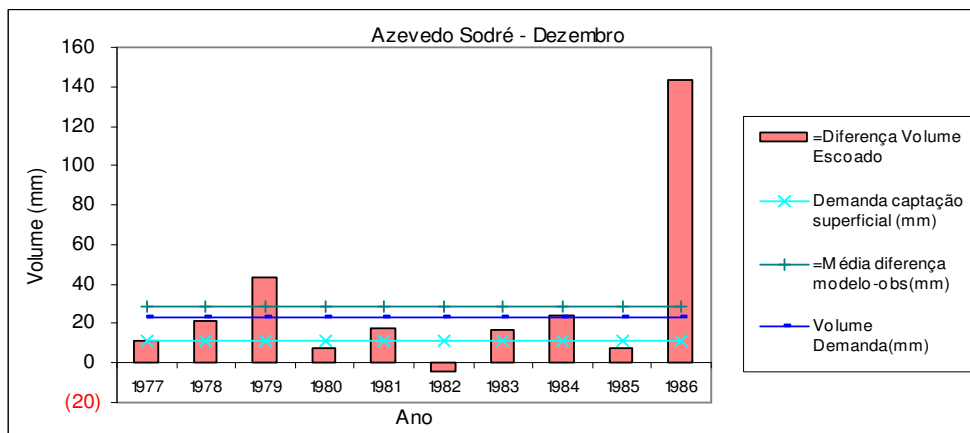


Figura 5-24 - Azevedo Sodré: Síntese da Simulação do mês de Dezembro

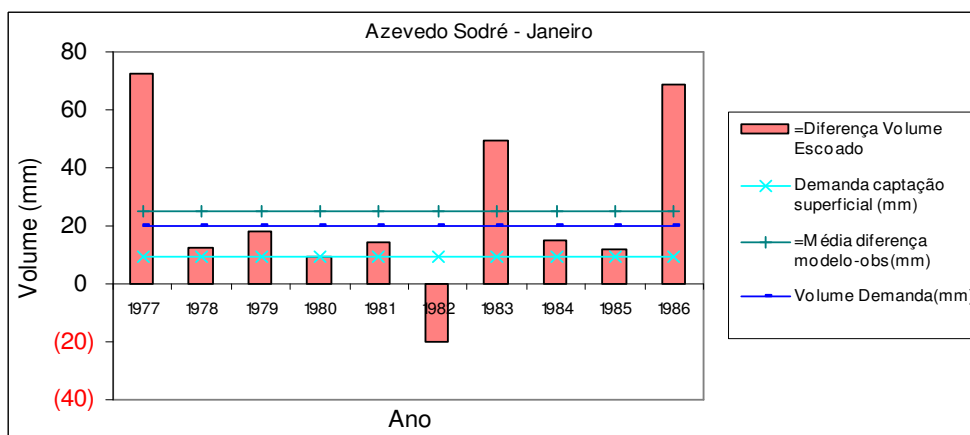


Figura 5-25 - Azevedo Sodré: Síntese da Simulação do mês de Janeiro

As Figuras 5.26 e 5.27 reaperentam a síntese das simulações, sem os períodos criticados.

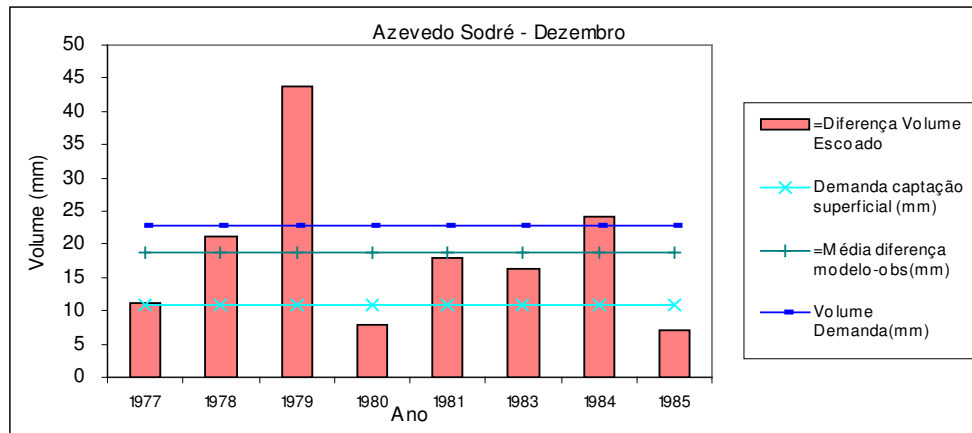


Figura 5-26 - Azevedo Sodré: Síntese da Simulação do mês de Dezembro

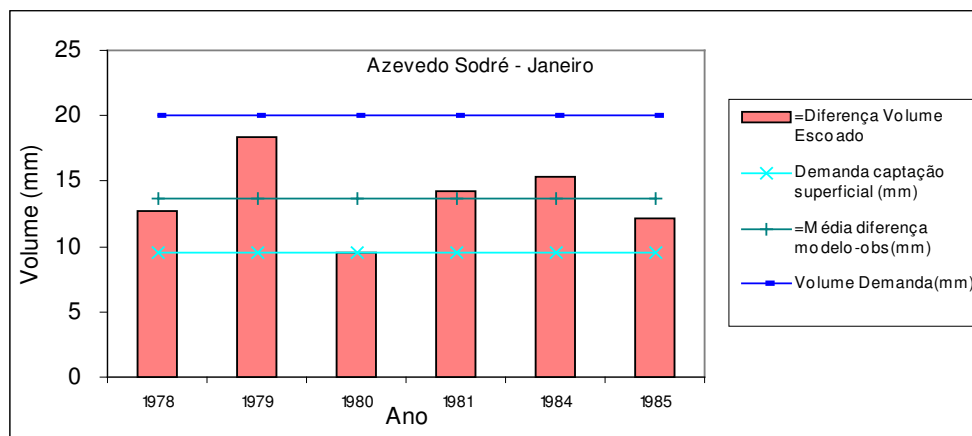


Figura 5-27 - Azevedo Sodré: Síntese da Simulação do mês de Janeiro

Observa-se que a partir dos valores médios na bacia de Azevedo Sodré que em dezembro o percentual que o balanço entre as vazões calculadas menos as vazões observadas representa 81,6% da demanda global da irrigação. Significa consumo de apenas 18,4% suprido pelos açudes, um valor bem inferior ao estimado por Arnez (2002), ou seja, os resultados podem estar indicando que:

- O uso da água dos rios para a irrigação é superior à estimativa realizada em Arnez (2002);
- No mês de dezembro, o modelo também pode estar indicando que os açudes devem estar retendo parte dos escoamentos para uso nos

meses seguintes. O valor de janeiro (68,24%) menor que dezembro é um fator que corrobora com esta hipóteses.

5.3.2 Ibicuí da Armada

As Figuras 5.28 a 5.37 apresentam as simulações realizadas para a bacia de Ibicuí da Armada.

