



**UFSM**

**Dissertação de Mestrado**

**ESTUDO DA DINÂMICA HÍDRICA DE UM RESERVATÓRIO  
AFETADO PELA CONSTRUÇÃO DE UM SEGUNDO  
RESERVATÓRIO A MONTANTE**

---

**Caren Andreis**

**PPGEA**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2004**

**ESTUDO DA DINÂMICA HÍDRICA DE UM RESERVATÓRIO AFETADO  
PELA CONSTRUÇÃO DE UM SEGUNDO RESERVATÓRIO A  
MONTANTE**

---

**Por**

**Caren Andreis**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola**

**PPGEA**

Santa Maria, RS, Brasil

2004

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

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

**ESTUDO DA DINÂMICA HÍDRICA DE UM RESERVATÓRIO  
AFETADO PELA CONSTRUÇÃO DE UM SEGUNDO  
RESERVATÓRIO A MONTANTE**

Elaborada por

**Caren Andreis**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Agrícola**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. Adroaldo Dias Robaina – Orientador – UFSM

---

Prof. Dr. Rudiney Soares Pereira – UFSM

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Márcia Xavier Peiter – URI

Santa Maria, 23 de julho de 2004

“Quem nada conhece nada ama. Quem nada pode fazer, nada compreende, nada vale. Mas quem compreende também ama, observa, vê... Quanto mais conhecimento houver inerente numa coisa, tanto maior o amor. Aquele que imagina que todos os frutos amadurecem ao mesmo tempo como as cerejas, nada sabe a respeito das uvas”.

(Paracelso)

## AGRADECIMENTOS

A Deus por ter iluminado meu caminho, permitindo-me vencer mais esta etapa da vida.

A Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de realização do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e a CAPES, pelo auxílio financeiro.

Aos meus pais, que contribuíram na minha formação educacional dando apoio nesta conquista e sempre estando presente ao meu lado, pois sem eles eu não teria chegado até aqui.

Aos meus amores Christian e Isabella, pelo carinho, paciência e incentivo.

Ao professor Adroaldo Dias Robaina, pela orientação concebida, pela amizade e pela compreensão.

À professora Eloíza Maria Cauduro Dias de Paiva, por ter sido prestativa frente as minhas dúvidas.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pelos ensinamentos.

A comissão examinadora, pela aceitação do convite e pelo tempo dedicado.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, em especial ao Wolf, pelas orientações e disponibilidade de tempo.

Aos colegas de curso, pelo apoio no aprendizado das disciplinas.

Aos colegas do Laboratório de Geomática, pelo companheirismo e pelo estímulo.

Aos amigos Garça, Cabreira, Amazonas, Alexandre, Ítalo, Celso, Marcelo, Gilfredo e Ana Carolina, que, de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

A grande amiga Aline, parceira em todos os momentos.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE ANEXOS.....	xiv
LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	xv
RESUMO.....	xx
ABSTRACT.....	xxi
1. INTRODUÇÃO.....	2
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1. Gestão Racional dos Recursos Hídricos.....	5
2.2. Bacia Hidrográfica como unidade de estudo.....	8
2.3. Regularização de reservatórios.....	9
2.3.1. <i>Parâmetros físicos e variáveis características de reservatórios.....</i>	11
2.3.2. <i>Escolha do volume inicial assumido para um reservatório.....</i>	13
2.4. Balanço hídrico dos reservatórios.....	14
2.5. Descrição e medição dos termos do balanço hídrico.....	16
2.5.1. <i>Volumes afluentes no reservatório.....</i>	16
2.5.2. <i>Volume precipitado sobre a bacia hidrográfica.....</i>	18
2.5.3. <i>Volume precipitado sobre o espelho d'água.....</i>	20
2.5.4. <i>Volume retirado do reservatório.....</i>	21
2.5.5. <i>Volume vertido pelo vertedouro.....</i>	23

2.5.6. <i>Volume infiltrado</i> .....	24
2.5.7. <i>Volume evaporado</i> .....	25
2.6. O Modelo Thomas-Fiering na geração de séries de precipitação e evaporação .....	27
2.7. Reservatórios em série .....	29
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	31
3.1. Descrição da área de estudo .....	31
3.1.1. <i>O reservatório n°1</i> .....	32
3.1.2. <i>O reservatório n°3</i> .....	33
3.1.3. <i>Os volumes disponíveis a cada usuário</i> .....	34
3.1.4. <i>Vegetação</i> .....	35
3.1.5. <i>Solo</i> .....	36
3.1.6. <i>Geologia e relevo</i> .....	37
3.1.7. <i>Clima</i> .....	38
3.2. Balanço hídrico do reservatório .....	39
3.2.1. <i>Volume inicial assumido para o reservatório</i> .....	39
3.2.2. <i>Contribuição da bacia hidrográfica</i> .....	40
3.2.2.1. Coeficiente de Escoamento Superficial .....	41
3.2.2.2. Área da bacia hidrográfica .....	42
3.2.2.3. Precipitação mensal .....	43
3.2.3. <i>Volume precipitado sobre o reservatório</i> .....	47
3.2.3.1. Área da superfície de alague do reservatório .....	47
3.2.4. <i>Volume perdido por evaporação</i> .....	47
3.2.4.1. Evaporação mensal .....	48
3.2.4.2. Superfície média de exposição .....	49
3.2.5. <i>Volume consumido na irrigação</i> .....	51
3.2.5.1. Consumo de água do arroz .....	51
3.2.5.2. Área de lavoura a irrigar .....	52
3.2.6. <i>Volume descarregado pelo vertedor</i> .....	53
3.3. Cenários e hipóteses adotadas .....	53

3.3.1. Comportamento hídrico de R1 e R3, com a área de irrigação determinada a partir da capacidade estática dos reservatórios.....	53
3.3.2. Determinação da área de irrigação considerando a capacidade dinâmica dos reservatórios.....	54
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	55
4.1. Série sintética de precipitação pluviométrica mensal.....	55
4.2. Série sintética de evaporação mensal.....	62
4.3. Comportamento hídrico de R1 e R3, com a área de irrigação determinada a partir da capacidade estática dos reservatórios.....	67
4.3.1. Variação dos volumes armazenados no R1.....	67
4.3.1.1. Primeira Hipótese: Somente o R1 existe.....	69
4.3.1.2. Segunda Hipótese: R1 e R3 existem, mas R3 não é utilizado....	70
4.3.1.3. Terceira Hipótese: R1 e R3 existem, sendo os dois utilizados ...	71
4.3.2. Variação dos volumes armazenados no R3.....	72
4.3.2.1. Primeira Hipótese: R3 não é utilizado.....	74
4.3.2.2. Segunda Hipótese: R3 é utilizado.....	74
4.4. Determinação da área de irrigação considerando a capacidade dinâmica dos reservatórios.....	76
4.4.1. Comportamento do R1 quando da inexistência de R3.....	78
4.4.2. Comportamento do R1 quando R3 foi utilizado com sua capacidade estática.....	80
4.4.3. Comportamento do R3 quando utilizados os volumes dinâmicos dos dois reservatórios.....	82
5. CONCLUSÕES.....	84
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
7. ANEXOS.....	93

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01. Demonstrativo das áreas alagadas e dos volumes armazenados para cada cota do reservatório, conforme o projeto de construção do reservatório n°3, Alegrete/RS.....	34
Tabela 02. Valores de C em função do solo, da declividade e da cobertura vegetal.....	42
Tabela 03. Componentes $C_1$ , $C_2$ e $C_3$ do Coeficiente C de McMath.....	42
Tabela 04. Dados das estações pluviométricas utilizadas no estudo.....	46
Tabela 05. Médias mensais das séries pluviométricas (mm), para cada estação selecionada para o estudo.....	46
Tabela 06. Dados das estações evaporimétricas utilizadas no estudo....	50
Tabela 07. Médias mensais das séries evaporimétricas (mm), para cada estação selecionada para o estudo.....	50
Tabela 08. Série sintética de 10 anos de precipitação pluviométrica mensal gerada pelo método Thomas-Fiering. Alegrete/RS...	56
Tabela 09. Relação das médias da série original e da série gerada de precipitações pluviométricas mensais, e limites de confiança estabelecidos para as médias da série gerada. Alegrete/RS.	59
Tabela 10. Relação dos desvios da série original e da série gerada de precipitações pluviométricas mensais, e limites de confiança estabelecidos para os desvios padrão da série gerada. Alegrete/RS.....	60

Tabela 11. Relação dos coeficientes de correlação da série original e da série gerada de precipitações pluviométricas mensais, e limites de confiança estabelecidos para os coeficientes de correlação da série gerada. Alegrete/RS.....	61
Tabela 12. Série sintética de 10 anos de evaporação mensal gerada pelo método Thomas-Fiering.....	63
Tabela 13. Relação das médias da série original e da série gerada de evaporações mensais, e limites de confiança estabelecidos para as médias da série gerada. Alegrete/RS.....	64
Tabela 14. Relação dos desvios da série original e da série gerada de evaporações mensais, e limites de confiança estabelecidos para os desvios padrão da série gerada. Alegrete/RS.....	65
Tabela 15. Relação dos coeficientes de correlação da série original e da série gerada de evaporações mensais, e limites de confiança estabelecidos para os coeficientes de correlação da série gerada. Alegrete/RS.....	66
Tabela 16. Áreas de irrigação obtidas para cada simulação, a partir dos volumes dinâmicos e estáticos dos reservatórios R1 e R3. Alegrete/RS.....	77

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Níveis e volumes nas barragens.....	12
Figura 02. Reservatórios n°1 e n°3, sendo o primeiro à jusante e o segundo à montante da seção do rio. Alegrete/RS.....	32
Figura 03. Precipitação pluviométrica mensal para o município de Alegrete/RS, entre os anos de 1931 a 1960 (IPAGRO, 1989), da série observada utilizada no estudo e da série gerada pelo método Thomas-Fiering. Alegrete/RS.....	57
Figura 04. Evaporação mensal para o município de Alegrete/RS, entre os anos de 1957 a 1984 (IPAGRO, 1989), da série observada utilizada no estudo e da série gerada pelo método Thomas-Fiering. Alegrete/RS.....	62
Figura 05. Variação dos volumes médios armazenados ao longo do ano no R1, em função da existência ou não do R3 e da retirada ou não de água do R3 para irrigação. Alegrete/RS.....	67
Figura 06. Variação dos volumes armazenados no R1 durante os dez anos simulados, em função da existência ou não do R3 e da retirada ou não de água do R3 para irrigação. Alegrete/RS.....	68
Figura 07. Variação dos volumes médios armazenados ao longo do ano no R3, em função da retirada ou não de água para irrigação. Alegrete/RS.....	72

Figura 08. Variação dos volumes armazenados no R3 durante os dez anos simulados, em função da retirada ou não de água para irrigação. Alegrete/RS.....	73
Figura 09. Variação dos volumes armazenados no R1, quando consideradas as áreas de irrigação determinadas a partir da capacidade dinâmica e da capacidade estática do reservatório. Alegrete/RS.....	79
Figura 10. Variação dos volumes armazenados em R1, nas duas últimas simulações: a que considera R1 com volume dinâmico e R3 com volume estático e a que considera R1 e R3 com volumes dinâmicos. Alegrete/RS.....	81
Figura 11. Variação dos volumes armazenados no R3, quando consideradas as áreas de irrigação determinadas a partir da capacidade dinâmica e da capacidade estática do reservatório. Alegrete/RS.....	83

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 01. Precipitação mensal observada entre os anos de 1970 a 2000, nos quatro postos pluviométricos estudados.....	93
Anexo 02. Evaporação mensal observada entre os anos de 1963 a 1977, nos cinco postos evaporimétricos estudados.....	101

## LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

$\Delta V$	Varição do volume armazenado no açude para o intervalo de tempo considerado
%	Porcentagem
A	Área da bacia hidrográfica
ABEAS	Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior
ABRH	Associação Brasileira de Recursos Hídricos
$A_i$	Área de lavoura a irrigar
ANA	Agência Nacional das Águas
$A_r$	Área da bacia hidráulica
$A_{r_m}$	Área média da bacia hidráulica
$b_j$	Coefficiente de regressão
C	Coefficiente de escoamento superficial
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CE	Ceará
$C_r$	Capacidade de armazenamento do reservatório, no NN
DEAg	Departamento de Estudos Agrários da UFPB
DER	Departamento de Engenharia Rural
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
Dr.	Doutor
dt	Derivada do tempo
dv	Derivada da vazão

E	Fluxo de entrada do açude
e(t)	Altura de lâmina de água evaporada por unidade de tempo
Ed.	Editora
EDUSP	Editora da USP
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
Etp	Uso consuntivo de água
Ev	Valores mensais de evaporação
FAO	Agência da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
gov	Governo
GRH	Grupo de Recursos Hídricos da UFPE
H	Horizonte de simulação
h	Nível de água em determinado instante
h <sub>0</sub>	Altura do nível da soleira do vertedouro
ha	Hectare
hm	Hectômetros
http	Hypertext Transport Protocol
IAC	Instituto Agrônomo de Campinas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IICA	Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura
IPAGRO	Instituto de Pesquisas Agronômicas
IPH	Instituto de pesquisas hidrológicas
IPH-II	Modelo chuva-vazão proposto pelo IPH
IRGA	Instituto Riograndense do Arroz
K3	Coeficiente variável de 0% (quando reservatório vazio) a 100% (quando reservatório cheio)
Km	Kilômetro
l	Largura do vertedouro
LTDA	Companhia limitada

m	Metros
MC	Meridiano Central
MG	Minas Gerais
mm	Milímetros
MODHAC	Modelo Hidrológico Auto Calibrável
n	Coeficiente dependente da forma da crista
n°	Número
NA <sub>m</sub>	Nível médio, situado entre o NA <sub>min</sub> e o NA <sub>mxm</sub>
NA <sub>min</sub>	Nível mínimo operativo normal
NA <sub>mm</sub>	Nível máximo <i>maximorum</i>
NA <sub>mxm</sub>	Nível máximo operativo normal
Nd	Número de dias do período de irrigação
°C	Graus Celsius
ORNAP	Optimal Reservoir Network Analysis Program
P	Valores mensais de precipitação
p	Página
p(t)	Chuva precipitada num determinado intervalo de tempo
PB	Paraíba
Pe <sub>ff</sub>	Chuva efetiva mensal
Ph.D.	Pós Doutorado
PPGEA	Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola
Pr.	Professor
Q	Vazão
q <sub>i</sub>	Volume precipitado ou evaporado durante o mês i
q <sub>i+1</sub>	Volume precipitado ou evaporado durante o mês i+1
$\bar{q}_j$	Precipitação ou evaporação mensal média do mês j
$\bar{q}_{j+1}$	Precipitação ou evaporação mensal média do mês j+1
R1	Reservatório n°1
R3	Reservatório n°3
r <sub>j</sub> <sup>2</sup>	Coeficiente de correlação entre precipitações ou

	evaporações dos meses $j$ e $j+1$
RS	Rio Grande do Sul
s	Segundo
S	Fluxo de saída do açude
SITER	Sistema de Informações Territoriais
$S_{j+1}$	Desvio padrão das precipitações ou evaporações do mês $j+1$
SP	São Paulo
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
$t_1$	Momento em que inicia a simulação
$t_2$	Momento em que termina a simulação
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
USA	Estados Unidos da América
USP	Universidade de São Paulo
UTM	Unidade de Telecomunicações e Multimédia
$v$	Volume
$V_0$	Volume inicial assumido para o reservatório
$V_a$	Volume afluente ao reservatório integrado
VA	Volume afluente ao reservatório no intervalo de tempo considerado
$V_e$	Volume evaporado do reservatório integrado
VE	Volume evaporado do reservatório no intervalo de tempo considerado
$VE_m$	Volume médio perdido por evaporação durante o período de tempo considerado
VI	Volume infiltrado na bacia hidráulica no intervalo de tempo considerado

$V_p$	Volume precipitado sobre o reservatório integrado
VP	Volume precipitado sobre o reservatório no intervalo de tempo considerado;
$V_r$	Volume retirado do reservatório integrado
VR	Volume retirado do reservatório no intervalo de tempo considerado
$V_u$	Consumo de água do arroz
$V_v$	Volume vertido do vertedouro integrado
VV	Volume vertido pelo vertedouro no intervalo de tempo considerado
WD	Demanda de água para irrigação
www	World Web Site
$z_i$	Números aleatórios normalmente distribuídos, $N(0;1)$

## **RESUMO**

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola  
Universidade Federal de Santa Maria

### **ESTUDO DA DINÂMICA HÍDRICA DE UM RESERVATÓRIO AFETADO PELA CONSTRUÇÃO DE UM SEGUNDO RESERVATÓRIO A MONTANTE**

Autora: Caren Andreis  
Orientador: Adroaldo Dias Robaina  
Santa Maria, 23 de julho de 2004.