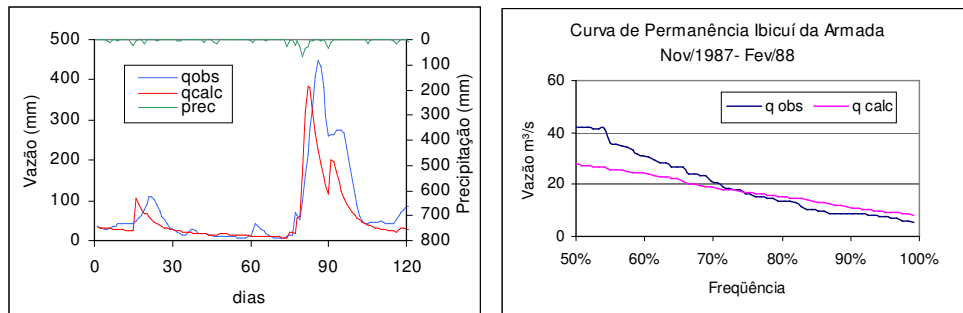


Figura 5-28 - Ibicuí da Armada:: Simulação nov/87 – fev/88

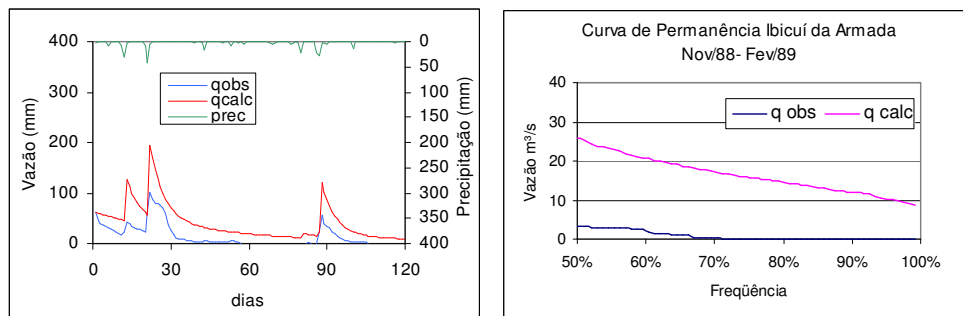


Figura 5-29 - Ibicuí da Armada:: Simulação nov/88 – fev/89

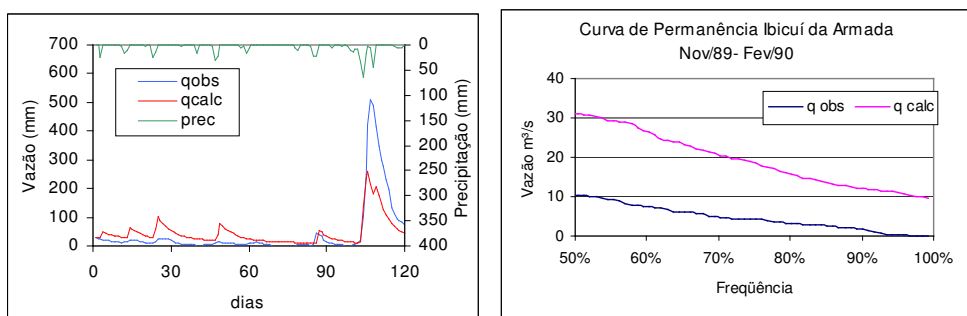


Figura 5-30 - Ibicuí da Armada:: Simulação nov/89 – fev/90

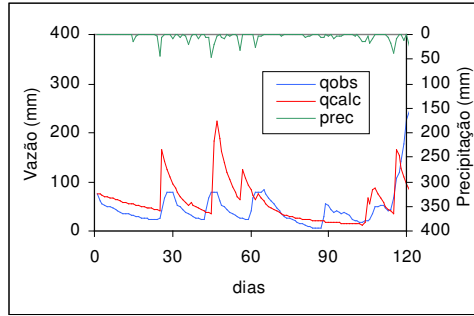


Figura 5-31 - Ibicuí da Armada:: Simulação nov/91 – fev/92

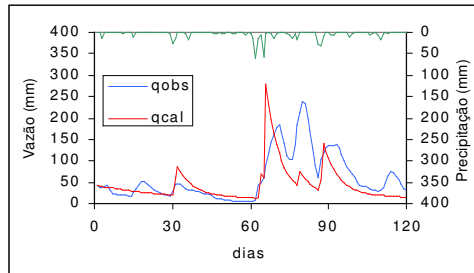
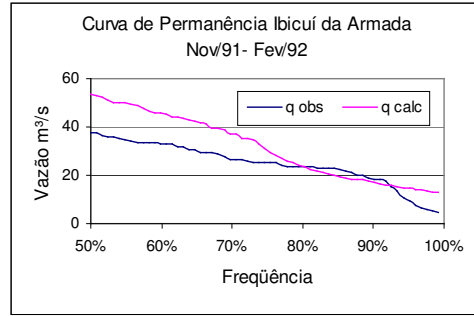


Figura 5-32 - Ibicuí da Armada:: Simulação nov/92 – fev/93

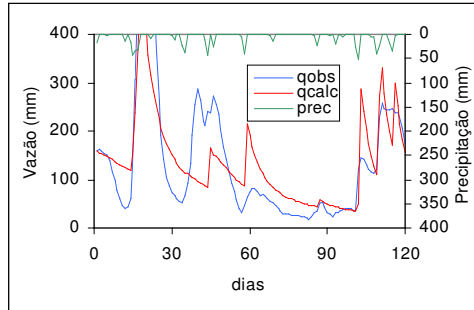
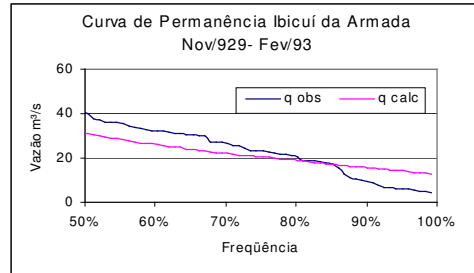


Figura 5-33 - Ibicuí da Armada:: Simulação nov/93 – fev/94

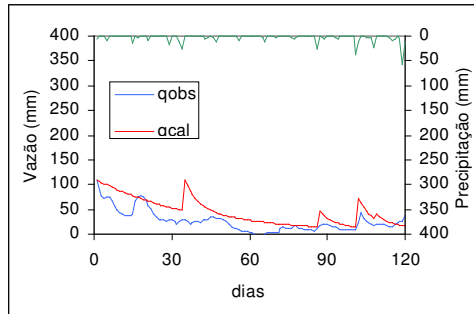
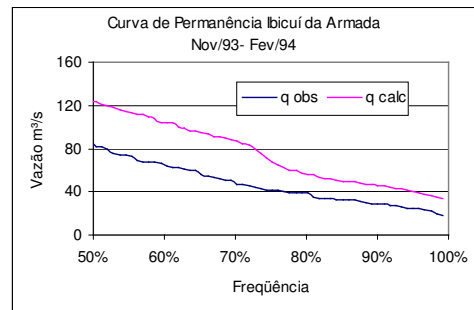
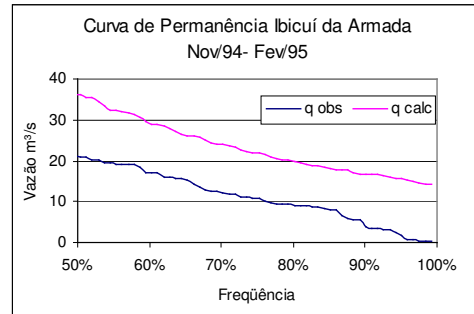


Figura 5-34 - Ibicuí da Armada:: Simulação nov/94– fev/95



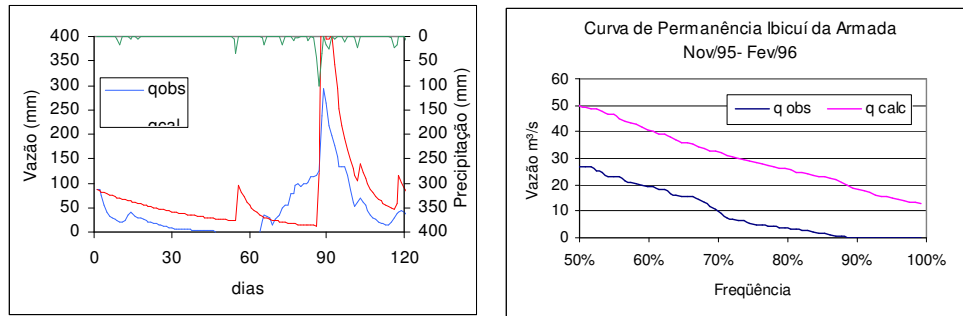


Figura 5-35 - Ibicuí da Armada:: Simulação nov/95 – fev/96

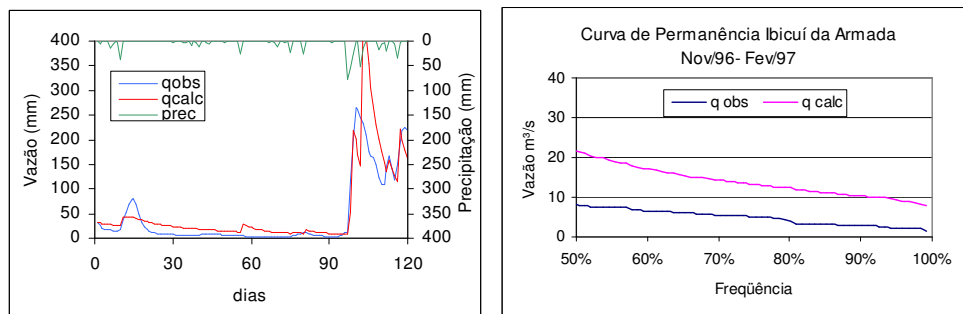


Figura 5-36 - Ibicuí da Armada:: Simulação nov/96 – fev/97

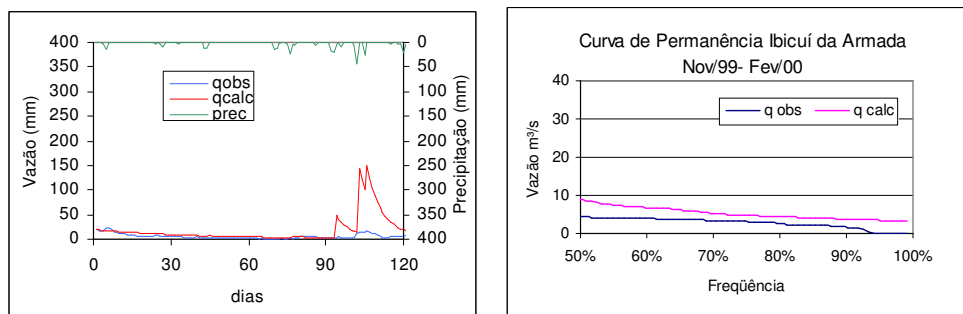


Figura 5-37 - Ibicuí da Armada:: Simulação nov/99 – fev/00

As Figuras 5.38 e 5.39 apresentam a síntese das simulações com as diferenças entre os valores calculados pelo modelo e os valores observados ano a ano e respectivas médias.

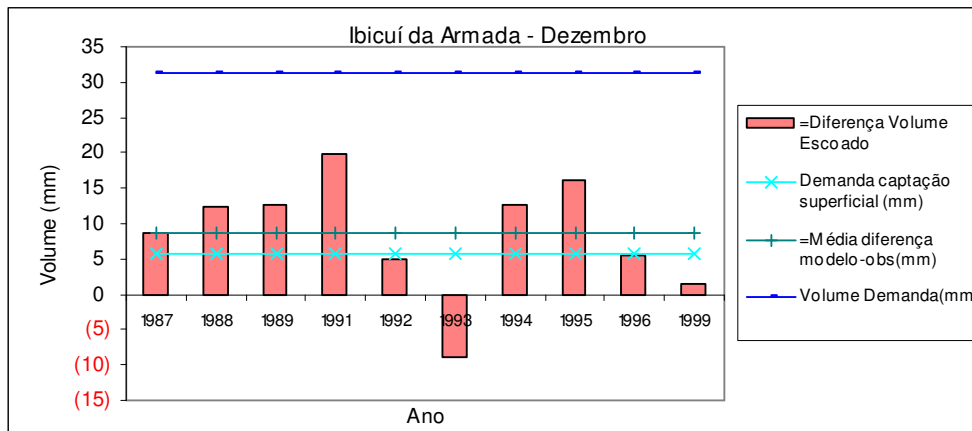


Figura 5-38 - Ibicuí da Armada: Síntese da Simulação do mês de Dezembro

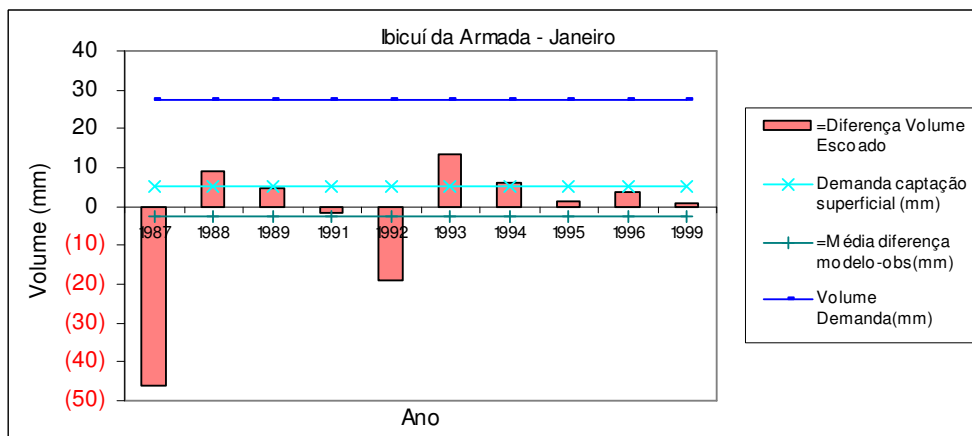


Figura 5-39 - Ibicuí da Armada: Síntese da Simulação do mês de Janeiro

Para dezembro de 1991 existe uma evidência de que as chuvas médias reais na bacia tenham sido menores que as observadas. Em dezembro de 1993 ocorre exatamente o contrário

No período de 87/88, o mês de janeiro foi muito úmido com vazões observadas de baixa permanência. Já no período de 92/93 o que parece ter ocorrido em janeiro é a falta de representatividade das chuvas observadas. Assim, com essa consistências dos eventos, optou-se por eliminar os períodos citados.