A construção de reservatórios em seqüência em uma mesma bacia hidrográfica tem gerado grandes problemas no meio rural. Supõe-se que reservatórios construídos à jusante de outro reservatório têm sua vazão afluente alterada, ou melhor, reduzida, o que gera conflitos entre os proprietários destes, uma vez que o proprietário do reservatório a jusante, supostamente, sempre será o prejudicado. O presente trabalho tem como objetivo determinar se realmente há reduções e qual a intensidade desta redução na vazão afluente de um reservatório (aqui denominado R1), que sofre influência de outro reservatório (R3), construído à montante. Para tal, foram feitas simulações a partir da metodologia do balanço hídrico de reservatórios. Os resultados demonstram que, quando não há a retirada de água do R3 para irrigação, este não influencia praticamente nada o balanço hídrico e o armazenamento do R1. Quando há a retirada de água do R3 para irrigação este influencia os volumes armazenados no R1, porém não a ponto de faltar água para irrigação das áreas propostas para os dois reservatórios. Quando considerada a capacidade dinâmica na determinação das áreas de irrigação de R1 e R3, a maior área total de irrigação foi obtida na simulação que considerou a existência dos dois reservatórios, sendo as áreas de irrigação destes, determinadas a partir de suas capacidades dinâmicas. Neste caso, a área total de irrigação resultante foi de 290 ha, 90 ha a mais do que quando consideradas as capacidades estáticas no cálculo das áreas de irrigação.

## **ABSTRACT**

Master Dissertation  
Graduation Program in Agricultural Engineering  
Universidade Federal de Santa Maria

### **STUDY OF THE WATER BALANCE OF A RESERVOIR AFFECTED BY THE CONSTRUCTION OF A SECOND RESERVOIR TO THE UPSTREAM**

Author: Caren Andreis  
Supervisor: Adroaldo Dias Robaina  
Santa Maria, July 23<sup>th</sup> 2004.

The construction of reservoirs in sequence in the same basin has produced great problems in rural environment. It is supposed that reservoirs constructed in downstream of a second reservoir have their discharge affluent altered, or reduced, what generates conflict among proprietaries, since the proprietary of a reservoir in a downstream, will always be supposedly the harm one. The present paper has as objective to determine if, in fact, there are reductions and what the intensity of this reduction in the discharge affluent of a reservoir is (denominate here R1), that suffers influence of a second reservoir (R3), constructed in upstream. To come up to the methodology simulations were done through the use of the methodology of the water balance in reservoirs. The results show that, when the water is not taken off from R3 to irrigation, this do not influence practically anything in the water balance and the storage of R1. When the water is taken off from R3 to irrigation, this influences the storage volume in R1, but not up to the point of lacking water to irrigation of the proposed areas to the two reservoirs. When considered the dynamic capacity to determine the irrigation areas of R1 and R3, the greater total irrigation area was obtained in the simulation that considered the existence of two reservoirs, being the irrigation areas of these, determined from our dynamic capacities. In this case, the result of irrigation areas was 290 ha, more 90 ha than when only considered the static capacities in the estimation of the irrigation areas.

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento do consumo de água, tanto para fins agrícolas, quanto para consumo humano ou indústria tem gerado conflitos difíceis de serem resolvidos.

É de conhecimento geral que os recursos naturais são finitos e de que seu uso deve ser limitado. No entanto, quando se fala em recursos hídricos, é evidente a falta de critérios e metodologias simplificadas que venham a impor limites ao uso indiscriminado da água ou resolver questões de conflito quanto a sua utilização.

O meio ambiente e os recursos hídricos são bens de domínio público e cabe ao estado autorizar o licenciamento de obras que visem a utilização destes recursos, bem como fiscalizar o seu funcionamento. No entanto, muitas obras construídas com o objetivo de utilizar a água, seja para a agricultura; como para a lavoura arrozeira; ou para outros fins, não possuem licenciamento e, na maioria das vezes, utilizam-se de forma exacerbada dos recursos hídricos.

Muitos são os prejuízos causados por esta utilização indevida da água, e estes dizem respeito, principalmente, ao meio ambiente, visto que o ecossistema local é alterado, em maior ou menor grau, pela redução da disponibilidade da água, dependendo da intensidade desta redução.

Mas, além do meio ambiente, também os próprios agricultores são atingidos. Este problema é evidente em regiões arrozeiras que se utilizam da água dos rios para a irrigação das lavouras, uma vez que todo o entorno deste é irrigado. Neste caso, são as lavouras localizadas à jusante do rio que são prejudicadas, uma vez que não se tem controle dos volumes retirados a montante deste, o que causa uma redução na vazão do rio, chegando a ponto de não haver disponibilidade suficiente de água para o desenvolvimento das lavouras localizadas à jusante, o que gera graves prejuízos que podem chegar até a perda total da safra.

A construção de reservatórios em seqüência em uma mesma bacia hidrográfica, também gera grandes problemas no meio rural. Quando se constrói um reservatório, altera-se a vazão afluente, uma vez que os volumes de escoamento superficial gerados por precipitações vão ser retidos, em maior ou menor intensidade no reservatório, dependendo de seu volume inicial. Desta forma, supõe-se que reservatórios construídos à jusante terão sua vazão afluente alterada, ou melhor, reduzida, o que gera conflitos entre os proprietários destes, uma vez que o proprietário do reservatório a jusante, supostamente, sempre será o prejudicado.

No entanto, não há uma metodologia simplificada, passível de ser aplicada para este tipo de situação, que busque determinar se realmente ocorrem alterações no volume afluente de reservatórios que sofrem influência de outro e da intensidade destas alterações ou reduções, visando solucionar estes conflitos de uso da água.

Além disto, também se pode questionar acerca da utilização do volume estático ou do volume dinâmico na determinação, ainda em fase de projeto, da área que pode ser irrigada com um determinado volume disponível em um reservatório. Sabe-se que, na determinação da área de irrigação a partir da capacidade estática de um reservatório não são consideradas as entradas no sistema (precipitações) durante o período de utilização do reservatório, sendo esta a metodologia mais utilizada. No entanto, em regiões onde o regime pluviométrico não é estacional; como no caso do Rio Grande do Sul; as entradas, por mínimas que sejam, sempre ocorrem, mesmo em situações extremas. Desta forma, questiona-se: Não seria mais correto utilizar a capacidade dinâmica do reservatório, considerando as entradas no sistema, na determinação da área de irrigação?

O presente trabalho tem como objetivos determinar se realmente ocorrem reduções e qual a intensidade desta redução na vazão afluente de um reservatório (aqui denominado R1) que sofre influência de outro reservatório construído à montante (R3), além de determinar quais as

áreas que poderiam ser irrigadas caso a capacidade dinâmica dos reservatórios fosse considerada.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Gestão Racional dos Recursos Hídricos

Os recursos hídricos são reconhecidos como elemento promotor do desenvolvimento da sociedade. Sua distribuição espacial e temporal é responsável pelo assentamento de populações e, por isso, o conhecimento de sua disponibilidade em uma região constitui-se uma necessidade para a elaboração de um adequado planejamento (Centeno & Kishi, 1992).

Lanna (1993) cita que a água é bem de consumo final ou intermediário na quase totalidade das atividades humanas. Com o aumento da intensidade e variedade destes usos ocorrem conflitos entre usuários. Uma forma eficiente de evitar e administrar estes conflitos é a gestão integrada do uso, controle e conservação dos recursos hídricos. Isto envolve a consideração de uma grande diversidade de objetivos (econômicos, ambientais, sociais, etc.), usos (irrigação, geração de energia, abastecimento, etc.) e alternativas. Deste quadro, o planejamento dos recursos hídricos aparece como uma atividade complexa, que envolve grande número de disciplinas e que deve ser aplicado por equipes multi e interdisciplinares.

O nosso país é rico em água potável, com 8% das reservas mundiais, concentrando 18% do potencial de água da superfície do planeta (Maia Neto, 1997). Apesar da situação aparentemente favorável, observa-se, no Brasil, uma enorme desigualdade regional na distribuição dos recursos hídricos. Esta desigualdade pode ser visualizada quando se compara a abundância de água da Bacia Amazônica (regiões Norte e Centro Oeste) com os problemas de escassez do Nordeste e com os conflitos de uso das regiões Sul e Sudeste.

Outro grande problema é a expansão da agricultura irrigada, devido ao seu alto consumo e às restrições de disponibilidade de água.

Avaliando-se a necessidade de água dos cultivos, em termos médios, é possível verificar que para produzir uma tonelada de grão, são utilizadas mil toneladas de água, sem considerar a ineficiência dos métodos e sistemas de irrigação e seu manejo inadequado. Avaliações de projetos de irrigação em todo o mundo indicam que mais da metade da água derivada para irrigação se perde antes de alcançar a zona radicular dos cultivos (Paz *et al.*, 2000).

O Brasil apresenta cerca de 5% da sua área cultivada irrigada, respondendo por 16% da produção total e por 35% do valor desta produção (Santos, 1998). O Rio Grande do Sul é um dos estados que representa grande percentagem deste total, visto ser o maior produtor brasileiro de arroz irrigado, cultura que, para seu desenvolvimento necessita ter disponível uma lâmina de irrigação durante 120 dias de seu ciclo.

No entanto, assim como nos demais estados brasileiros, no Estado do Rio Grande do Sul, o crescimento e o desenvolvimento não foram acompanhados pela manutenção da qualidade do meio ambiente, nomeadamente da preservação dos recursos florestais, hídricos e do solo (Garcia, 2001).

Somente em 8 de janeiro de 1997 foi instituída a Política Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (Lei n° 9.433). Foi criado o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, a qual define em seu artigo 2°, os seguintes objetivos (Governo Federal, 2000):

- Assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequado aos respectivos usos;
- A utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
- A prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

No Estado do Rio Grande do Sul, desde 30 de dezembro de 1994 instituiu-se o Sistema Estadual de Recursos Hídricos (Lei n° 10.350),

regulamentado no Artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul. A Política Estadual de Recursos Hídricos tem por objetivo promover a harmonização entre os múltiplos e competitivos usos dos recursos hídricos e sua limitada e aleatória disponibilidade temporal e espacial, de modo à (Governo Federal, 1994):

- Assegurar o prioritário abastecimento da população humana e permitir a continuidade e desenvolvimento das atividades econômicas;
- Combater os efeitos adversos das enchentes e estiagens e da erosão do solo;
- Impedir a degradação e promover a melhoria de qualidade e o aumento da capacidade de suprimento dos corpos de água, superficiais e subterrâneos, a fim de que as atividades humanas se processem em um contexto de desenvolvimento sócio - econômico que assegure a disponibilidade dos recursos hídricos aos seus usuários atuais e às gerações futuras, em padrões quantitativa e qualitativamente adequados.

A Lei estabelece, ainda, o regramento para importantes instrumentos do gerenciamento. São eles a outorga do uso da água, a cobrança pela utilização dos recursos hídricos e o rateio dos custos originados do conjunto de ações necessárias ao cumprimento dos objetivos propostos pelos Comitês de Bacia Hidrográfica e constantes dos Planos de Bacia.

As principais dificuldades de implementação de sistemas nacionais e estaduais de gerenciamento de recursos hídricos que cumpram suas funções podem ser atribuídas a precariedade na execução do gerenciamento interinstitucional, gerenciamento das intervenções na bacia e gerenciamento da oferta de água. Trata-se justamente das funções que compatibilizam os usos das águas e as pretensões e planos dos diversos organismos que intervêm nos recursos hídricos. Tal deficiência acarreta a desarticulação dos elementos, o que acaba por descaracterizar o conjunto como sistema, ao mesmo tempo em que

obstaculiza a consecução de planejamento de uso, controle e preservação de recursos hídricos (Lanna, 1993).

## **2.2. Bacia Hidrográfica como unidade de estudo**

Conforme a Lei Federal nº 9.433, de 08/01/1997, que institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos, onde em seu Artigo 1º, Parágrafo V, baseia-se no seguinte fundamento: a bacia hidrográfica é a unidade territorial para a implementação nacional de recursos hídricos e atuação do Sistema Nacional de Recursos Hídricos (Acker, 1999).

Bacia hidrográfica é definida por Silveira (1993) como uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. Compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório.

Uma bacia hidrográfica não possui dimensões definidas, suas dimensões podem variar de acordo com a região sendo delimitada lateralmente pelo divisor de águas. Existem mais de 200 bacias hidrográficas internacionais, que deságuam diretamente no oceano: 57 na África, 48 na Europa, 40 na Ásia, 36 na América do Sul e 33 na América do Norte e América Central, sendo que as de maior área chegam a atingir superfície de até milhares de quilômetros quadrados (Holeman, 1968).

Quando uma bacia deságua diretamente em um outro rio, esta é chamada de sub-bacia hidrográfica e, segundo Madruga (1990), esta pode ter dimensões superficiais variando de 20.000 ha; área máxima que uma equipe de campo pode e deve trabalhar em um Manejo Integrado ou em Gerenciamento; até 300.000 ha; área considerada adequada no sistema cartográfico sul brasileiro.

Quando uma bacia possui dimensões superficiais inferiores a 20.000 ha, esta pode ser chamada de Microbacia, atingindo limites

inferiores de área de até 10 ha (Rocha, 1991). O mesmo autor cita que, tecnicamente, é aconselhável começar a recuperar o meio ambiente pelas bacias hidrográficas, as quais subdivididas em sub-bacias e microbacias tem mostrado grande eficiência em trabalhos de campo.

Vários autores demonstraram a eficiência do estudo de parâmetros econômicos, ambientais e sociais quando delimitada a área de estudo por bacias hidrográficas, citam-se: Capeletto (1993), Garcia (2001), Corso (1989), Fronza (1995), etc.

### **2.3. Regularização de reservatórios**

Segundo o dicionário Magno, regularizar tem como conceito tornar regular, corrigir, tornar conveniente.

O termo regularização, em hidrologia, é usado como sinônimo de regulação. A operação de um reservatório, quando se deseja derivar uma vazão constante ou não muito variável, a partir de um reservatório que recebe vazões muito variáveis no tempo é denominada regularização de vazões (Villela & Mattos, 1975).

Conforme Gomide & Cunha (1981), denomina-se “regularização anual pura” como sendo a situação em que o nível de regularização é tão baixo que se utiliza no máximo a descarga média anual, não havendo transferência de água de ano para ano, o que caracterizaria a “regularização pluri-anual”.

Silva & Mello, estudando os efeitos de regularização provocados pelos reservatórios de geração de energia elétrica nas principais bacias hidrográficas brasileiras, verificaram um aumento significativo da permanência de vazões nos locais das usinas, chegando a representar em Itaipú, para uma permanência de 95%, um incremento de 1.770 m<sup>3</sup>/s, o que equivale a um aumento de 44,8% na vazão natural para a mesma permanência.

Regularizar vazões é citado por Sabourin & Courcier (1992) como

uma possível solução para os problemas de estiagem do semi-árido brasileiro, através da construção de pequenos reservatórios comunitários. Mais que pela falta de chuva, a agricultura do Nordeste semi-árido é limitada pela grande irregularidade de distribuição das precipitações e, sobretudo, pela sua extrema variabilidade. Segundo os autores, a irregularidade dos regimes hidrológicos é ainda mais acentuada que a das precipitações.

Já na região sul do Brasil, apesar das precipitações praticamente não variarem temporalmente, a necessidade de regularizar vazões advém da premissa de que, para cultivar campos irrigados, como os campos orizícolas do Rio Grande do Sul, há a necessidade de se dispor de uma grande quantidade de água armazenada no período de pleno desenvolvimento da cultura, que corresponde a um período de quatro meses, nos demais meses, somente há armazenamento de água, sem qualquer tipo de utilização.