As Figuras 5.40 e 5.41 reaperentam a síntese das simulações, sem os períodos criticados.

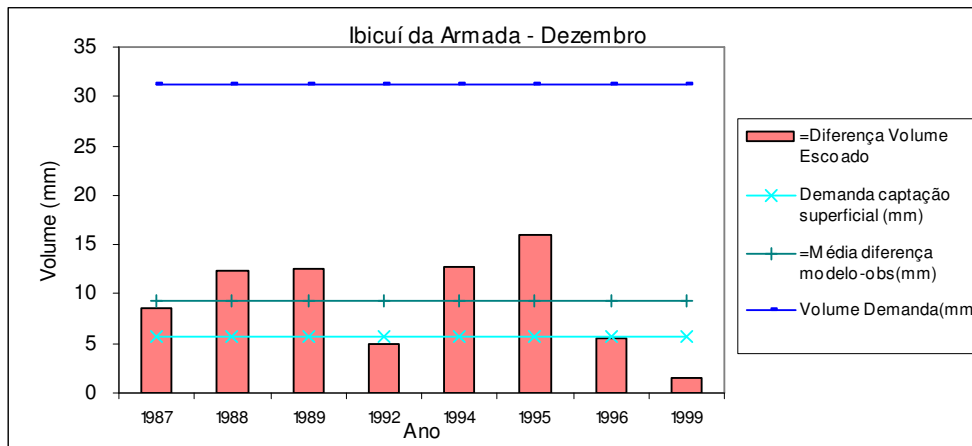


Figura 5-40 - Ibicuí da Armada: Síntese da Simulação do mês de Dezembro

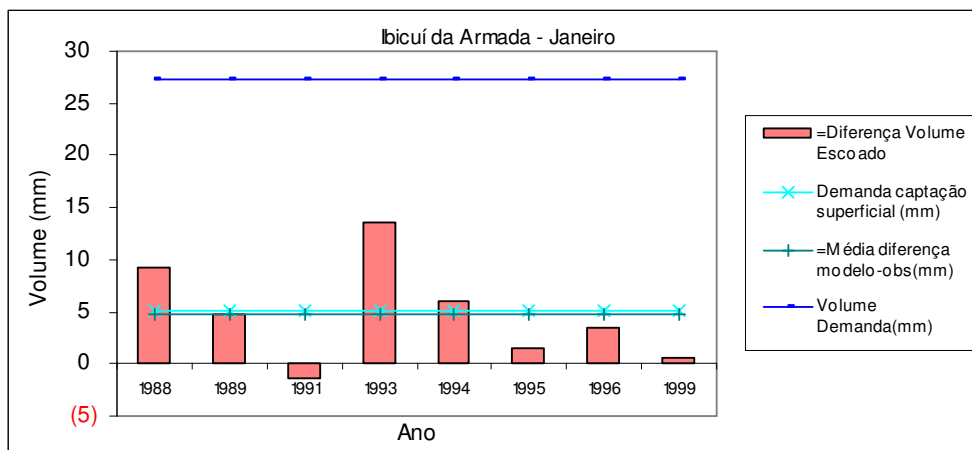


Figura 5-41 - Ibicuí da Armada: Síntese da Simulação do mês de Janeiro

Em dezembro a demanda dos rios representa 29,7% da demanda total, superior aos percentuais obtidos por Arnez (2002), podendo indicar que parte da água do rio está sendo usada para enchimento dos açudes

Já para janeiro, o modelo com 17,1% se aproxima das estimativas de Arnez (2002)

5.3.3 Rosário do Sul

As Figuras 5.42 a 5.51 apresentam as simulações realizadas para a bacia de Rosário do Sul.

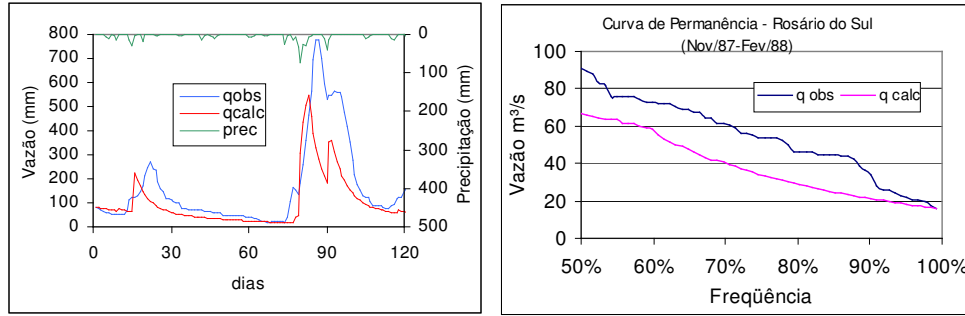


Figura 5-42 - Rosário do Sul:: Simulação nov/87 – fev/88

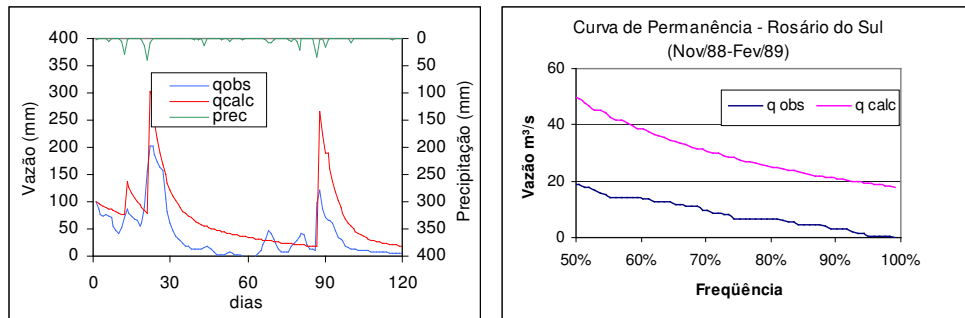


Figura 5-43 - Rosário do Sul:: Simulação nov/88 – fev/89

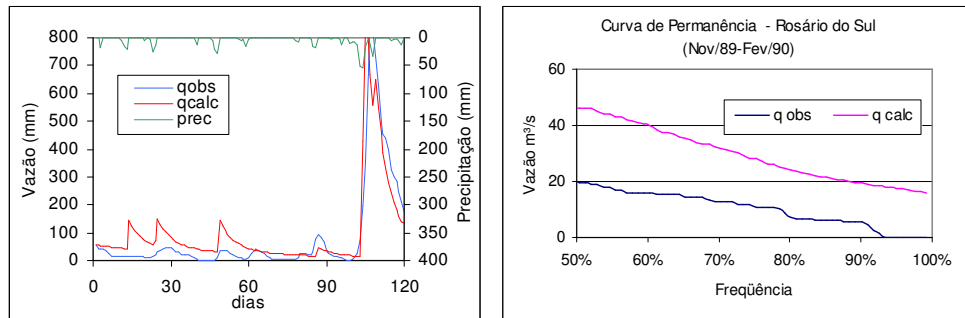


Figura 5-44 - Rosário do Sul:: Simulação nov/89 – fev/90

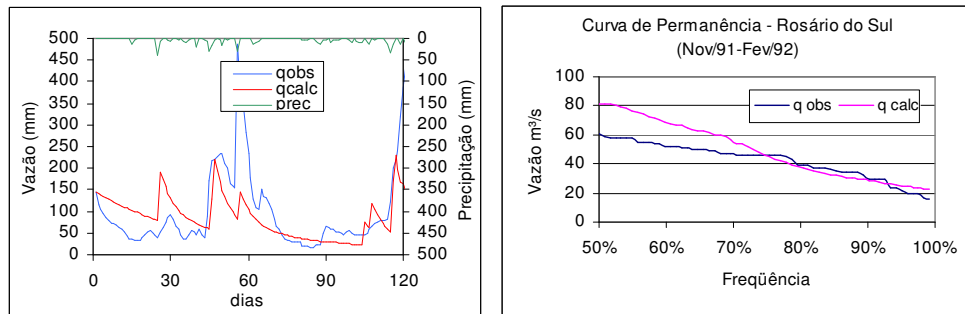


Figura 5-45 - Rosário do Sul:: Simulação nov/91 – fev/92

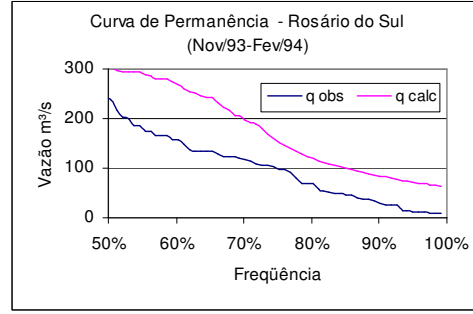
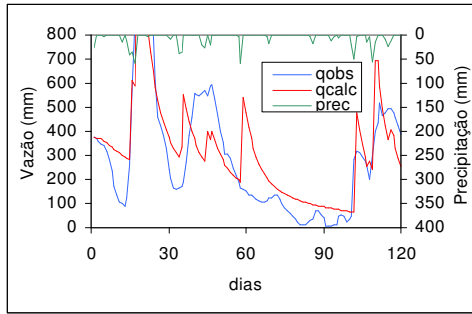


Figura 5-46 - Rosário do Sul:: Simulação nov/93 – fev/94

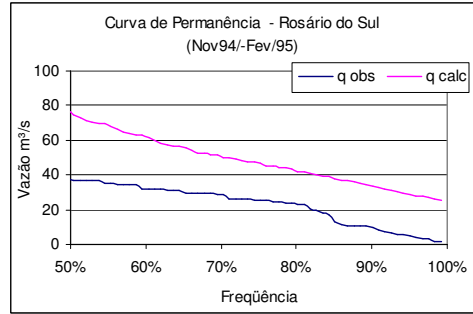
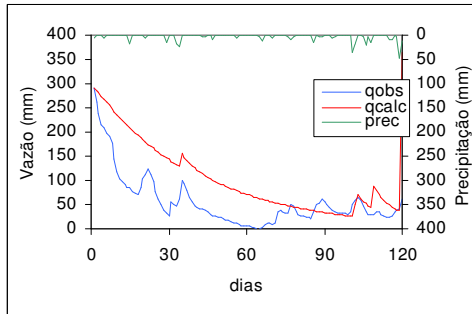


Figura 5-47 - Rosário do Sul:: Simulação nov/94 – fev/95

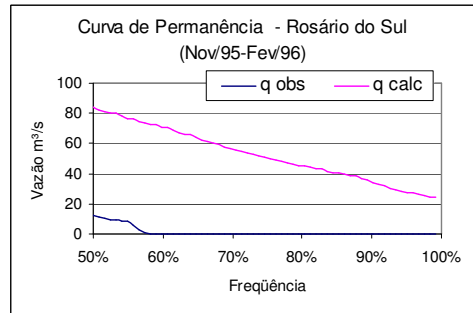
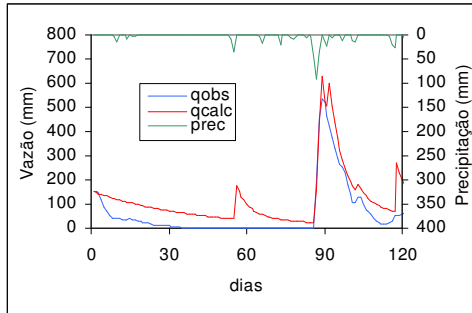


Figura 5-48 - Rosário do Sul:: Simulação nov/95 – fev/96

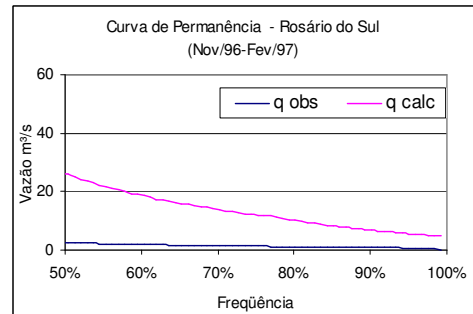
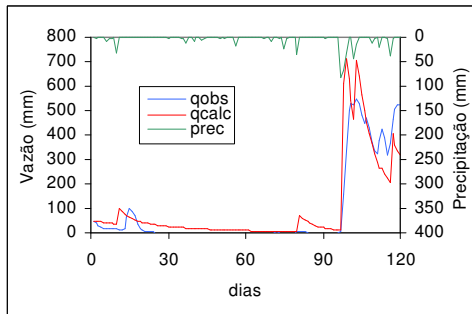