Trabalho realizado por Villanueva *et al.* (1998), mostra que os impactos do aumento da demanda de água da lavoura orizícola da região sul do Rio Grande do Sul, sob as Lagoas Mirim e Mangueira é bastante localizado nos meses de extração de água. Três meses após o fim da retirada, o impacto se reduz a metade e, seis meses após, a diferença no nível é praticamente desprezível.

Devido a esta sazonalidade na demanda e também a aleatoriedade das vazões afluentes, existirão períodos nos quais determinada dimensão de reservatório será suficiente e outros em que não. A exceção ocorre nos casos extremos em que seja implantado um reservatório excessivamente grande, que permita atender sempre a demanda, ou um reservatório excessivamente pequeno, que nunca o faça. Desta forma, a dimensão ótima para um reservatório deverá ser considerada em função do custo de investimento na sua implantação e o custo da escassez de água durante os períodos de maior demanda (Lanna, 1993).

Alem destes custos, quando da determinação das dimensões de um reservatório também se deve considerar a garantia com que se pretende atender as demandas hídricas. Lanna (1999), estudando a bacia do rio Jacuípe, na região semi-árida do estado da Bahia, relacionou o armazenamento necessário para atender demandas crescentes, a níveis de garantia entre 90 e 100%. O autor concluiu que as capacidades de armazenamento, e por isto os investimentos, aumentam significativamente tanto com as demandas, como com as garantias.

Segundo Lanna (1993), para o estudo de um reservatório de regularização de vazões é necessário o conhecimento de sua dimensão, das vazões afluentes, da demanda a ser suprida e das perdas que poderão ocorrer.

São revisados a seguir os parâmetros físicos do reservatório necessários a determinação das vazões de regularização e também termos científicos que dizem respeito a tal tema.

### 2.3.1. Parâmetros físicos e variáveis características de reservatórios

Como a função primordial dos reservatórios é proporcionar acumulação, sua característica mais importante é a capacidade de armazenamento, a qual pode ser determinada a partir de levantamento topográfico (Linsley & Franzini, 1978).

Segundo Baptista *et al.* (2001), os níveis e volumes operativos das barragens são (Figura 01):

- $NA_{mxm}$  = Nível máximo operativo normal;
- $NA_{min}$  = Nível mínimo operativo normal;
- $NA_m$  = Nível médio, situado entre o  $NA_{min}$  e o  $NA_{mxm}$ ;
- $NA_{mm}$  = Nível máximo *maximorum*, correspondente ao funcionamento nas condições de cheia de projeto;
- Borda livre = Altura entre o  $NA_{mm}$  e o topo da obra;
- Volume útil = Volume armazenado entre o  $NA_{min}$  e o  $NA_{mxm}$ ;

- Volume morto = Volume abaixo do  $NA_{min}$ ;
- Sobrearmazenamento = Volume que persiste somente enquanto dura a cheia, não pode ser retido.

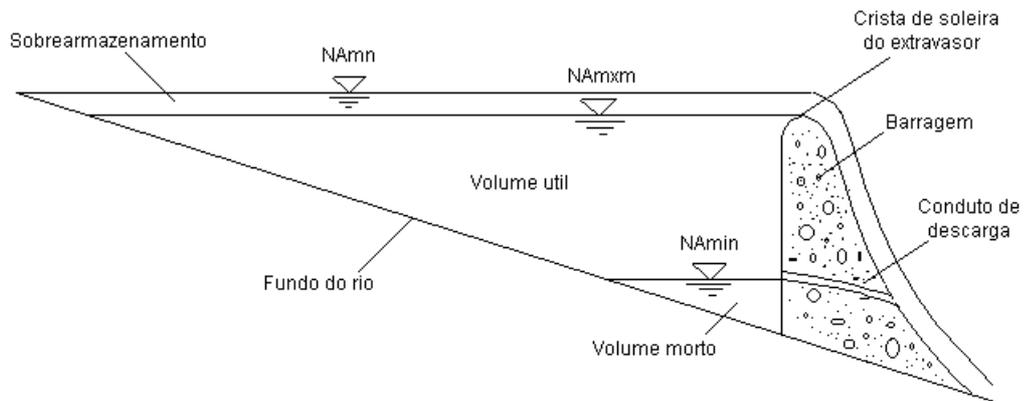


Figura 01. Níveis e volumes nas barragens.

Lanna (1993) cita que, em estudos de regularização de reservatórios deve-se ter atenção em relação aos volumes utilizados nas estimativas, considerando o armazenamento útil do reservatório, e não seu armazenamento real.

Segundo Linsley & Franzini (1978), um dos importantes aspectos do projeto de reservatórios de acumulação é o estudo da relação entre a vazão regularizada e a capacidade. A caudabilidade indica a quantidade de água que pode ser fornecida pelo reservatório em determinado período de tempo, esta variará a cada ano, na dependência das vazões de entrada.

Já a vazão firme é a vazão máxima que pode ser garantida durante um período crítico de estiagem. O período crítico é determinado como sendo o período correspondente às menores vazões naturais do rio. No entanto, sempre há a probabilidade de ocorrência de um período mais seco que o tomado como base, portanto, sugere-se lidar com as vazões em termos de probabilidade de ocorrência.

### 2.3.2. Escolha do volume inicial assumido para um reservatório

Segundo Studart *et al.* (2003a), na determinação da disponibilidade hídrica do sistema, há que se compreender o comportamento da vazão regularizada como função de vários parâmetros, dentre os quais citam o volume inicial assumido para o reservatório ( $V_0$ ) como sendo um dos parâmetros de maior influência nos valores iniciais da vazão regularizada. Os autores salientam que tal influência tende a tornar-se mais tênue com o passar do tempo.

Jeng (1967), usando um método analítico, criou uma equação para o processo de armazenamento, baseada em cerca de 2.000 pontos os quais representavam várias combinações entre capacidade do reservatório, volume inicial assumido para o reservatório e variância dos influxos, mostrou que quando  $V_0$  é igual a 50% da capacidade do reservatório, o processo de armazenamento converge mais rápido para o estado de equilíbrio.

Já Studart & Campos (2001) analisando a influência do volume inicial sobre os resultados de vazão regularizada do açude Caxitoré, no semi-árido Cearense sob duas condições de volume inicial:  $V_0$  igual a 0% e 100% da capacidade de armazenamento do reservatório determinaram que, dentre os volumes iniciais assumidos, aquele com o qual as vazões regularizadas apresentaram menor variabilidade foi  $V_0$  igual a 100% da capacidade do reservatório, indicando-o como um potencial candidato a estimador, no quesito eficiência.

No entanto, Studart *et al.* (2003b) em um trabalho que objetivou identificar um estimador para a vazão adimensional de equilíbrio considerando as propriedades do bom estimador: não tendenciosidade e eficiência concluíram que o Erro Médio cometido, para altos valores de coeficiente de variação das vazões afluentes e horizontes de simulação pequenos quando utilizado  $V_0$  igual a 100% da capacidade de armazenamento, é significativo. Assim sendo, o estimador “vazão

adimensional no estado de equilíbrio calculada através da simulação do reservatório considerando  $V_0$  igual a 100% da capacidade de armazenamento” não é um estimador justo da vazão adimensional de equilíbrio.

Tais autores utilizaram a técnica proposta por Studart (2000), denominada *fator de correção do viés*, para corrigir os valores do volume inicial. Este fator de correção transporta toda a curva, definida pelos valores da vazão regularizada para cada cenário de horizonte de simulação  $H$ , para valores muito próximos da vazão adimensional de equilíbrio, eliminando, por conseguinte, o viés originado ao simular-se o reservatório com  $V_0$  igual a 100% da capacidade de armazenamento.

Os resultados do trabalho acima citado indicaram ser possível o desenvolvimento de uma sistemática de parametrização e de um processo matemático que chegue a uma equação regional para a determinação do volume inicial de forma precisa e que possa ser aplicada a diversos locais diferentes.

No entanto, estudos de Studart & Campos (2001) acerca da relevância de uma escolha adequada dos volumes iniciais concluíram que, para rios com baixos valores de coeficiente de variação das vazões afluentes, típicos de regiões temperadas, a questão do volume inicial é totalmente irrelevante. Já para regiões Semi-Áridas, caracterizadas pela alta variabilidade dos deflúvios anuais, a realidade é outra. O volume inicial exerce uma enorme influência nos resultados obtidos para a vazão regularizada e precisa ser convenientemente estudado.

#### **2.4. Balanço hídrico dos reservatórios**

As mudanças do volume contido em um reservatório finito podem ser calculadas pelo balanço hídrico deste. Segundo Ferreira Filho & Borges (1982), a equação que define o balanço hídrico dos açudes baseia-se no princípio da equação da continuidade, a qual determina que

a quantidade de água que entra menos a quantidade de água que sai deve se igualar a variação da quantidade armazenada no reservatório para um determinado intervalo de tempo, sendo representada pela equação:

$$E - S = \frac{dv}{dt}$$

onde: E = fluxo de entrada do açude;

S = fluxo de saída do açude;

$dv/dt = \Delta V$  = variação do volume armazenado no açude para o intervalo de tempo considerado.

Os termos expressos à esquerda da equação acima englobam toda espécie de fluxos de entrada e saída possíveis, os quais: deflúvios, precipitação direta, evaporação, infiltração, vazão retirada, etc. Levando-se em conta estes componentes, a equação pode ser expressa da seguinte forma:

$$(VA + VP) - (VR + VV + VE + VI) = \Delta V$$

onde: VA = volume afluyente ao reservatório no intervalo de tempo considerado;

VP = volume precipitado sobre o reservatório no intervalo de tempo considerado;

VR = volume retirado do reservatório no intervalo de tempo considerado;

VV = volume vertido pelo vertedouro no intervalo de tempo considerado;

VE = volume evaporado do reservatório no intervalo de tempo considerado;

VI = volume infiltrado na bacia hidráulica no intervalo de tempo considerado;

$\Delta V$  = variação do volume armazenado no açude para o intervalo de tempo considerado.

Borges (1978), utilizou o método do balanço hídrico para estudar as disponibilidades hídricas do Vale do Rio Jaguaribe, no Estado do Ceará, determinando a quantidade de água disponível, a quantidade de água comprometida e a diferença entre estas duas variáveis. Dentre outros resultados, o autor concluiu que os recursos hídricos do vale permitem a irrigação de, no máximo, 50 mil ha e que, do volume total precipitado no Vale, apenas 8% se transforma em deflúvios.

Também Ferreira Filho & Borges (1982), utilizaram-se de tal metodologia. Os autores concluíram que há uma sub-utilização das águas do Açude Araras, devido ao elevado volume de água evaporada em relação ao seu consumo.

## **2.5. Descrição e medição dos termos do balanço hídrico**

### *2.5.1. Volumes afluentes no reservatório*

Como volume afluente deve-se entender aquele volume proveniente do escoamento superficial e do escoamento subterrâneo (escoamento de base) que chega até o açude (Ferreira Filho & Borges, 1982).

Conforme Villela & Mattos (1975), o volume que aflui em um reservatório no período de tempo ( $t_1$ ,  $t_2$ ) pode ser expresso pela equação:

$$VA = \int_{t_1}^{t_2} V_a \cdot dt$$

onde: VA = volume afluente ao reservatório no intervalo de tempo considerado;

$V_a$  = volume afluente ao reservatório integrado;

$t_1$  = momento em que inicia a simulação;

$t_2$  = momento em que termina a simulação;

$dt$  = derivada do tempo.

Também se pode representar tais volumes afluentes pelo diagrama de massas, que é definido por Villela & Mattos (1975) como sendo a integral da hidrógrafa, ou seja, a representação dos volumes acumulados que fluem num reservatório durante um determinado período de tempo.

A hidrógrafa de um período de observações de um ano pode apresentar vários períodos críticos, os quais representaram menores valores de vazões afluentes. Estes períodos críticos são claramente observados em regiões que apresentam estacionalidade nas precipitações, como na região nordeste do Brasil, já nos rios perenes do sul do país, a hidrógrafa é típica e não apresenta períodos críticos. No entanto, não é necessário que o período crítico esteja todo dentro de um ano sendo possível, então, a ocorrência também de períodos críticos em tais regiões, os quais são de difícil previsão.

Os volumes afluentes podem ser obtidos por diversas formas. Segundo Ferreira Filho & Borges (1982), quando de açudes com poucos afluentes, pode-se obter o volume afluente de forma direta, isto é, através da instalação de réguas linimétricas ou linígrafos; os quais fornecem o nível de água da seção transversal do rio; e da curva chave da referida seção.

Quando não há a disposição uma série de dados de vazão afluente suficientemente longa que permita abranger todo o período de estimativas, pode-se abrir mão de modelos precipitação-vazão. Tais modelos foram utilizados na determinação das curvas de regularização dos principais açudes da bacia do rio Itapicurú, os autores reconstituíram as vazões afluentes a partir do modelo de simulação do processo de transformação de chuvas em vazões em bacias hidrográficas (MODHAC).

Também Richter (1992), utilizou um modelo chuva-vazão (IPH-II) na determinação da vazão de regularização da Bacia do Arroio Grande, encontrando boa consistência entre as séries de vazões geradas e as séries de vazões observadas.

No entanto, apesar da modelagem chuva-vazão gerar dados de boa confiabilidade, é necessária antes a calibração do modelo, para o qual há a necessidade de se obter séries de vazões observadas e, para o caso de açudes com grande quantidade de rios, riachos e córregos contribuintes a instalação de estações de medição em cada um dos referidos afluentes seria não só dispendioso, como também de difícil controle e manutenção (Ferreira Filho & Borges, 1982).

Borges (1975) utilizando o método do balanço hídrico para estudar o comportamento hidro-agronômico de 47 açudes do Nordeste Brasileiro utilizou para o cálculo dados de vazões afluentes naturais de séries conhecidas; quando da disponibilidade destes dados; e dados calculados segundo as fórmulas simplificadas de Linsley. O autor encontrou boa correlação entre estes dados, concluindo que, na falta de dados observados, pode-se utilizar tal metodologia de cálculo para a determinação das vazões afluentes. Tal estudo serviu de base para formulação da política de irrigação do Nordeste Brasileiro e para a determinação das prioridades de investimento dos recursos do Governo Federal com vistas à elaboração de projetos de irrigação.

### *2.5.2. Volume precipitado sobre a bacia hidrográfica*

O termo precipitação inclui todas as formas de água depositada na superfície da terra e proveniente do vapor da atmosfera. As principais formas são neblina, chuva, granizo, geada e neve. A não ser que seja especificado de modo diferente, os termos precipitação e chuva são usados muitas vezes indiscriminadamente e aplicam-se a alguma ou a todas as formas acima discriminadas. A condensação sobre superfícies sólidas ou líquidas sob a forma de orvalho ou geadas é considerada, às vezes, como uma forma de precipitação (Wisler & Brater, 1964).

Dados de precipitação são de extrema importância em estudos hidrológicos. Trabalhos que buscam regularizar vazões utilizam dados de

precipitação ocorrente sobre a bacia para a determinação do volume de escoamento superficial que chega até os reservatórios, quando da impossibilidade da instalação de linígrafos nos afluentes deste.

Também se salienta a maior disponibilidade de dados de precipitação em relação aos dados de vazão. No entanto, apesar de sua maior disponibilidade, a densidade de postos, a falta de dados em intervalo menor que um dia e o tamanho das séries históricas são as maiores limitações à sua utilização, além das incertezas associadas aos dados (Tucci, 1998).

Segundo Tubelis & Nascimento (1980), a medida da precipitação é feita por pluviômetros e pluviógrafos. Esta medição consiste em determinar a espessura da camada de água líquida que se depositaria sobre a superfície horizontal, em decorrência da precipitação, caso não ocorresse evaporação, escoamento superficial e infiltração.