Figura 5-49 - Rosário do Sul:: Simulação nov/96 – fev/97

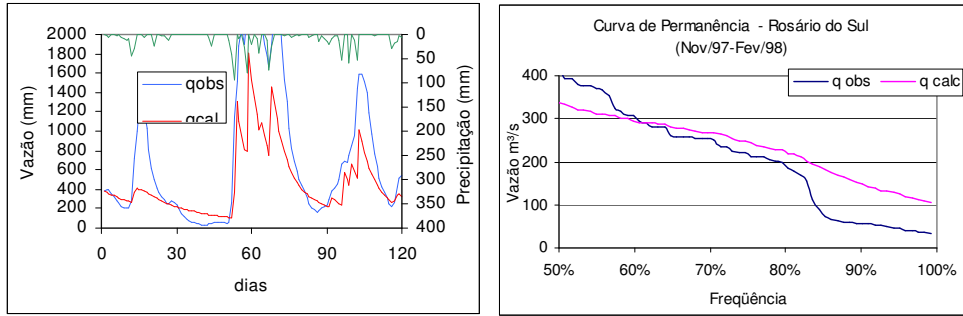


Figura 5-50 - Rosário do Sul:: Simulação nov/97 – fev/98

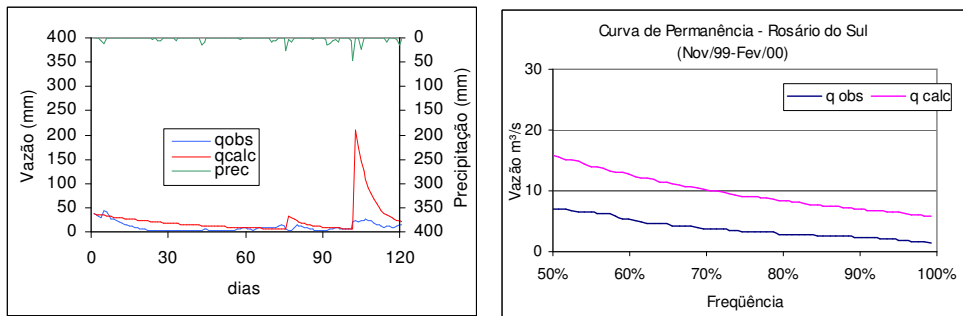


Figura 5-51 - Rosário do Sul:: Simulação nov/99 – fev/00

As Figuras 5.52 e 5.53 apresentam a síntese das simulações com as diferenças entre os valores calculados pelo modelo e os valores observados ano a no e respectivas médias.

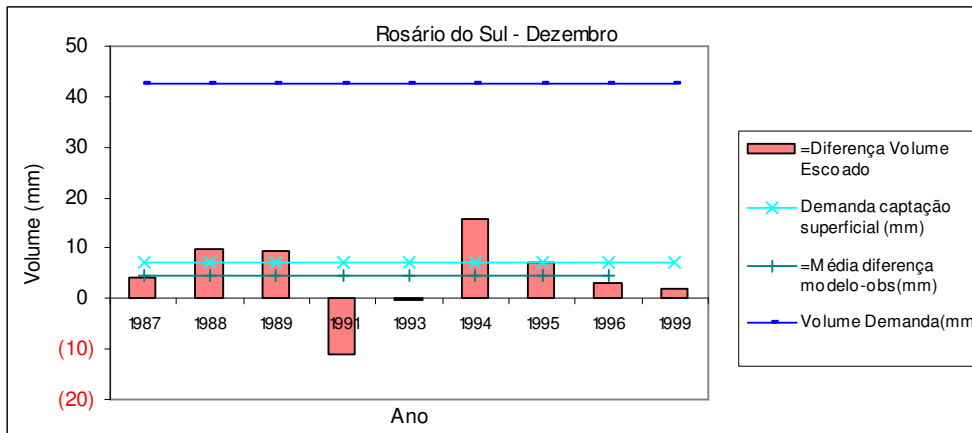


Figura 5-52 - Ibicuí da Armada: Síntese da Simulação do mês de Dezembro

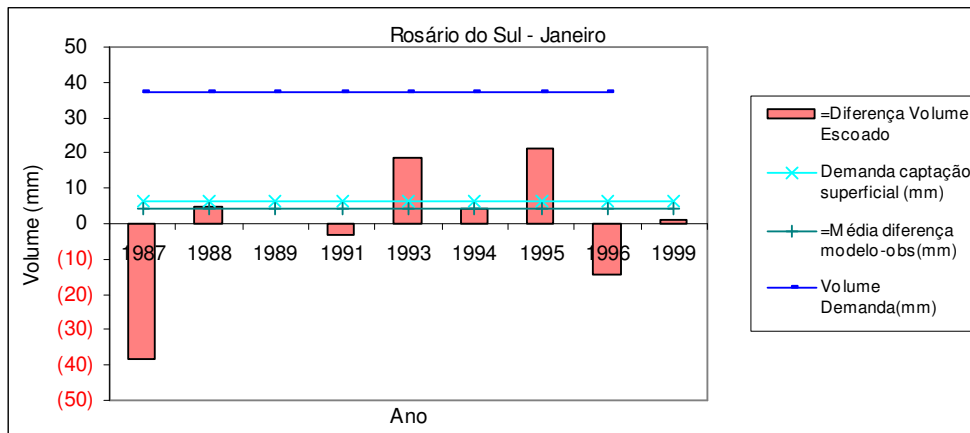


Figura 5-53 - Ibicuí da Armada: Síntese da Simulação do mês de Janeiro

Como pode ser visto, em dezembro o modelo talvez indique que parte das águas esteja sendo gasta para enchimento dos açudes. O balanço (vazão calculada menos a vazão observada) representa 21,6% da demanda, levemente superior aos percentuais obtidos por Arnez (2002),

Já para janeiro, o modelo com 15% praticamente coincide com as estimativas de Arnez (2002)

Esses resultados indicam que em média o modelo ao longo dos anos permite inferir a ordem de grandeza da pressão que a irrigação de arroz exerce sobre o Rio Santa Maria, tendo como referência a seção de Rosário do Sul

Em 1991, um evento elevado de vazões observadas não correspondido na simulação, indica problema de representatividade da precipitação média observada. Assim, este ano também foi eliminado. Para dezembro 1993 as vazões foram elevadas e as chuvas indicam não serem representativas do que realmente ocorreu, sendo também cortado.

As Figuras 5.54 e 5.55 representam a síntese das simulações, sem os períodos criticados.

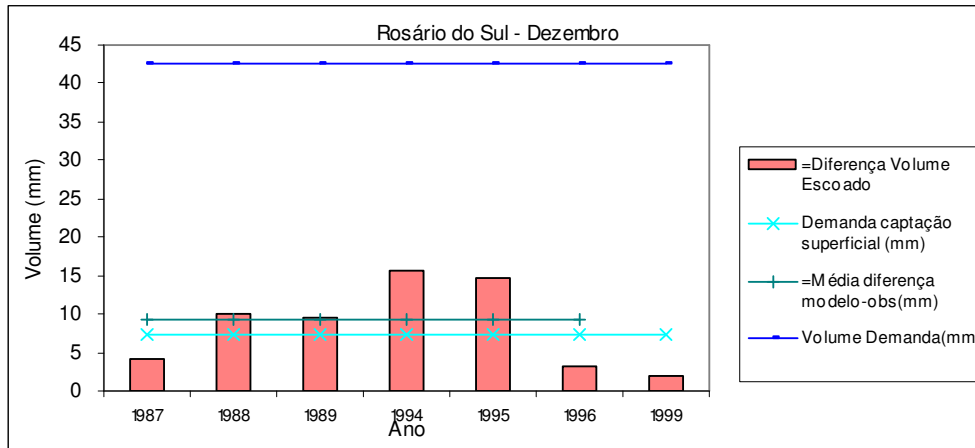


Figura 5-54 - Rosário do Sul: Síntese da Simulação do mês de Dezembro

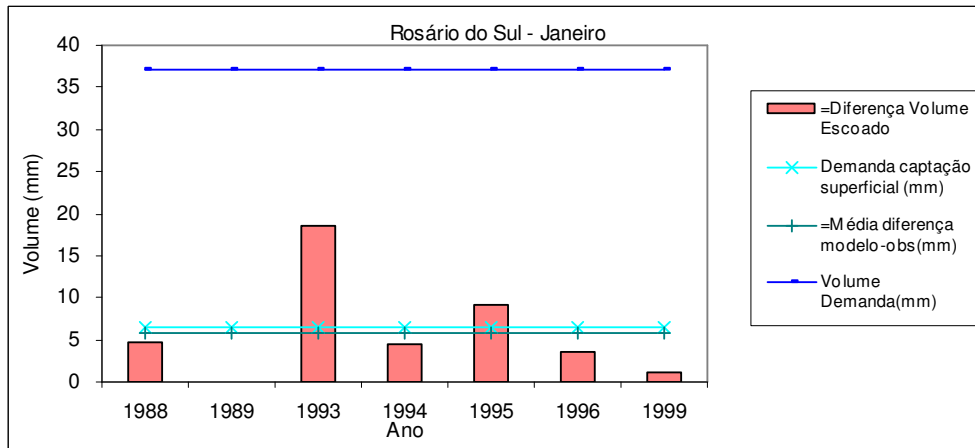


Figura 5-55 - Rosário do Sul: Síntese da Simulação do mês de Janeiro

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Um dos pontos críticos do gerenciamento da oferta de água em uma bacia é a fiscalização das vazões utilizadas, portanto a formação de um sistema de informação eficaz para a gestão e planejamento de uso dos recursos hídricos é fundamental.

O uso de ferramentas auxiliares, como os modelos hidrológicos, pode promover uma melhoria na capacidade de fiscalização e no monitoramento hídrico, e ser adotada pelas entidades responsáveis pela gestão dos recursos naturais.

O modelo hidrológico MOPH, é de fácil aplicação e operação, e por isso selecionado para a investigação nesta pesquisa.

O modelo foi ajustado para os meses de março a outubro, correspondendo ao período sem uso intensivo de água para a irrigação. Conforme pode-se observar nas Figuras 5.4 a 5.13 de ajuste, o modelo, para as vazões com permanências altas que caracterizam a disponibilidade de um rio, foi muito satisfatório. Cabe salientar as ressalvas necessárias inerentes à aplicação desse tipo de metodologia.

1) a qualidade dos ajustes é dependente da representatividade da distribuição espacial dos dados de chuva; essa dificuldade pode ser contornada implementando um programa de aumento da densidade de pluviômetros na bacia.

2) a bacia possui um elevado número de obras de represamento de água, açudes, para garantir as irrigações. Essas obras certamente interferem no algoritmo de perdas iniciais do modelo.

Aplicando o modelo ao período com irrigação o resultado esperado é que o modelo permita inferir a ordem de grandeza da quantidade de água consumida pela atividade irrigante.

Da aplicação do modelo, podemos observar o que segue:

- O objetivo do ajuste do modelo visou as vazões mínimas. Assim, em eventos úmidos, com precipitações elevadas, a qualidade da simulação deve ser avaliada pois pode distorcer os resultados. Além disso, como em anos mais úmidos a derivação de água dos rios é menor, parte das necessidades da lavoura é suprida diretamente pela precipitação, não há a necessidade de rigor na fiscalização do uso da água;
- Embora os ajustes para as bacias de Rosário do Sul e Ibicuí da Armada tenham sido realizados de forma independentes, pois o modelo é do tipo concentrado, as respostas são semelhantes para as duas bacias. O modelo conseguiu captar a influência do Rio Ibicuí da Armada na formação das vazões de Rosário do Sul, demonstrando ser um modelo consistente.

Observando-se a média da diferença dos valores calculados pelo modelo e os observados nas bacias, pode-se afirmar que a aplicação da metodologia evidenciou a possibilidade de sua utilização como ferramenta auxiliar aos gestores de recursos hídricos, já que os valores encontrados são similares às demandas exercidas na bacia. Inclusive, foi possível separar as parcelas referentes à derivação direta dos rios.

O modelo MOPH aplicado na pesquisa foi uma versão adaptada do seu original, com a finalidade de facilitar o seu uso em planilha eletrônica. Para isso, o algoritmo de propagação dos escoamentos superficiais foi substituído por um reservatório linear simples.

Pode-se ainda considerar o uso dos reservatórios de irrigação, ou através do uso de um novo parâmetro, ou ainda adaptando o algoritmo das perdas iniciais.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil) .(2002) Atlas de energia elétrica do Brasil. xviii, 152 p.
- ARNÉZ, F. A. (2002) Análise de critérios de outorga do uso da água na bacia do rio Santa Maria, RS. 141f. Dissertação (Mestrado em Engenharia)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- BARTH, F. T. *et al.* (1987) Modelos para gerenciamento de recursos hídricos. São Paulo: Nobel: ABRH. 1987. p. 213-324.
- BELTRAME, L.S. e GONDIM, L. A. P. (1982) Estudos hidrológicos do consumo de água em lavoura de arroz. Lavoura Arrozeira. Porto Alegre, v. 35, nº. 333. p. 22-28. jan./fev.
- BERNARDO, S. (1995) Manual de irrigação. 6. ed. Viçosa. Imprensa Universitária da Universidade Federal de Viçosa. 675 p.: il p.601-602.
- BOURSCHEID Engenharia (1996). 2ª Etapa do Plano de utilização dos recursos hídricos da bacia do rio Santa Maria – RS. Relatório Nº 1 – Cenário Atual – Volume 1. 251p.;
- CAUDURO, F. A. (1996) Apontamentos de Irrigação. Porto Alegre: IPH/UFRGS. 186p.
- COLASANTE, L. O. (2001) Práticas culturais. Arroz Irrigado: práticas de cultivo. Londrina: IAPAR, nº. 119, p.49-100.;
- CORREA, N. I. *et al.* (1997) Consumo de água na irrigação do arroz por inundação. Lavoura Arrozeira. Porto Alegre, v. 50, nº. 432, p. 3-8. jul./ago.
- CONEJO, J.G.L. (1993). A outorga de usos da água como instrumento de gerenciamento dos recursos hídricos. In: Revista de Administração Pública, Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, Vol. 27, nº 2, p. 28-62.
- CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L.; SILVEIRA, A. L. L.; CRUZ, R. C. (1999). Avaliação de Disponibilidades Hídricas para Outorga: Sistemática Modular de Avaliação. In: SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA (4.: Coimbra). 1999, Coimbra. *Comunicações*. Coimbra: Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, 1999, 1 CD-ROM.
- CRUZ, JUSSARA C. (2001) “Disponibilidade Hídrica para Outorga: Avaliação de Aspectos Técnicos e Conceituais”. Tese de doutorado do programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do IPH/URGS. 205p Porto Alegre, RS. ().
- DIÁRIO OFICIAL. (2001) Zoneamento Agrícola do Ministério da Agricultura, da Pecuária e do Abastecimento Rio Grande do Sul. Arroz irrigado - safra 2001/2002. Portaria n.º32, de 15.8.2001, publicada no Diário Oficial de 23 ago. 2001.
- EBERHARDT, D. S. (1993) Consumo de água em lavouras de arroz irrigado sob diversos métodos de preparo do solo. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 20, 1993, Pelotas, RS, Anais.. Pelotas: EMBRAPA, C/PACT. p. 173-176.
- EMBRAPA. (1999) Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o