Dados observados de precipitação são utilizados pela grande maioria dos trabalhos relacionados com recursos hídricos. Borges (1975), utilizou dados fornecidos pela SUDENE, de uma série histórica de 57 anos, medidos por diversos postos pluviométricos do Nordeste Brasileiro. Para o cálculo da precipitação média em uma bacia, considerou vários períodos de acordo com o número existente de postos pluviométricos e, na existência de lacunas, tais foram preenchidas com valores interpolados entre registros de duas estações vizinhas, situadas em condições topográficas semelhantes.

Dentre os diversos estudos que utilizam séries de precipitações na simulação hidrológica, citam-se os trabalhos de Curi *et al.* (2001), Oliveira *et al.* (2001), Serrano *et al.* (2002) e Câmara *et al.* (2002), relacionados à otimização da operação de reservatórios no Nordeste Brasileiro; Carvalho *et al.* (2000), estudando a influência do número de anos da série histórica de dados climáticos no volume de água para irrigação; Villanueva *et al.* (1998), realizando o balanço oferta demanda do sistema Mirim-Mangueira, dentre outros.

Quando da impossibilidade da medição da precipitação, ou da inexistência de séries históricas, esta pode ser estimada através de mapas contendo as isoietas para um período desejado (Tubelis & Nascimento, 1980). No entanto, para utilizar-se dos dados do mapa das isoietas é necessário, previamente, estabelecê-lo. O procedimento é feito através da instalação de diversos pluviômetros sobre a área estudada para, de posse dos dados de precipitação anual, estacional, mensal, etc. poder-se traçar o citado mapa.

Também se pode estimar a precipitação através de modelos matemáticos de geração de precipitação. Tais modelos baseiam-se em características estatísticas das séries históricas de precipitações já observadas. Richter (1992), utilizou duas séries históricas de dados de precipitação, uma de 25 anos e outra de 30 anos, para a geração de um modelo markoviano de geração de precipitação diária. Os resultados demonstraram a dificuldade do modelo em reproduzir chuvas de pequena intensidade, superestimando as chuvas médias diárias e os totais anuais precipitados.

### *2.5.3. Volume precipitado sobre o espelho d'água*

Segundo Lanna (1993), o volume precipitado em um reservatório deve ser computado como produto de uma altura de precipitação por um intervalo de tempo  $p(t)$ , pela área de espelho líquido do reservatório. Esta área de espelho líquido é calculada em função do volume de armazenamento do reservatório, através de uma função que pode apresentar, entre outras possíveis, uma estrutura polinomial.

Tal metodologia de cálculo também foi utilizada por Ferreira Filho & Borges (1982). O autor cita que, para determinação do volume precipitado sobre o espelho d'água dos açudes deve-se instalar pluviômetros na periferia dos açudes, computando-se a precipitação média a partir dos dados obtidos pelos pluviômetros.

Realizando o balanço hídrico do Reservatório de Sobradinho, Acioli *et al.* (1992) utilizaram na determinação do volume precipitado diretamente sobre o reservatório dados advindos de 10 postos pluviométricos, distribuídos mais ou menos uniformemente nas proximidades dos reservatórios. Devido a tal uniformidade, os autores admitiram que cada posto cobria igual parcela sobre o lago, o que equivale a dizer que as precipitações médias mensais correspondem para cada mês à média aritmética dos referidos postos.

#### *2.5.4. Volume retirado do reservatório*

Segundo Ferreira Filho & Borges (1982), entende-se por volume retirado aquele volume d'água retirado dos açudes com o intuito de atender a qualquer tipo de demanda, tais como irrigação, abastecimento público, geração de energia elétrica, etc.

O volume de água retirado de um reservatório vai depender de diversos fatores, dentre eles, citam-se: o tipo de demanda, a cultura cultivada, o tipo de solo, a época do ano, o equipamento hidráulico e o próprio consumidor (Macedo, 1972).

A demanda representa a vazão que vai ser retirada do reservatório, em função da necessidade de consumo. Esta demanda pode ser constante ao longo do ano, ou pode variar grandemente, como no caso da irrigação no Sul do Brasil, onde a demanda por água se dá no período de cultivo das culturas, o verão. No entanto, em casos de demanda constante, esta pode ser obrigada a variar temporalmente devido a fenômenos de estiagens, que podem diminuir severamente a disponibilidade hídrica do reservatório.

Alem de variar ao longo do ano, a demanda também pode variar de acordo com as culturas cultivadas. Segundo Macedo (1972), a diversificação de culturas nos perímetros irrigados cria certas dificuldades na elaboração de calendários, permitindo certos erros na combinação dos

intervalos de cálculos de lâminas, o que vai influenciar na eficiência geral do perímetro.

No caso da irrigação, segundo Paz *et al.* (2000), esta eficiência do uso da água integra vários componentes, considerando-se, entre outros, as perdas que ocorrem nos reservatórios, na condução e na aplicação nas parcelas irrigadas. Métodos pouco eficientes tornam-se incompatíveis com as políticas atuais de uso da água, principalmente em regiões de disponibilidades restritas, como por exemplo, a irrigação por sulcos, em que apenas uma parcela, da ordem de 45% da água derivada, é efetivamente utilizada pelos cultivos.

Segundo Ferreira Filho & Borges (1982), para determinar o volume retirado de um reservatório, a ser utilizado para cada fim, deve-se colocar medidores de vazões em cada tipo de retirada de água dos açudes. No caso em que a retirada seja em canal à superfície livre, deve-se instalar um linígrafo ou régua linimétrica que, conjugado com a curva-chave da seção de medição, fornece o volume desejado. Caso a retirada seja em conduto forçado, dever-se-á instalar um hidrômetro, o qual fornece automaticamente o volume desejado.

Já Borges (1975) utilizou, para a determinação da demanda de água para irrigação e equação expressa a seguir:

$$WD = \frac{E_{tp} - P_{eff}}{0,6} = E_v \cdot e^{-\left(\frac{1,1 \cdot P}{0,6 \cdot E_v}\right)^{2,5}}$$

Onde: WD = Demanda de água para irrigação (m<sup>3</sup>);

E<sub>tp</sub> = uso consuntivo (m<sup>3</sup>);

P<sub>eff</sub> = Chuva efetiva mensal (m<sup>3</sup>);

E<sub>v</sub> = Valores mensais de evaporação (m<sup>3</sup>);

P = Chuva mensal (m<sup>3</sup>);

0,6 representa o coeficiente médio de uso consuntivo.

A equação acima representa o consumo de água mensal por unidade de área. Para a determinação da necessidade de água para todo

o perímetro, basta multiplicar o resultado obtido nesta equação pela área irrigada, em m<sup>2</sup>.

#### 2.5.5. Volume vertido pelo vertedouro

Segundo Campos & Studart (2001), a sangria forma a parte dos deflúvios sobre o qual o reservatório não exerce controle devido a seu tamanho finito.

O vertedor é o principal órgão de segurança de um reservatório e, segundo Baptista *et al.* (2001) pode ser conceituado como uma estrutura hidráulica destinada a efetuar a descarga das águas excedentes dos reservatórios sem ocasionar danos à barragem ou às estruturas hidráulicas adjacentes.

Segundo Dal’Forno (1996), a vazão que escoar através de um vertedouro pode ser determinada pela expressão:

$$Q = n \cdot l \cdot (h - h_0)^{1,5}$$

Onde: Q = vazão;

l = largura do vertedouro;

h = nível da água em determinado instante;

h<sub>0</sub> = altura do nível da soleira do vertedouro;

n = coeficiente que depende da forma da crista.

Neves (1974) atribui um limite de variação para o coeficiente n entre 1,55 e 2,196. O menor valor é utilizado se o perfil do vertedouro for de soleira plana e o maior valor, para o caso de crista arredondada.

Conforme Ferreira Filho & Borges (1982), a determinação do volume sangrado é de fácil avaliação quando se dispõe da curva de calibragem do vertedouro e quando a crista vertente é bem definida. Em casos em que não se tenha vertedouros com cristas vertentes bem definidas, urge a construção de cordões de fixação ou soleiras que devem ser devidamente calibradas, a fim de que se possa avaliar o volume sangrado nestes vertedouros. Um linígrafo instalado na bacia hidráulica

do açude pode, também, fornecer a lâmina vertente dispensando outras instalações à jusante do vertedouro.

#### 2.5.6. Volume infiltrado

Denomina-se infiltração como sendo o fenômeno de penetração da água nas camadas do solo próximas à superfície do terreno, movendo-se para baixo, através dos vazios, sob a ação da gravidade, até atingir uma camada suporte que a retém (Pinto *et al.*, 1976).

Na maioria dos casos as margens dos reservatórios são permeáveis, porém, apresentam permeabilidade tão baixa que as infiltrações não constituem problema. Fugas consideráveis somente podem ser observadas em casos em que as margens dos reservatórios forem de rocha muito fraturada, de material vulcânico permeável ou de calcáreo com cavernas (Linsley & Franzini, 1978).

Segundo Borges (1975), no caso dos açudes do Nordeste, cujo embasamento do cristalino aflora ou é pouco profundo, dever-se-á desprezar o volume infiltrado na bacia hidráulica, em virtude do mesmo ser insignificante em comparação à evaporação.

A região sul do Brasil apresenta grande variabilidade em relação ao material constituinte e à profundidade de seus solos, fatores preponderantes quando se leva em consideração a infiltração que pode ocorrer na bacia hidráulica. Conforme Streck *et al.* (2002), a diversidade geológica, climática e de relevo no Estado do Rio Grande do Sul originou uma grande variedade de tipos de solos, em que variações a curtas distâncias ocorrem principalmente devido ao fluxo de água superficial e subsuperficial e à ação humana.

Por tal razão, são de grande importância as fases de escolha e limpeza do local. Segundo Sabourin & Courcier (1992), deve-se efetuar estudos prévios sobre o local onde se pretende construir o açude, quando

serão consideradas as condições materiais do terreno, adequação solo, sua permeabilidade, dentre outros.

#### 2.5.7. Volume evaporado

Evaporação é definida por Pinto *et al.* (1976), como sendo o conjunto de fenômenos de natureza física que transformam em vapor a água da superfície do solo, dos cursos de água, lagos, reservatórios de acumulação e mares.

Segundo Tubelis & Nascimento (1980), as principais denominações utilizadas para a evaporação são:

- Evaporação de lago = Altura de água evaporada por uma superfície de água de grandes dimensões, livremente exposta às condições atmosféricas reinantes;
- Evaporação potencial = Altura de água que seria evaporada por uma extensa superfície de água pura, livremente exposta às condições atmosféricas reinantes do local;
- Evaporação à sombra = Altura de água que seria evaporada por uma extensa superfície de água pura, livremente exposta às condições atmosféricas reinantes, protegida da radiação solar e do céu.

Em regiões de baixa precipitação, as taxas de evaporação das superfícies das águas são geralmente altas e a conservação da água é de importância capital. Segundo Wisler & Brater (1964), no Reservatório de Stevens Creek, que acumula parte da água para o abastecimento de Broken Hill, na Austrália, foi relatado que, para cada galão de água bombeada, três são evaporados. Em regiões como esta, perdas por evaporação de tal amplitude são de grande interesse pois, se a evaporação pudesse ser reduzida de um terço, a água disponível para o abastecimento seria dobrada.

Tanto o planejamento de áreas agrícolas de sequeiro ou irrigada, a previsão de cheias ou a construção e operação de reservatórios,

requerem dados confiáveis de evaporação e/ou evapotranspiração (Tucci & Beltrame, 1993). Para tanto, é necessário definir, conforme os objetivos e a disponibilidade de dados e/ou de recursos, qual o melhor método que pode ser aplicado para a determinação desta variável.

Segundo Tubelis & Nascimento (1980), a evaporação potencial pode ser estimada por meio de métodos analíticos, de métodos envolvendo relações empíricas e através de evaporímetros e atmômetros.

A maneira mais usual para a determinação da evaporação é a medida desta através de evaporímetros e atmômetros. Segundo Tubelis & Nascimento (1980), os evaporímetros são tanques que contém a água diretamente sujeita à evaporação, o principal evaporímetro em uso no Brasil é o tanque Classe A, mas também se encontra em uso o evaporímetro de balança tipo Wild. Já os atmômetros fazem uso de uma superfície porosa através da qual ocorre evaporação. No Brasil, o atmômetro mais difundido é o atmômetro de Piche.

O método analítico consagrado na estimativa da evaporação é o método de Penman, o qual necessita, para sua aplicação, dados de temperatura média, umidade relativa do ar, radiação solar e número de horas de incidência solar real (Tucci & Beltrame, 1993).

Já as equações empíricas; segundo os mesmos autores; baseiam-se usualmente na equação aerodinâmica e devem ser utilizadas com muito cuidado, pois foram estabelecidas com base no ajuste por regressão das variáveis envolvidas para algumas regiões e condições específicas.

Ferreira Filho & Borges (1982), utilizando a metodologia do balanço hídrico dos açudes para determinação da vazão de regularização, fizeram uso de uma estação evaporimétrica para a determinação do volume evaporado do açude. Segundo os autores, a estação evaporimétrica deve constar, no mínimo, de um tanque Classe A e de um pluviômetro, instalado ao lado do tanque, nas vizinhanças dos açudes. A instalação do

citado pluviômetro objetiva auxiliar o cálculo da evaporação do tanque, na hipótese de ocorrer precipitação.

Já Borges (1975), utilizou dados de tanques Classe A fornecidos pela SUDENE, de períodos de observação que variaram de 2 a 8 anos, para a determinação da disponibilidade hídrica dos principais açudes do Nordeste Brasileiro.

Assim como a precipitação, também a evaporação em um reservatório é calculada como um produto da taxa de evaporação  $e(t)$ , em altura de lâmina de água evaporada por unidade de tempo, pela área do espelho líquido do reservatório (Lanna, 1993).

## **2.6. O Modelo Thomas-Fiering na geração de séries de precipitação e evaporação**

Segundo Clarke (1973), quando se considera variáveis aleatórias do tipo: precipitação, volume de reservatórios, evaporação, vazão, etc.; a seqüência de ocorrência dos eventos é extremamente importante e o tempo passa a estar envolvido na análise. Por tal motivo, o processo passa a ser chamado de estocástico.

Na geração de séries sintéticas de variáveis estocásticas desta natureza, os principais modelos disponíveis são: O modelo HEC-4, o modelo Thomas-Fiering (baseado na distribuição gama), o modelo Matalas (baseado na distribuição log normal) e o modelo Kartvelishvili. Estes modelos têm sido aplicados em muitas bacias hidrográficas, inclusive em regiões semi-áridas onde as precipitações só ocorrem eventualmente (Streamflows yields, 2004).

Conforme Clarke (1973), as seguintes premissas são adotadas para os modelos deste tipo:

- A seqüência de precipitações, evaporações, vazões, etc. observadas é apenas uma realização do sistema hidrológico que se estabeleceu durante milhões de anos;

- É esperado que a natureza esteja em equilíbrio, chamado de estacionário;
- As propriedades estatísticas são consideradas independentes no tempo;
- Existindo uma seqüência de precipitações, evaporações, vazões, etc. observadas com certas propriedades estatísticas, é possível que haja outras seqüências, não necessariamente iguais à observada, mas que possuam as mesmas propriedades estatísticas;
- As propriedades estatísticas relevantes dependem da natureza dos processos geradores das seqüências e, quando estas respeitam a ordem de ocorrência, são chamadas de séries temporais.

A análise de séries temporais tem sido utilizada na geração estocástica de dados hidrológicos em diferentes locais. Nicks & Harp (1980) utilizaram o modelo Thomas-Fiering para gerar dados de temperatura e radiação solar em Oklahoma, U.S.A. Os autores concluíram que o modelo foi adequado para a geração de séries sintéticas de mesmo período da série observada.

Tsakiris (1986) usou os modelos Thomas-Fiering, Two-Tier e o método dos fragmentos na geração de dados mensais de evapotranspiração potencial na Grécia. O autor concluiu que o modelo Two-Tier foi o mais satisfatório para a geração de séries de evapotranspiração potencial mensal, isto quando aplicado independentemente da precipitação.