- sul do Brasil. 1 ed. rev. e atual. Pelotas: Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado. 124p.
- EMBRAPA – (2002) Arroz e Feijão. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/>>. Acesso em: 23 nov. 2002.
- EMBRAPA. (2004). Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil: Sistemas de Cultivo - Plantio Direto e Cultivo Mínimo em Arroz Irrigado. <http://www.cpact.embrapa.br/sistemas/arroz/>.
- FILHO, G.L. (2000) Porquê criar uma engenharia hídrica. ABRH. Notícias. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.2, nº2. p.21.
- FUKOSHIMA, M. T. (2001) Cultivares. In: Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR. Arroz irrigado: práticas de cultivo. Londrina: IAPAR, , p. 150-179.
- GOMES, A. da S.; PAULETTO, E. A. ed. (1999) Manejo de solo e da água em áreas de várzea. Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, , p.163-166.
- GOMES, A. da S.; PAULETTO, E. A.; FRANZ, A. F. H. (2002) Arroz irrigado no Sul do Brasil. Pelotas: EMBRAPA. (Ainda não publicado).
- GOMES, A. (1998) Manejo da água em arroz irrigado. In: PESKE, S.T.; NEDEL, J.L.; BARROS, A. C. A. Produção de arroz irrigado. Pelotas: UFPEL, , p.99-125.
- GONDIN, L. A. P. (1983) Irrigação e drenagem. Lavoura Arrozeira, Porto Alegre, v.37, nº. 347, p. 16-17, nov./dez.
- HERNANDEZ, M.G.R. (1996) Manejo de água, preparo do solo e herbicidas em arroz irrigado. 56f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- ICTA - Instituto de Ciências e Tecnologia de Alimentos Cereais no Rio Grande do Sul. Disponível em: < <http://www.ufrgs.br/icta/agronom/cereais/cereais.htm>>. Acesso em: 23 nov. 2002.
- IRGA - Instituto Riograndense do Arroz. (2002) Caracterização da lavoura de arroz irrigado - safra 1999/2000. Disponível em: < <http://www.irga.rs.gov.br/revista.html>> . Acesso em: 23 nov. 2002.
- LIMA, J. E. W.; FERREIRA. R. S. A.; CRISTOFIDIS. D. 1999 () O uso da irrigação no Brasil. In: O estado das águas no Brasil. v. 1, nº. 1. p.73-78.
- MACHADO, S.L. de O.; MARCHEZAN, E., VILLA, S. C. C .et all (2003). Lavoura arrozeira e recursos hídricos. In: Revista Ciência e Ambiente: Agricultura Sustentável nº27.
- MACHADO, S. L. O. (2003) Sistemas de estabelecimento do arroz irrigado, consumo de água, perdas de nutrientes, persistência de herbicidas na água e efeitos no jundiá. 2003. 154 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- MOTA, F. S., ALVES, E.G. P., BECKER, C. T. (1990) Informação climática para planejamento da necessidade de água para irrigação do arroz no Rio Grande do Sul. Lavoura Arrozeira, Porto Alegre, v.43, n. 392, p. 3-6, set./out.
- PEREIRA, Jose Almeida, Cultura do arroz no Brasil :subsídios para a sua historia / Teresina : Embrapa Meio-Norte, 2002 226 p. :
- PLANETA ARROZ. (2000) Rio Grande do Sul, celeiro da América. Rio Grande do Sul: Jornal do Povo, Revista, v. 1, 2000. Disponível em: <<http://www.planetaarroz.com.br /arroz2.html>> . Acesso em: 23 nov. 2002.

- RAMOS, M. G. (Coord.) (1985) Manual de produção do arroz irrigado. Florianópolis: EMPASC. p. 107-109.
- RODRIGUEZ, F. A. (Coord.) (1998) Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos. p. 53-65.
- SACHET, Z. P. (1981) Consumo de água na lavoura de arroz irrigado relacionado com a altura de lâmina líquida. Lavoura arroseira, Porto Alegre, nº. 329, p.24-29.
- SILVA, D.D.da.; PRUSKI, F.F. (2000) Gestão de recursos hídricos: aspectos legais, econômicos e sociais. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos; Viçosa: Universidade de Viçosa; Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. p.181-183.
- SILVEIRA, G. L. (1997). Quantificação de vazões em pequenas bacias com carência de dados fluviométricos. Tese de doutorado do programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do IPH/UFRGS. 172p Porto Alegre, RS.
- SILVEIRA, G. L.; ROBAINA, A. D.; GIOTTO, E.; DEWES, R. (1998). Outorga para uso dos recursos Hídricos: aspectos práticos e conceituais para o estabelecimento de um sistema informatizado. In: *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Vol. 3, nº 3, Jul/Set. p. 5-16.
- SILVEIRA, G.L. da; et al. (Coord.) (1993). Projeto Rio Santa Maria – Sistema de Avaliação de Disponibilidades hídricas Fluviais para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria: Relatório do Projeto. Porto Alegre: SPO/CRH-RS, UFSM/FATEC, 112 p. (Relatório).
- SILVEIRA, R. L. D' AMICO, J.; SILVEIRA, G. L.; (1981). O modelo hidrológico MOPH2. In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Anais..** São Paulo: ABRH, 1981. p.149-169.
- TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. (2000) Porto Alegre: Editora da Universidade: UFRGS: ABRH. p. 195-198. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v. 4)
- TUCCI, C. E. M. (1987) Modelos determinísticos. In: BARTH, F. T.; POMPEU, C. T.; FILL, H. D.; TUCCI, C. E. M.; KELMANN, J.; BRAGA JR, B. P. F. (Org.) Modelos para gerenciamento de recursos hídricos. São Paulo: Nobel: ABRH, P.213-324.
- TUCCI, C. E. M. (1998) Modelos hidrológicos. Porto Alegre: Editora da Universidade: UFRGS: ABRH. p. 537-656. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v. 4).
- UFSM. (2003) Desenvolvimento de ações para implantação de outorga na bacia do rio Santa Maria – RS. Santa Maria: UFSM. 98 p.;
- WEBER, Lauro. (2000) Consumo e qualidade da água e cultivares de arroz irrigado em diferentes sistemas de cultivo. 2000. 60 f. Dissertação de Programa de Pós-graduação em Agronomia – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- ZAFFARONI, E.; TAVARES, V. E. (2002) O licenciamento ambiental dos produtores de arroz irrigado no Rio Grande do Sul, Brasil, 1999. Disponível em: <<http://www.iica.org.uy/16-6p2-p8p.htm>> . Acesso em: 08 agos.