Al-Eid (1993) investigou a geração estocástica de séries de evaporação anual e mensal para dez locais na Arábia Saudita, utilizando um modelo Markoviano de primeira ordem para geração de séries de evaporação anual e três modelos auto-regressivos (Fragmentos, Thomas-Fiering e Two-Tier) para gerar séries de evaporação mensal. Foram comparados os parâmetros estatísticos das séries geradas com os parâmetros estatísticos dos dados históricos. O autor concluiu que o modelo utilizado na geração das séries anuais foi considerado satisfatório

pois preservou os parâmetros estatísticos das séries históricas e, entre os três modelos mensais utilizados o modelo Thomas-Fiering foi o melhor na preservação dos parâmetros estatísticos das séries históricas.

Al-Shaikh (2000), utilizou o modelo AR(1) na geração de dados anuais de evaporação e o método dos fragmentos para a geração de dados mensais de evaporação a partir de uma série histórica de 22 anos de evaporação observada na Arábia Saudita. Dentre outras recomendações, o autor concluiu que ambos os modelos apresentaram resultados satisfatórios quando comparados os parâmetros: média, desvio padrão e coeficiente de correlação das séries geradas e observadas. Recomenda ainda a utilização de outros modelos, como o modelo AR(2); para a geração de dados anuais; e os modelos Two-Tiers e Thomas-Fiering; para a geração de dados mensais.

O modelo Thomas-Fiering tem sido amplamente utilizado na geração de séries temporais de precipitação e evaporação. O método consiste no uso de doze equações de regressão linear, sendo estas entre o mês que se está estudando e o mês que o antecede (janeiro e dezembro, fevereiro e janeiro, etc.). Destas equações obtém-se o coeficiente de regressão:  $b_j$ , utilizado diretamente no modelo. Para que os parâmetros nas equações de regressão sejam calculados com precisão razoável, sugere-se que o método seja usado com cuidado se menos de doze anos de dados históricos estiverem disponíveis (Clarke, 1973).

## **2.7. Reservatórios em série**

Segundo Sabuirin & Courcier (1992) quando se constrói um açude grande demais, além dos altos custos para a construção e de grandes áreas serem inundadas, o açude encherá e sangrará raramente, o que pode provocar a salinização da água do açude e prejuízos para as propriedades situadas a jusante, que raramente receberão água do

riacho.

Campos *et al.* (2000), analisando o impacto cumulativo da pequena açudagem sobre o açude Várzea do Boi, no Ceará, utilizaram o programa computacional REDERES, desenvolvido pela ENGESOFT, o qual emprega a metodologia utilizada para o desenvolvimento do *Método do diagrama triangular de regularização*, autoria de Campos (1996). Os autores constataram que, sem os açudes à montante, o reservatório Várzea do Boi regularizaria 5,85 hm<sup>3</sup>/ano. Com a introdução da pequena açudagem, o conjunto de todos os açudes regulariza 3,86 hm<sup>3</sup>/ano, dos quais 2,69 hm<sup>3</sup> referem-se ao Várzea do Boi.

Já Sá *et al.*, (1992), estudando o efeito do fechamento dos túneis de desvio do reservatório de Xingo à jusante do aproveitamento concluíram que estes efeitos foram observados até 160 Km do local de estudo, ponto em que o fechamento não causou nenhum efeito quanto à oscilação de nível da calha do rio. A máxima oscilação observada foi de 3,80 metros na seção logo a jusante (Piranhas), no intervalo de 12 horas, ou seja, uma taxa de rebaixamento de 0,32 m por hora.

Os autores citam que tal impacto adquire maior importância durante os períodos de estiagem que apresentam alguns anos seguidos com pluviosidade entre a média e abaixo da média histórica, observado principalmente nas bacias que têm maior concentração de pequenos reservatórios.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Descrição da área de estudo

O presente estudo apresenta uma proposta metodológica para o estudo de uma situação conflitante que vem sendo observada na área em questão. Tal problema teve início quando da construção de um reservatório (denominado reservatório n°3), aproximadamente 500 metros a montante de outro reservatório pré-existente (reservatório n°1), o que, supostamente influenciaria o regime hidrológico e, conseqüentemente, a vazão afluente ao reservatório n°1. A situação pode ser visualizada na Figura 02.

Ambos reservatórios estão situados na Estância Chapadão, de propriedade de Janete Terezinha Fros, localizada no Capão do Angico, 2° Subdistrito (Itapororó), no Município de Alegrete, sub-bacia do Rio Itapororó da bacia hidrográfica do Rio Ibicuí. A bacia hidrográfica contribuinte aos dois reservatórios encontra-se entre as coordenadas planas (Sistema UTM) 582.850 e 585.800 Oeste; e, 6.731.900 e 6.835.600 Sul, com origem no MC 51° oeste e acrescidos das constantes 500 Km leste e 10.000 Km sul. Tais coordenadas foram determinadas na folha topográfica Inhanduí, identificada por DSG-MI 2960/2, Folha SH.21-X-C-V.2, em escala 1:50.000.

A bacia hidrográfica do reservatório n°1 apresenta uma área de 532 ha. A parte desta bacia que fica interceptada pelo reservatório n°3 é de 200 ha, o que representa 37,6% da área total. Ambas áreas também foram determinadas na folha topográfica Inhanduí.

Afluentes ao reservatório n°3 são visualizados três cursos d'água de regime intermitente, dois situados ao sul e o terceiro, a oeste do reservatório. Já no reservatório n°1 foram identificados cinco cursos d'água afluentes, também de regime intermitente, dois situados à leste e três à oeste do referido reservatório. Além destes cinco descritos, o

reservatório n°1 também recebe as águas excedentes do reservatório n°3, através de um curso d'água que liga os dois reservatórios.

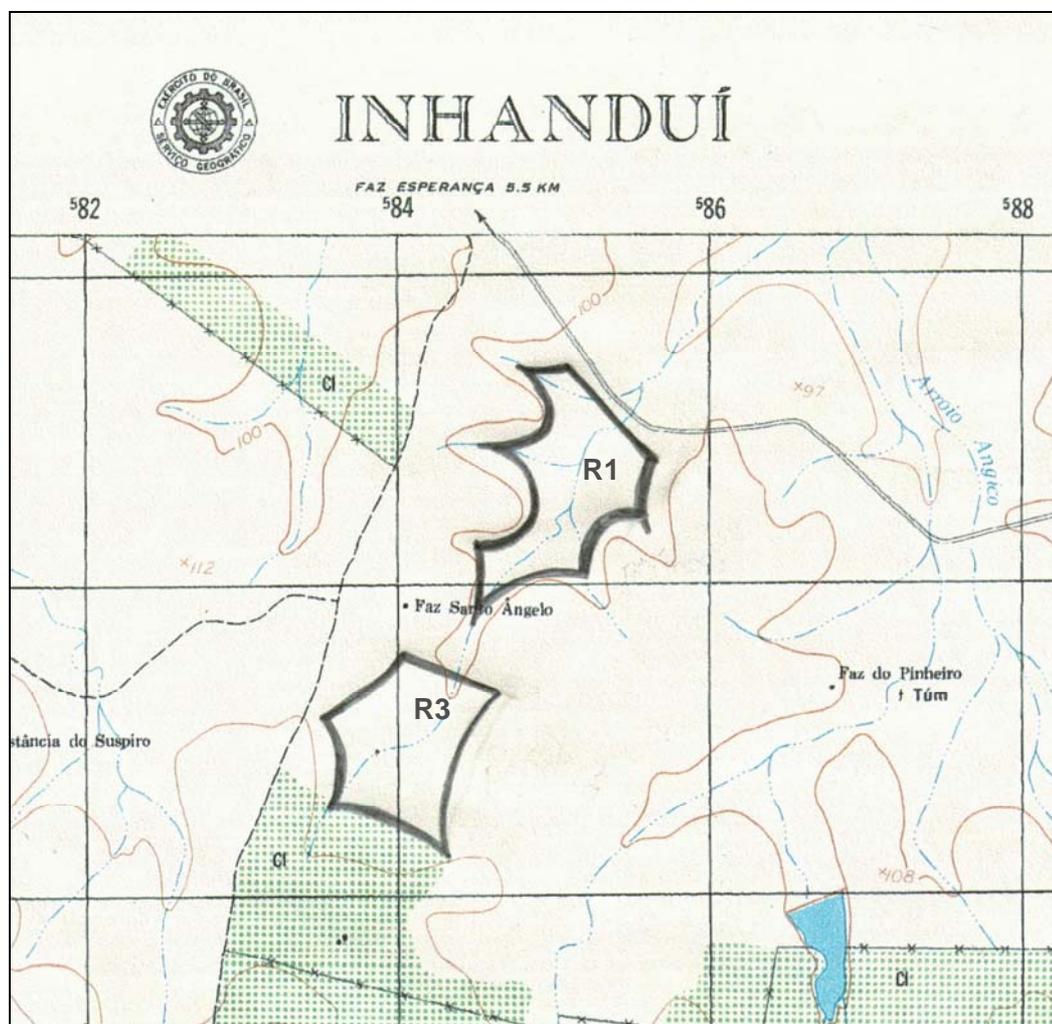


Figura 02. Localização dos Reservatórios n°1 e n°3. Alegrete/RS.

Fonte: Folha topográfica Inhanduí (DSG-MI 2960/2), Folha SH.21-X-C-V.2

### 3.1.1. O reservatório n°1

De acordo com o projeto técnico do reservatório n°1, a largura de coroamento adotada no projeto foi de 7,50 metros. A orla de segurança adotada foi de 1,20 metros. A inclinação do talude, à montante, deve ser de 1:3 e este deve ser recoberto por uma camada de rochas de 0,30

metro de espessura. O nível normal deve encontrar-se a uma cota de 10,50 metros, nível em que a água alagada deve cobrir 64,2 ha, com um volume armazenado de 3.039.750 m<sup>3</sup> (Gutterres, 1986).

No entanto, segundo Tirelli (2002), as condições atuais em que se encontra o maciço do reservatório n°1 são precárias, fato que se deve a erosão da parte frontal do maciço, a montante.

A largura do maciço, em seu coroamento, atualmente, é irregular, variando de 0,60 a 3,00 metros. A orla de segurança é de 1,30 metro e a altura total do maciço é de 10,65 metros. A área alagada quando em nível normal é de 57,26 ha. Conforme o projeto, quando o lago estivesse com esta área, a cota seria de aproximadamente 9,35 metros, nível onde o volume armazenado é de 2.400.000 m<sup>3</sup>, bem inferior ao volume projetado.

### *3.1.2. O reservatório n°3*

As obras do reservatório n°3 tiveram início em março de 2000 sendo que, em agosto de 2001 esta já encontrava-se concluída. A obra foi construída de forma irregular e até o presente momento não se encontra regularizada.

Conforme o memorial descritivo da obra, realizado por Elesbão (2003), esta possui um comprimento de 462 metros e uma largura de 2,5 metros, ao nível do coroamento. Em sua base, a largura máxima é de 34 metros. Os taludes de montante e de jusante apresentam inclinações de 1:2,5 e 1:2, respectivamente, sendo o talude de jusante e o coroamento protegidos por grama. No talude de montante não há proteção.

A altura total do maciço é de 7 metros, sendo a orla de segurança de 0,95 metro. Pela diferença entre as duas alturas, obtém-se a altura do nível normal, de 6,05 metros.

O vertedouro está localizado na ombreira direita da barragem, a uma distância de 20 metros desta, apresentando taludes de 1:1, altura de 0,40 metro, largura de 15 metros e comprimento total de 150 metros.

Weimann (2000) executou o projeto para a construção do Reservatório nº3. A partir do quadro demonstrativo de áreas e volumes feito neste projeto (Tabela 01), foi obtido o volume armazenado no reservatório quando em NN, atualmente. Segundo Elesbão (2003), hoje, a área de alagado do reservatório, quando em NN, é de 23,33 ha, a uma altura de 6,05 metros. Conforme o quadro de áreas e volumes, na cota de 6.05 metros, o volume armazenado é de 550.000 m<sup>3</sup>.

Tabela 01. Demonstrativo das áreas alagadas e dos volumes armazenados para cada cota do reservatório, conforme o projeto de construção do reservatório nº3, Alegrete/RS.

Cotas (m)	Áreas (m <sup>2</sup> )	Volumes parciais (m <sup>3</sup> )	Volumes totais (m <sup>3</sup> )
6,50	299.127	128.262	672.510
6,00	213.922	167.101	544.248
5,00	120.280	200.966	377.147
4,00	80.686	67.946	176.181
3,00	55.206	85.740	108.235
2,00	30.534	22.495	22.495
1,00	14.456	-	-

### 3.1.3. Os volumes disponíveis a cada usuário

O reservatório nº1 foi construído com o intuito de atender a demanda de água de dois usuários, denominados usuário A e usuário B. Ao usuário A cabe 60% do volume total do reservatório, o que representaria um volume de 1.823.850 m<sup>3</sup>, o restante do volume disponível no reservatório (40%), cabe ao usuário B, o que deveria representar um volume de 1.215.900 m<sup>3</sup>.

Hoje, no entanto, o referido reservatório dispõe de um volume armazenado bem inferior ao projetado, o que levou a um comprometimento das lavouras dos dois usuários e, conseqüentemente, a

uma disputa judicial sobre a verdadeira disponibilidade de água para cada um dos usuários. Atualmente, o volume disponível no reservatório nº1 é de 2.346.000 m<sup>3</sup>. Ao usuário A, por ter direito a 60% do volume, cabe 1.440.000 m<sup>3</sup> e, ao usuário B, com direito a 40% do volume, cabe 960.000 m<sup>3</sup>.

Não bastasse tal problema, o usuário B, por necessitar de uma quantidade maior de água, construiu um segundo reservatório, o reservatório nº3, o que gerou um conflito ainda maior. O reservatório nº3 possui um volume armazenado; quando em NN; de 550.000 m<sup>3</sup>.

Segundo Tirelli (2002), o usuário B possui uma área irrigável de 267 ha, a qual irriga com o volume de água que lhe cabe do reservatório nº1, com a água do reservatório nº3 e ainda com a água de um terceiro reservatório, o reservatório nº2. Como o reservatório nº2 não é objeto deste estudo, por estar situado em outra bacia hidrográfica que não a estudada, considerar-se-á que a área irrigada pelo usuário B é aquela cujo volume disponível a este é capaz de irrigar.

#### *3.1.4. Vegetação*

Buscando uniformizar conceitos e dar mais precisão ao sistema de classificação fisionômico-ecológico brasileiro, o Projeto RADAMBRASIL subdividiu o estado em nove Regiões fitoecológicas ou fitogeográficas, sendo elas: Região da Floresta Ombrófila Densa (Floresta Atlântica), Região da Floresta Ombrófila Mista (Floresta de Araucária), Região da Floresta Estacional Semidecidual (Floresta Subcaducifólia), Região da Floresta Estacional Decidual (Floresta Caducifólia), Região de Savana (Cerrado e Campo), Região de Estepe (Campanha Gaúcha), Região de Savana Estépica (Campanha Gaúcha), Áreas de Formações Pioneiras de Influência Marinha (Restingas e Dunas), Área de Tensão Ecológica (Contatos), além destes, Leite & Klein (1990) ainda citam a formação Parque do Espinilho.

Segundo tal classificação, a área em estudo pertence à Região de Estepe (Campanha Gaúcha). Conforme Leite (2002), esta região estende-se na porção sul do RS, incluindo os pampas ondulados, a depressão central gaúcha e grande parte da campanha e do escudo, continuando pela República do Uruguai.

São identificadas principalmente duas formações fitofisionômicas distintas: a estepe herbáceo-graminóide e a arbóreo aberta. A primeira, em relevo uniforme, é mais ampla e muito pobre em lenhosas. A segunda encontra-se sob forte impacto antrópico, apresentando inclusões de estepe parque (tipo com poucas espécies de indivíduos arbustivo-arbóreos perenifólios com idêntica fisionomia). Era possível encontrar cerca de 23 espécies de gramíneas e 46 de herbáceas antes do generalizado impacto antropogênico. Ainda são observadas com certa frequência macegas (*Erianthus* sp.), capim-caninha (*Andropogon lateralis*), capim-barba-de-bode (*Aristida pallens*), grama-forquilha (*Paspalum notatum*) e diversas compostas.

Mais especificamente, a bacia hidrográfica em questão pertence à primeira formações fitofisionômica: estepe herbáceo-graminóide, com presença única exclusiva de gramíneas e herbáceas, não sendo possível visualizar qualquer espécie arbóreo-arbustiva. Em bacias hidrográficas adjacentes são observados plantios homogêneos de espécies exóticas, como *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp.

### 3.1.5. Solo

Conforme Elesbão (2002), na bacia hidrográfica estudada o solo pertence à unidade de mapeamento Virginia.

Segundo Brasil (1973), os solos da unidade de mapeamento Virginia ocorrem na fronteira do Rio Grande do Sul, nos municípios de Itaqui, Alegrete, Uruguaiana e São Borja, ocupando uma área de 2.460 Km<sup>2</sup>, o que representa 0,91% da área do Estado.

Esta unidade de mapeamento apresenta solos do tipo Brunizem Hidromórfico, os quais são solos medianamente profundos, bruno amarelados, imperfeitamente drenados, apresentando horizonte B textural. São formados a partir de sedimentos de basalto. A composição granulométrica dos horizontes A, B e C, apresenta valores médios de 5% de areia, 39% de silte e 56% de argila.

Tais solos apresentam capacidade de permuta de cátions alta, saturação de bases com valores de médio a altos no horizonte A e altos nos horizontes B e C, valores de bases permutáveis elevados, teores de matéria orgânica médios, baixos valores de fósforo disponível e são fortemente ácidos no horizonte A e neutros a moderadamente alcalinos nos horizontes B e C.

#### *3.1.6. Geologia e relevo*

Segundo Brasil (1973), as formações geológicas da região de Alegrete datam do período Permiano, o qual apresenta como característica litológica a presença dos seguintes tipos de rochas: siltitos, folhelhos e arenitos.

O grupo Passa Dois; característico de tal período; constitui-se de duas formações geológicas, Estrada Nova e Iratí, e localiza-se entre o grupo Tubarão e a formação Santa Maria. As rochas desta formação têm como característica comum dar origem a solos medianamente profundos onde predominam as cores escuras.

Em relação ao relevo, a área em estudo pertence à região da Campanha. Tal região localiza-se a sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, compreendendo uma área de 40.000 Km<sup>2</sup>. A altitude média varia em torno dos 100 metros. As formas mais suaves de relevo são encontradas nas áreas em que predomina o basalto.

A topossequência mais freqüente na região da Campanha revela que, na parte onde houve menor penetração de água, formou-se a

unidade de mapeamento Pedregal (solos litólicos) e, na parte plana ou abaciada do relevo, as unidades Escobar (vertisol) ou Uruguaiana (brunizem hidromórfico cálcico). A diversidade do regime hídrico fez com que as bases lixiviadas das partes mais elevadas fossem drenadas para a porção inferior, dando origem a solos negros, ricos em cálcio e magnésio e com teores elevados de argilas montmoriloníticas.

### 3.1.7. *Clima*

Conforme Brasil (1973), em 1950, Mota classificou o clima do Rio Grande do Sul no sistema de Köppen e verificou a ocorrência de duas variedades específicas:

- “Cfa”: clima subtropical (ou Virginiano), úmido sem estiagem. A temperatura do mês mais quente é superior a 22°C e a do mês menos quente varia de 3 a 18°C;
- “Cfb”: clima temperado (ou das Faias) em que a temperatura do mês mais quente é inferior a 22°C.

As variedades específicas “Cfa” e “Cfb” podem ser divididas em subtipos individualizados pela isoterma anual de 18°C. Moreno (1961) dividiu o clima do estado nos seguintes subtipos:

- Cfa 1: onde a isoterma anual é inferior a 18°C;
- Cfa 2: onde a isoterma anual é superior a 18°C;
- Cfb 1: com isoterma anual inferior a 18°C.

Mais especificamente, a região de estudo pertence ao clima Cfall2a, com temperatura média do mês mais quente igual a 24,8°C e temperatura média anual de 19,3°C. A precipitação média anual varia de 1400 a 1500 mm.

### 3.2. Balanço hídrico do reservatório

A dinâmica hídrica de um reservatório afetado pela construção de um outro reservatório em uma mesma bacia de captação é estudada através da equação que modela a variação do volume do reservatório em função do tempo, expressa por:

$$\Delta V = V_0(t_1) + \int_{t_1}^{t_2} V_a \cdot dt + \int_{t_1}^{t_2} V_p \cdot dt - \int_{t_1}^{t_2} V_e \cdot dt - \int_{t_1}^{t_2} V_r \cdot dt - \int_{t_1}^{t_2} V_v \cdot dt$$

onde:  $\Delta V$  = variação do volume armazenado no açude para o intervalo de tempo considerado;

$V_0$  = volume inicial assumido para o reservatório;

$t_1$  = momento em que inicia a simulação;

$t_2$  = momento em que termina a simulação;

$V_a$  = volume afluente ao reservatório integrado;

$V_p$  = volume precipitado sobre o reservatório integrado;

$V_e$  = volume evaporado do reservatório integrado;

$V_r$  = volume retirado do reservatório integrado;

$V_v$  = volume vertido do vertedouro integrado;

$dt$  = derivada do tempo.

que representa um balanço entre os volumes que entram e os volumes que saem do reservatório em estudo, a partir de um volume inicial contido no reservatório.

#### 3.2.1. Volume inicial assumido para o reservatório

As atuais áreas das bacias hidráulicas dos reservatórios n°1 e n°3, na cota do nível normal da água, isto é, a área alagada, foram determinadas com o auxílio de um Taquímetro (Estação Total), utilizando-se o processo de irradiação ao redor dos açudes. A partir das áreas alagadas e das respectivas cotas atuais em que se encontram os níveis normais dos reservatórios, foram obtidos os volumes armazenados para a

cota, obtida a partir do levantamento topográfico inicial de cada reservatório.

O NN do Reservatório n°1 encontra-se, atualmente, a uma cota de 9,35 metros. Segundo o projeto inicial, nesta cota, o volume armazenado é de 2.346.000 m<sup>3</sup>, aproximadamente. Já o NN do Reservatório n°3 encontra-se, atualmente, a uma cota de 6,05 metros, o que corresponde a um volume armazenado de 550.000 m<sup>3</sup>, aproximadamente, segundo o projeto inicial.

Quando do início do período de simulação, o volume inicial do reservatório  $V_0(t_0)$  foi determinado a partir da seguinte expressão:

$$V_0(t_1) = K_3 \cdot Cr$$

onde:  $V_0$  = volume inicial assumido para o reservatório;

$t_1$  = momento em que inicia a simulação;

$K_3$  = coeficiente que varia de 0% (quando reservatório vazio) a 100% (quando reservatório cheio);

$Cr$  = capacidade de armazenamento do reservatório, no NN.

### 3.2.2. Contribuição da bacia hidrográfica

O volume de contribuição  $V_a$  (m<sup>3</sup>) que entra no reservatório foi calculado através da equação racional, que é representada pela seguinte expressão:

$$VA = \int_{t_1}^{t_2} V_a \cdot dt = 10 \cdot C \cdot P \cdot A$$

onde:  $VA$  = volume afluente ao reservatório no intervalo de tempo considerado;

$V_a$  = volume afluente ao reservatório integrado;

$t_1$  = momento em que inicia a simulação;

$t_2$  = momento em que termina a simulação;

$dt$  = derivada do tempo.

$C$  = coeficiente de escoamento superficial;

P = precipitação mensal (mm);

A = área da bacia hidrográfica ou de captação (ha);

10 representa um fator de conversão = mm multiplicados por ha igual a m<sup>3</sup>.

### 3.2.2.1. Coeficiente de Escoamento Superficial

O coeficiente de escoamento superficial C é dado em função do tipo de solo, da declividade do terreno e da cobertura vegetal e pode ser encontrado em tabelas fornecidas por vários autores. Os valores de C, em função dos diferentes fatores considerados, podem ser visualizados nas Tabelas 02 e 03 (Millar, 1978).

Segundo a Tabela 02, considerando que a bacia de captação possui uma declividade de 1,5 %, que é totalmente coberta por pastagens e que a composição granulométrica do solo é de 5% de areia, 39% de silte e 56% de argila, obtém-se um C = 0,35.

Considerando que a bacia de captação possui uma declividade de 1,5% (C3 = 0,08), que é 100% coberta com pastagens (C1 = 0,08) e que a composição granulométrica do solo é de 5% de areia, 39% de silte e 56% de argila (C2 = 0,23), obtém-se C = 0,39.

O valor do coeficiente de escoamento superficial adotado no presente estudo foi a média aritmética dos valores obtidos pelas duas tabelas, isto é, C = 0,37.

Tabela 02. Valores de C em função do solo, da declividade e da cobertura vegetal.

Declividade (%)	Cobertura vegetal	Solos		
		Arenosos	Francos	Argilosos
0 – 5		0,10	0,30	0,40
5 – 10	Florestas	0,25	0,35	0,50
10 – 30		0,30	0,50	0,60
0 – 5		0,10	0,30	0,40
5 – 10	Pastagens	0,15	0,35	0,55
10 – 30		0,20	0,40	0,60
0 – 5		0,30	0,50	0,60
5 – 10	Terras cultivadas	0,40	0,60	0,70
10 – 30		0,50	0,70	0,80

Fonte: Millar, 1978. Drenagem de terras agrícolas, p.55.

Tabela 03. Componentes C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> e C<sub>3</sub> do Coeficiente C de McMath.

Vegetação		Solo		Topografia	
Cobertura	C <sub>1</sub>	Textura	C <sub>2</sub>	Declividade	C <sub>3</sub>
100%	0,08	Arenosa	0,08	0 – 0,2%	0,04
80 – 100%	0,12	Ligeira	0,12	0,3 – 0,5%	0,06
50 – 80%	0,16	Média	0,16	0,6 – 2%	0,08
20 – 50%	0,22	Fina	0,22	2,1 – 5%	0,10
0 – 20%	0,30	Argilosa	0,30	5,1 – 10%	0,15

Fonte: Millar, 1978. Drenagem de terras agrícolas, p.57.

### 3.2.2.2. Área da bacia hidrográfica

No presente trabalho, as áreas das bacias hidrográficas de ambos reservatórios foram obtidas a partir de digitalização da superfície destas no *software* SITER 21. Para tal, utilizou-se a folha topográfica Inhanduí, na escala 1:50.000. As áreas obtidas foram de 532 ha para o reservatório

n°1 e de 200 ha, para o reservatório n°3. Quando considerada a existência do reservatório n°3 nas simulações, a área da bacia hidrográfica do reservatório n°1 ficou reduzida a 332 ha.

De posse das áreas das bacias hidrográficas, procedeu-se a determinação das áreas das bacias de contribuição de ambos reservatórios. Tal área foi obtida descontando as áreas das bacias hidráulicas das áreas das bacias hidrográficas. Como as áreas das bacias hidráulicas obtidas foram de 57 ha e de 16 ha, respectivamente, para os reservatórios n°1 e n°3, as áreas das bacias de contribuição resultantes foram de 475 ha e de 184 ha, respectivamente, para ambos reservatórios. Quando considerada a existência do reservatório n°3, a área da bacia de contribuição do reservatório n°1 ficou reduzida a 275 ha.

### 3.2.2.3. Precipitação mensal

Os dados observados de precipitação pluviométrica mensal foram obtidos no endereço eletrônico <[www.hidroweb.gov.br](http://www.hidroweb.gov.br)> mantido pela Agência Nacional das Águas (ANA). Foram utilizados dados de quatro estações pluviométricas (Tabela 04), selecionadas conforme a proximidade do local de estudo. A série final de precipitações mensais observadas foi obtida através da média aritmética dos dados pluviométricos destas quatro estações. Estes dados, assim como a série final utilizada podem ser visualizados no Anexo 01. Os volumes médios mensais e anuais de precipitação observada para cada estação selecionada podem ser visualizados na Tabela 05.

De posse da série final de precipitações pluviométricas mensais observadas foi utilizado o modelo Thomas-Fiering para a geração de séries sintéticas de precipitações pluviométricas mensais. Tal modelo é representado pela seguinte equação:

$$q_{i+1} = \bar{q}_{j+1} + b_j \cdot (q_i - \bar{q}_j) + z_i \cdot S_{j+1} \cdot \sqrt{1 - r_j^2}$$

onde:  $q_i$  e  $q_{i+1}$  = volumes precipitados durante o mês  $i$  e o mês  $i+1$ , respectivamente;

$\bar{q}_j$  e  $\bar{q}_{j+1}$  = precipitação mensal média dos meses  $j$  e  $j+1$ , respectivamente;

$b_j$  = coeficiente de regressão;

$z_i$  = números aleatórios normalmente distribuídos,  $N(0;1)$ ;

$S_{j+1}$  = desvio padrão das precipitações do mês  $j+1$ ; e,

$r_j^2$  = coeficiente de correlação entre precipitações dos meses  $j$  e  $j+1$ .

Conforme Al-Shaikh (2000), a validade do modelo deve ser testada comparando-se as características estatísticas: média, desvio padrão e coeficiente de correlação das séries gerada e observada.

Para verificar a precisão das médias dos dados gerados, foi estabelecido um intervalo de confiança para cada mês do ano dentro do qual a média mensal dos valores de precipitações gerados pelo modelo deveria estar. Este intervalo foi obtido a partir da equação:

$$\bar{E}_i - t_{(1-\alpha; n_i-1)} \cdot S_x < \mu_i < \bar{E}_i + t_{(1-\alpha; n_i-1)} \cdot S_x$$

onde:  $\bar{E}_i$  = precipitação média observada para o mês  $i$ ;

$t$  = valor tabelado conforme a distribuição  $t$  de Student;

$\alpha$  = erro admitido;

$n$  = número de dados observados no mês  $i$ ;

$\mu$  = média dos dados gerados para o mês  $i$ ;

$S_x$  = Desvio padrão da média dos dados observados, dada pela equação:

$$S_x = \frac{S_i}{\sqrt{n_i}}$$

onde:  $S$  = desvio padrão dos dados observados no mês  $i$ .

Para verificar a precisão dos desvios padrão dos dados gerados, o intervalo de confiança para cada mês do ano foi obtido a partir da equação:

$$\frac{(n_i - 1) \cdot S_i}{X^2 \cdot (1 - \alpha; n_i - 1)} < \sigma < \frac{(n_i - 1) \cdot S_i}{X^2 \cdot (\alpha; n_i - 1)}$$

onde:  $n$  = número de dados observados no mês  $i$ ;

$S$  = desvio padrão dos dados observados no mês  $i$ ;

$X^2$  = valor tabelado conforme a distribuição qui-quadrado;

$\alpha$  = erro admitido;

$\sigma$  = desvio padrão dos dados gerados para o mês  $i$ ;

E, para verificar a precisão dos coeficientes de correlação dos dados gerados, o intervalo de confiança para cada mês do ano foi obtido a partir da equação:

$$r_i - Z_{\alpha/2} \cdot \frac{1}{\sqrt{n_i}} < \rho_i < r_i + Z_{\alpha/2} \cdot \frac{1}{\sqrt{n_i}}$$

onde:  $r_i$  = coeficiente de correlação dos dados observados no mês  $i$ ;

$Z$  = valor tabelado conforme a distribuição normal;

$\alpha$  = erro admitido;

$n$  = número de dados observados no mês  $i$ ;

$\rho$  = coeficiente de correlação dos dados gerados para o mês  $i$ ;

O erro máximo admitido ( $\alpha$ ) foi de 5% para ambos os testes: média, desvio padrão e coeficiente de correlação. O modelo foi aplicado em planilha eletrônica *Microsoft Excel*, componente da família *Microsoft Office 2000*. Das diversas séries geradas, aquela que apresentou a melhor precisão dos parâmetros estatísticos foi escolhida e desta, foram selecionados dez anos necessários à análise. Estes dez anos foram obtidos excluindo-se os dez primeiros anos da série gerada, evitando influência dos primeiros meses gerados, relacionados ao parâmetro  $q_i$  do modelo.

Tabela 04. Dados das estações pluviométricas utilizadas no estudo.

<b>Código</b>	<b>Nome</b>	<b>Município</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Período</b>
02956006	Passo Mariano	Alegrete	29°18'30"	56°03' 17"	60	1970 a 2000
02956009	Fazenda Três	Alegrete	29°38' 08"	56°05' 37"	150	1986 a 2000
05955013	Alegrete PCD	Alegrete	29°47' 04"	55°46' 26"	80	1986 a 2000
03056006	Harmonia	Alegrete	30°04' 10"	56°09' 32"	140	1978 a 2000

Tabela 05. Médias mensais das séries pluviométricas (mm), para cada estação selecionada para o estudo.

<b>Código</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Ano</b>
02956006	156,1	146,4	156,9	181,5	137,8	116,6	132,0	102,8	138,5	156,7	107,2	127,6	1660,0
02956009	138,9	136,2	154,7	189,5	71,4	104,1	70,1	39,5	128,1	153,7	116,7	113,3	1416,1
02955013	159,7	163,0	153,1	231,7	93,7	107,1	102,4	61,6	137,7	157,4	120,3	95,9	1583,6
03056006	152,6	189,6	143,6	165,6	123,9	100,1	111,1	75,8	128,6	154,4	142,6	100,4	1588,2
Média	151,8	158,8	152,1	192,0	106,7	107,0	103,9	69,9	133,2	155,5	121,7	109,3	1562,0

### 3.2.3. Volume precipitado sobre o reservatório

O volume precipitado sobre a superfície do reservatório  $V_p$  ( $m^3$ ) foi calculado através da expressão:

$$VP = \int_{t_1}^{t_2} V_p \cdot dt = 10 \cdot P \cdot Ar$$

onde: VP = volume precipitado no reservatório no intervalo de tempo considerado;

$V_p$  = volume precipitado no reservatório integrado;

$t_1$  = momento em que inicia a simulação;

$t_2$  = momento em que termina a simulação;

$dt$  = derivada do tempo.

$P$  = precipitação mensal (mm);

$Ar$  = área da bacia hidráulica ou área de alague do reservatório (ha);

10 representa um fator de conversão = mm multiplicados por ha igual a  $m^3$ .

#### 3.2.3.1. Área da superfície de alague do reservatório

As áreas das bacias hidráulicas dos reservatórios n°1 e n°3, na cota do nível normal da água, isto é, a área alagada, foram determinadas com o auxílio de um Taquímetro (Estação Total), utilizando-se o processo de irradiação ao redor dos açudes. As áreas obtidas foram 57,30 ha e 15,70 ha, respectivamente.

### 3.2.4. Volume perdido por evaporação

Os volumes perdidos por evaporação  $V_e$  ( $m^3$ ), para cada reservatório, foram calculados através da expressão:

$$VE = \int_{t1}^{t2} V_e \cdot dt = 10 \cdot Ev \cdot Ar_m$$

onde: VE = volume evaporado do reservatório no intervalo de tempo considerado;

$V_e$  = volume evaporado do reservatório integrado;

t1 = momento em que inicia a simulação;

t2 = momento em que termina a simulação;

dt = derivada do tempo.

$Ev$  = evaporação mensal (mm);

$Ar_m$  = área média da bacia hidráulica ou da superfície de alagado do reservatório (ha);

10 representa um fator de conversão = mm multiplicados por ha igual a  $m^3$ .

#### 3.2.4.1. Evaporação mensal

Os dados observados de evaporação mensal foram obtidos na publicação do Instituto de Pesquisas Agronômicas sobre observações meteorológicas no Estado do Rio Grande do Sul (Boletim Técnico N°3, 1979). Foram utilizados dados de cinco estações evaporimétricas (Tabela 06), selecionadas conforme a proximidade do local de estudo. A série final de evaporações mensais observadas foi obtida através da média aritmética dos dados evaporimétricos destas cinco estações. Estes dados; assim como a série final utilizada; podem ser visualizados no Anexo 02. Os valores médios mensais e anuais de evaporação observada para cada estação selecionada encontram-se listados na Tabela 07.

De posse da série final de evaporações mensais observadas foi utilizado o modelo Thomas-Fiering (descrito no item 3.2.2.3) para a geração de séries sintéticas de evaporações mensais. O modelo foi aplicado em planilha eletrônica *Microsoft Excel*, componente da família *Microsoft Office 2000*. Assim como para precipitação, a validade da série

gerada foi testada a partir da comparação das características estatísticas: média, desvio padrão e coeficiente de correlação das séries observada e gerada, a partir de intervalos de confiança estabelecidos conforme a metodologia descrita no ítem 3.2.2.3. O erro máximo admitido ( $\alpha$ ) para as médias, os desvios padrão e para os coeficientes de correlação dos dados gerados também foi de 5%.

Da mesma forma que para precipitação, das diversas séries geradas foi escolhida aquela que apresentou a melhor precisão dos parâmetros estatísticos e, desta, também foram selecionados dez anos de dados necessários à análise, dos quais foram excluídos os dez primeiros anos gerados, buscando-se evitar influência dos parâmetros iniciais do modelo.

#### 3.2.4.2. Superfície média de exposição

A superfície de exposição considerada no estudo variou em função da retirada ou não de água para irrigação. Nas simulações com irrigação, considerou-se  $Ar_m$ , uma vez que a área de exposição variou muito durante todo o período considerado, principalmente a partir do início da utilização da água para irrigação. Já nas simulações em que não houve irrigação, considerou-se o valor de  $Ar$ , uma vez que os níveis de água mantiveram-se quase que permanentemente próximos ao NN.

Tabela 06. Dados das estações evaporimétricas utilizadas no estudo.

<b>Município</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Período</b>
Quarai	30°23' 17"	56°26' 53"	100	1967 a 1977
Santana do Livramento	30°53' 18"	55°31' 56"	210	1967 a 1977
São Borja	28°39' 44"	56°00' 44"	99	1963 a 1977
São Gabriel	30°20' 27"	54°19' 01"	109	1965 a 1977
Uruguaiana	29°45'23"	57°05' 37"	74	1964 a 1977

Tabela 07. Médias mensais das séries evaporimétricas (mm), para cada estação selecionada para o estudo.

<b>Município</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Total</b>
Quarai	168,5	152,3	133,9	107,7	79,6	66,8	85,4	108,1	129,3	167,7	203,5	201,9	1604,9
Santana do Livramento	139,1	113,1	104,4	80,1	63,3	54,2	60,6	78,4	89,3	114,1	131,9	148,9	1177,2
São Borja	125,6	103,0	101,3	84,9	72,1	60,9	67,3	73,8	84,9	108,8	119,9	126,0	1128,6
São Gabriel	125,7	113,8	106,3	84,8	62,3	54,7	60,4	78,7	98,8	114,6	120,9	148,1	1169,3
Uruguaiana	180,7	153,2	138,1	109,2	81,4	68,1	80,6	100,1	119,1	152,5	177,3	214,8	1575,0
Média	147,9	127,1	116,8	93,4	71,7	60,9	70,9	87,8	104,3	131,5	150,7	167,9	1331,0

### 3.2.5. Volume consumido na irrigação

O volume consumido na irrigação  $V_r$  ( $m^3$ ) foi calculado através da expressão:

$$VR = \int_{t_1}^{t_2} V_r \cdot dt = Vu \cdot Ai \cdot Nd$$

onde: VR = volume retirado do reservatório no intervalo de tempo considerado;

$V_r$  = volume retirado do reservatório integrado;

$t_1$  = momento em que inicia a simulação;

$t_2$  = momento em que termina a simulação;

$dt$  = derivada do tempo.

$Vu$  = consumo de água do arroz ( $m^3/ha.dia$ );

$Ai$  = área de lavoura a irrigar (ha);

$Nd$  = número de dias do período de irrigação (dias).

#### 3.2.5.1. Consumo de água do arroz

Segundo Bernardes (1956), a quantidade total de água requerida pelo arroz depende de um grande número de fatores, entre os quais, os mais importantes são: permeabilidade do solo, clima, cultivar, condições e sistema de irrigação.

Na simulação do balanço hídrico dos reservatórios n°1 e n°3 foram utilizados dados obtidos de Dotto (1990), que estudou a produtividade e o consumo de água das cultivares BR-IRGA 409 e IAC 47, sob três sistemas de cultivo do arroz: Inundação, irrigação intermitente e aspersão. Tal experimento foi realizado no município de Itaqui, em condições de solo semelhantes às aqui consideradas.

No entanto, no presente trabalho foram considerados somente os dados da cultivar BR-IRGA 409, que, segundo os dados obtidos pelo autor, apresentou maior eficiência do uso da água e maior produtividade

em relação à cultivar IAC 47. Em relação ao sistema de cultivo, somente foram considerados os dados obtidos no sistema de inundação, o qual, segundo Pires (1984), é o sistema de irrigação mais tradicional no estado do RS, desde o ano de 1903, representando 95% da área plantada.

Os resultados obtidos pelo autor indicaram um consumo de 12.640 m<sup>3</sup>/ha, para a cultivar BR-IRGA 409, no sistema de inundação. O início do período de irrigação foi no dia 13 de dezembro, sendo esta suspensa no dia 31 de março do ano seguinte, o que corresponde a 110 dias de irrigação.

### 3.2.5.2. Área de lavoura a irrigar

A área de lavoura que pode ser irrigada com determinado volume  $A_i$  foi determinada pela expressão:

$$A_i = \frac{Cr - V_{e_m}}{V_u \cdot N_d}$$

onde:  $A_i$  = Área de lavoura a irrigar (ha);

$Cr$  = capacidade de armazenamento do reservatório, no NN (m<sup>3</sup>).

$V_{e_m}$  = volume médio perdido por evaporação durante o período de tempo considerado (m<sup>3</sup>).

$V_u$  = consumo de água do arroz (m<sup>3</sup>/ha.dia);

$N_d$  = número de dias do período de irrigação (dias).

As áreas irrigáveis obtidas para cada reservatório foram de 163 ha para o R1 e de 37 ha para o R3. Neste cálculo não foi considerada a precipitação ocorrida durante o período, pois, segundo Corrêa *et al.* (1997), esta é uma variável geralmente desprezada, tendo em vista a incerteza de sua ocorrência e a dificuldade de estimar sua parcela realmente efetiva.

### 3.2.6. Volume descarregado pelo vertedor

Sempre que o volume atual do reservatório  $V_a(t)$  foi maior que a capacidade do reservatório  $C_r$ , o volume descarregado pelo vertedor  $V_v$  foi representado pela diferença entre o volume atual e a capacidade do reservatório.

### 3.3. Cenários e hipóteses adotadas

Na determinação da influência que o R3 exerce sobre o R1, usou-se determinar a área de irrigação de cada reservatório a partir da sua capacidade estática, desconsiderando as entradas no sistema. Para tal, foi utilizada a equação proposta no item 3.2.5.3 deste trabalho, sendo denominadas as áreas de irrigação de *área de irrigação estática*.

Numa segunda fase das simulações buscou-se determinar as áreas que realmente poderiam ser irrigadas levando em conta a capacidade dinâmica dos reservatórios, ou seja, considerando as entradas no sistema. Estas áreas foram determinadas atribuindo-se valores de área de irrigação superiores àquelas determinadas a partir da capacidade estática dos reservatórios, até que os volumes restantes nos reservatórios no final de cada simulação apresentassem valores próximos ao nível mínimo, o qual foi considerado como sendo 5% dos valores de volume armazenado quando em NN. Neste caso, as áreas de irrigação determinadas foram denominadas de *área de irrigação dinâmica*.

#### 3.3.1. Comportamento hídrico de R1 e R3, com a área de irrigação determinada a partir da capacidade estática dos reservatórios

Nesta primeira fase das simulações buscou-se determinar o comportamento hídrico de R1 e R3, quando considerada a capacidade

estática dos reservatórios. A seguir, são listadas as hipóteses adotadas para cada simulação:

Variação dos volumes armazenados no R1, hipóteses:

- Somente o R1 existe;
- Os dois reservatórios existem: R1 e R3, mas R3 não é utilizado;
- Os dois reservatórios existem: R1 e R3, sendo os dois utilizados;

Variação dos volumes armazenados no R3, hipóteses:

- É retirada água do R3 para irrigação;
- Não é retirada água do R3 para irrigação.

### *3.3.2. Determinação da área de irrigação considerando a capacidade dinâmica dos reservatórios*

Nesta segunda fase das simulações buscou-se determinar a área que realmente poderia ser irrigada a partir da capacidade dinâmica dos reservatórios e, como consequência, analisar o comportamento hídrico destes. A seguir, são listadas as hipóteses adotadas para cada simulação:

- 1ª simulação: Somente R1 existe;
- 2ª simulação: R1 e R3 existem (R3 utilizado com sua capacidade estática);
- 3ª simulação: R1 e R3 existem, ambos utilizados com sua capacidade dinâmica.

Para todas as simulações formuladas a capacidade inicial do reservatório adotada foi de  $K3 = 100\%$ , ou seja, no início das simulações considerou-se que o reservatório apresentava-se cheio.

A simulação foi feita para um período de dez anos, denominados de forma seqüencial como ano 1, ano 2, e assim por diante, até o ano 10. As simulações tiveram início no mês de julho do ano 1 e término no mês de junho do ano 11.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo é dividido em quatro partes: Na primeira parte do capítulo é apresentada a série de precipitações pluviométricas geradas pelo modelo Thomas-Fiering, além de discussões acerca da precisão obtida na modelagem. Na segunda parte do trabalho é apresentada a série de evaporações também gerada pelo modelo Thomas-Fiering e, assim como para a série de precipitações pluviométricas, é discutida sua precisão. Na terceira parte do capítulo é determinada a influência que a construção e a utilização do R3 exerce sobre os volumes armazenados no R1 quando utilizado o volume estático dos dois reservatórios, a partir das hipóteses anteriormente formuladas. Já na quarta parte do capítulo é enfatizada a determinação das áreas que poderiam ser irrigadas a partir do volume dinâmico dos dois reservatórios, também a partir das hipóteses anteriormente formuladas.

### 4.1. Série sintética de precipitação pluviométrica mensal

Na Tabela 08, é apresentada a série sintética de dez anos de precipitação pluviométrica mensal gerada pelo método de Thomas-Fiering. Os resultados são apresentados para cada mês do ano, entre os anos um e onze.

Assim como na série observada, as precipitações pluviométricas mensais geradas pelo método Thomas-Fiering apresentaram um caráter sazonal (Figura 03), com picos de máxima precipitação nos meses de abril e outubro, e picos de mínima precipitação nos meses de agosto e dezembro. Os maiores índices pluviométricos podem ser atribuídos aos meses de verão; com exceção do mês de dezembro; e os menores índices para os meses de inverno (junho, julho e agosto).

Tabela 08. Série sintética de 10 anos de precipitação pluviométrica mensal gerada pelo método Thomas-Fiering. Alegrete/RS.

Mês	Ano										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Jan		197,8	241,3	0,0	156,1	181,9	295,7	107,6	184,2	219,0	146,0
Fev		147,9	297,8	176,8	95,9	145,8	134,7	263,2	231,4	0,0	210,1
Mar		138,5	152,1	211,9	237,3	232,4	439,9	115,7	173,5	219,9	220,5
Abr		160,0	220,4	79,7	369,8	102,7	349,8	226,8	269,7	255,6	230,0
Mai		86,5	75,9	95,1	54,7	276,7	206,5	253,3	90,9	165,1	233,5
Jun		16,4	219,6	139,8	184,7	45,5	109,2	188,5	98,8	150,4	26,5
Jul	105,3	151,7	247,3	132,9	158,8	157,9	124,1	148,2	180,7	168,0	
Ago	0,0	56,0	211,5	116,1	36,7	0,0	103,9	198,5	139,1	57,3	
Set	100,3	138,9	140,9	237,9	72,4	0,0	94,8	166,3	212,3	46,5	
Out	158,5	263,8	179,0	163,7	0,0	187,2	165,3	120,6	180,6	218,4	
Nov	120,5	243,9	206,2	140,0	13,3	31,1	15,8	160,4	23,9	214,1	
Dez	48,2	147,5	134,8	125,7	93,2	84,7	92,8	281,5	166,5	73,3	

Quando se comparam as precipitações mensais médias da série observada utilizada no estudo, juntamente com as precipitações mensais médias da série gerada pelo método Thomas-Fiering, com as precipitações mensais médias do município de Alegrete (IPAGRO, 1989), pode-se observar que o caráter sazonal de máximas precipitações nos meses de verão e mínimas precipitações nos meses de inverno é semelhante. O que mais diferencia as duas séries são as precipitações mensais médias dos meses de fevereiro e março, principalmente; as quais são menores na série de precipitações médias para o município de Alegrete, quando comparadas às séries observadas e geradas.

O modelo utilizado na geração das séries sintéticas deu como resultados grande quantidade de meses com precipitação igual a 0,0 mm. Enquanto a série de trinta anos de precipitações observadas não apresentou nenhum valor de precipitação pluviométrica mensal igual a 0,0

mm, trinta anos de precipitações pluviométricas mensais geradas pelo modelo apresentaram valores médios de precipitações mensais igual a 0,0 mm de vinte e três, ou seja, a cada trezentos e sessenta valores gerados, vinte e três foram iguais a 0,0 mm.

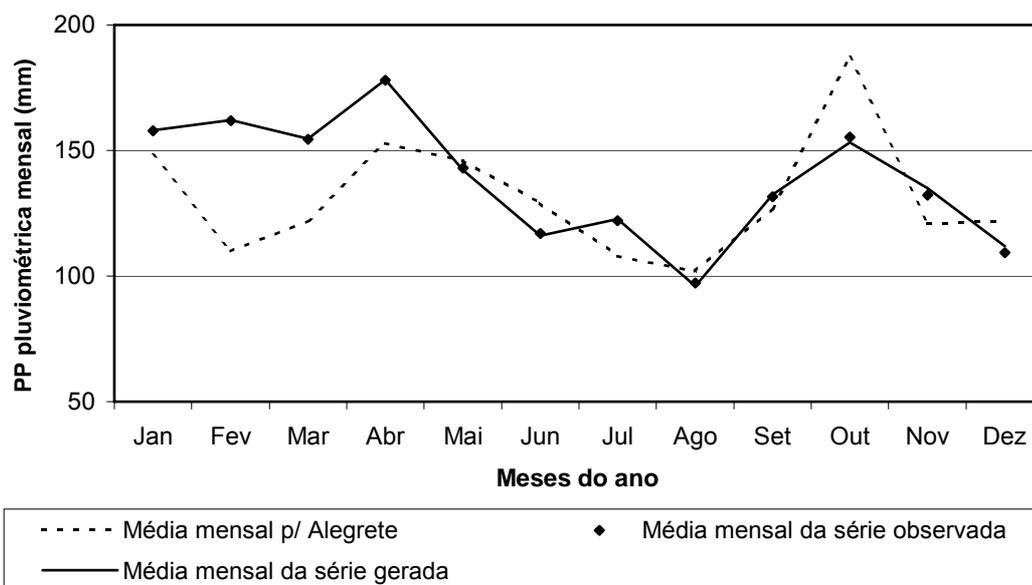


Figura 03. Precipitação pluviométrica mensal para o município de Alegrete/RS, entre os anos de 1931 a 1960 (IPAGRO, 1989), da série observada utilizada no estudo e da série gerada pelo método Thomas-Fiering. Alegrete/RS.

Tal fato pode ser justificado, em parte, devido à série observada utilizada ser uma média das precipitações de quatro estações pluviométricas e, quando em alguma estação a precipitação era igual a 0,0 mm, tal valor era anulado pelas precipitações diferentes de 0,0 mm das outras três estações pluviométricas.

No entanto, esta maior quantidade de precipitações pluviométricas mensais iguais a 0,0 mm da série gerada não faz com que esta apresente maior amplitude das precipitações máximas e mínimas em relação àquelas da série observada. Enquanto a precipitação mínima da série gerada foi de 0,0 mm, a da série observada foi de 4,2 mm e, enquanto a

precipitação máxima da série gerada foi de 439,9 mm, a da série observada foi de 492,6 mm.

Isto pode ser encarado como uma particularidade do modelo proposto pelo método Thomas-Fiering, visto que neste é previsto que valores gerados inferiores a 0,0 mm, ou seja, negativos, sejam considerados como sendo igual a 0,0 mm, caso contrário, a série gerada apresentaria grande quantidade de valores de precipitação pluviométrica negativa.

Clarke (1973) cita um exemplo da geração de uma série de vazões mensais para o Rio Etiópia. Neste exemplo, a série de dez anos de vazões observadas também não apresentou nenhum valor de vazão mensal igual a 0,0 mm. Já para a série gerada, dez anos de vazões geradas pelo modelo apresentaram valores médios de vazão mensal negativos, ou seja, iguais a 0,0 mm de quatro, ou seja, a cada cento e vinte valores gerados, quatro foram negativos.

Nas Tabelas 09, 10 e 11 são apresentados os valores das médias, dos desvios padrões e dos coeficientes de correlação mensais para a série observada e para a série gerada, assim como os limites de confiança estabelecidos para que os valores dos parâmetros estatísticos da série gerada fossem considerados aceitáveis.

Em relação à aceitabilidade do parâmetro estatístico: média da série gerada, em quatro dos doze meses do ano esta se manteve fora do intervalo de 95% de confiança estabelecido (março, abril, julho e dezembro), sendo o mês de março o que apresentou maior divergência da média da série gerada em relação à média da série original (Tabela 09).

Os desvios padrão da série gerada mostraram-se bem mais aceitáveis estatisticamente, visto que, em apenas no mês de julho este parâmetro estatístico se manteve fora do intervalo de 95% de confiança estabelecido (Tabela 10).

Tabela 09. Relação das médias da série original e da série gerada de precipitações pluviométricas mensais, e limites de confiança estabelecidos para as médias da série gerada. Alegrete/RS.

Meses	Médias da série original	Médias da série gerada	Intervalo de confiança	
			Mínimo	Máximo
Jan	157.9	173.0	128.4	187.5
Fev	161.9	170.4	133.6	190.1
Mar	154.5	214.2*	130.1	178.9
Abr	178.0	226.5*	142.1	213.9
Mai	143.0	153.8	112.4	173.5
Jun	117.0	117.9	94.5	139.6
Jul	122.0	163.3*	93.3	150.7
Ago	97.4	102.1	76.0	118.7
Set	131.5	123.3	108.9	154.1
Out	155.3	164.3	128.5	182.1
Nov	132.3	116.5	101.7	162.8
Dez	109.3	133.3*	89.3	129.3

\* Médias da série gerada que ficaram fora do intervalo de 95% de confiança.

Quanto ao parâmetro estatístico: coeficientes de correlação da série gerada, conforme se pode visualizar na Tabela 11, em três dos doze meses do ano, os dados mantiveram-se fora do limite de 95% de confiança estabelecido: junho, setembro e novembro. Nos demais meses do ano, os dados mostraram-se aceitáveis estatisticamente.

Em relação à série observada, a precisão da série gerada pode ser considerada aceitável estatisticamente pois, na maioria dos meses, as características estatísticas da série observada foram mantidas. Isto foi observado em (8 meses para média + 11 meses para desvio padrão + 9 meses para coeficiente de correlação = 28 meses) 78% dos valores de parâmetros testados em todos os meses.

Al-Shaikh (2000), utilizando o método dos fragmentos na geração de dados mensais de evaporação a partir de uma série de 22 anos de dados observados na Arábia Saudita, testou a aceitabilidade do método com as mesmas características estatísticas aqui testadas: média, desvio padrão e coeficiente de correlação. O autor constatou que estas características foram mantidas em 89% dos valores dos parâmetros testados para todos os meses, considerando como satisfatório o desempenho do método.

Tabela 10. Relação dos desvios da série original e da série gerada de precipitações pluviométricas mensais, e limites de confiança estabelecidos para os desvios padrão da série gerada. Alegrete/RS.

Meses	Desvios padrão da série original	Desvios padrão da série gerada	Intervalo de confiança	
			Mínimo	Máximo
Jan	95.1	80.2	64.8	210.1
Fev	91.0	86.4	62.0	201.2
Mar	78.6	90.0	53.6	173.8
Abr	115.6	94.2	78.8	255.6
Mai	98.6	83.1	67.2	217.8
Jun	72.7	71.2	49.5	160.6
Jul	92.5	35.8*	63.0	204.3
Ago	68.6	72.2	46.8	151.7
Set	72.7	77.4	49.6	160.8
Out	86.3	73.1	58.8	190.7
Nov	98.3	95.5	67.0	217.4
Dez	64.6	63.8	44.0	142.7

\* Desvios padrão da série gerada que ficaram fora do intervalo de 95% de confiança.

Tabela 11. Relação dos coeficientes de correlação da série original e da série gerada de precipitações pluviométricas mensais, e limites de confiança estabelecidos para os coeficientes de correlação da série gerada. Alegrete/RS.

Meses	Coeficientes de correlação da série original	Coeficientes de correlação da série gerada	Intervalo de confiança	
			Mínimo	Máximo
Jan	0.01	0.00	-0.35	0.36
Fev	0.04	-0.17	-0.32	0.40
Mar	-0.23	-0.41	-0.59	0.13
Abr	0.51	0.43	0.16	0.87
Mai	-0.17	-0.16	-0.53	0.19
Jun	0.07	-0.32*	-0.29	0.43
Jul	0.51	0.43	0.15	0.87
Ago	0.34	0.44	-0.02	0.70
Set	0.27	0.66*	-0.09	0.63
Out	0.08	0.06	-0.28	0.43
Nov	0.15	0.55*	-0.21	0.51
Dez	0.05	0.24	-0.31	0.41

\* Coeficientes de correlação da série gerada que ficaram fora do intervalo de 95% de confiança.

## 4.2. Série sintética de evaporação mensal

Na Tabela 12, é apresentada a série sintética de dez anos de evaporação mensal gerada pelo método de Thomas-Fiering. Os resultados são apresentados para cada mês do ano, entre os anos um e onze.

Também a evaporação apresentou caráter sazonal para as duas séries, porém, muito mais acentuado que para a precipitação (Figura 04). A evaporação apresentou um claro pico de máximo no mês de dezembro e pico de mínimo no mês de junho. Comportamento observado também para as médias mensais de evaporação do município de Alegrete (IPAGRO, 1989), as quais se mostraram bem semelhantes às médias mensais de evaporação das séries observadas e geradas.

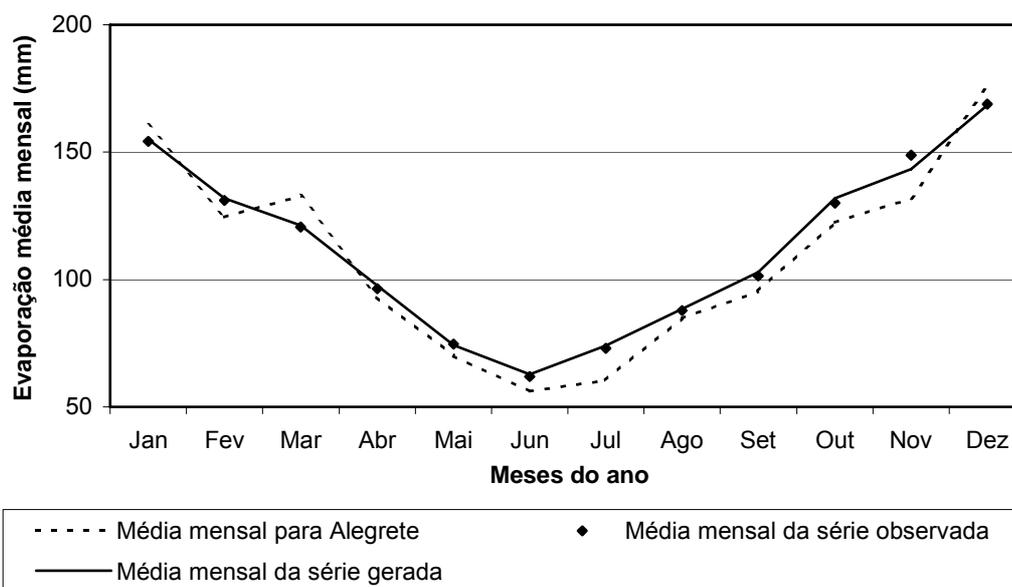


Figura 04. Evaporação mensal para o município de Alegrete/RS, entre os anos de 1957 a 1984 (IPAGRO, 1989), da série observada utilizada no estudo e da série gerada pelo método Thomas-Fiering. Alegrete/RS.

Diferentemente da precipitação, a série de evaporação mensal gerada não apresentou valores nulos, o que é plenamente aceitável, visto

a impossibilidade da existência de evaporações mensais nulas. Sempre há evaporação, mesmo nos meses mais frios ou mais úmidos do ano.

Tabela 12. Série sintética de 10 anos de evaporação mensal gerada pelo método Thomas-Fiering.

Mês	Anos										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Jan		187,5	150,1	128,3	153,6	172,3	136,8	209,4	198,8	160,3	190,2
Fev		163,9	112,1	109,7	132,2	152,5	129,8	196,6	190,6	140,8	162,3
Mar		153,6	107,6	118,9	114,2	133,7	121,3	165,6	173,3	130,3	136,5
Abr		106,9	79,1	97,2	99,2	93,0	107,6	123,4	124,7	87,3	89,7
Mai		73,7	65,0	75,0	79,8	75,1	66,5	63,4	86,9	74,9	82,5
Jun		70,6	54,3	43,3	58,4	52,8	56,5	55,1	64,9	69,2	42,8
Jul	76,2	56,9	65,1	54,1	72,9	68,2	83,4	60,6	68,0	65,9	
Ago	83,6	84,3	85,0	105,6	113,5	82,4	88,5	93,0	100,4	85,5	
Set	112,6	99,6	102,6	106,5	113,0	57,6	88,8	139,9	100,3	90,0	
Out	145,9	137,5	125,5	132,5	150,1	68,6	140,9	165,9	152,9	133,4	
Nov	128,7	160,8	58,5	126,6	143,2	146,1	154,9	190,6	178,5	186,3	
Dez	104,4	195,0	92,6	113,9	244,5	180,3	153,8	210,3	220,1	166,8	

A amplitude de variação das evaporações mensais mínimas e máximas para as duas séries não variou muito. A evaporação mínima encontrada para a série observada foi de 34,7 mm, já para a série gerada foi de 42,8 mm. A evaporação máxima encontrada para a série observada foi de 271,6 mm, já para a série gerada foi de 244,5 mm.

Nas Tabelas 13, 14 e 15 são apresentados os valores das médias, desvios padrões e coeficientes de correlação mensais da série observada e da série gerada, assim como os limites de confiança estabelecidos para que os valores dos parâmetros estatísticos da série gerada fossem considerados aceitáveis.

Em relação à aceitabilidade do parâmetro estatístico: média da série gerada, assim como para precipitação, em quatro dos doze meses do ano esta se manteve fora do intervalo de 95% de confiança estabelecido (fevereiro, março, julho e agosto), sendo o mês de fevereiro o que apresentou maior divergência da média da série gerada em relação à média da série original (Tabela 13).

Tabela 13. Relação das médias da série original e da série gerada de evaporações mensais, e limites de confiança estabelecidos para as médias da série gerada. Alegrete/RS.

Meses	Médias da série original	Médias da série gerada	Intervalo de confiança	
			Mínimo	Máximo
Jan	154.4	168.7	135.8	172.9
Fev	131.0	149.1*	113.1	148.9
Mar	120.7	135.5*	108.1	133.2
Abr	96.4	100.8	87.7	105.2
Mai	74.6	74.3	70.5	78.6
Jun	61.8	56.8	56.4	67.3
Jul	72.9	66.1*	68.0	77.9
Ago	87.9	93.1*	82.8	93.0
Set	101.7	99.8	94.9	108.6
Out	130.0	134.1	119.7	140.4
Nov	148.9	149.5	133.1	164.8
Dez	168.1	175.3	149.4	186.8

\* Médias da série gerada que ficaram fora do intervalo de 95% de confiança.

Assim como para precipitação, os desvios padrão da série gerada mostraram-se bem mais aceitáveis estatisticamente, quando comparados às médias e aos coeficientes de correlação, visto que, em nenhum dos

doze meses do ano este parâmetro estatístico se manteve fora do intervalo de 95% de confiança estabelecido (Tabela 14).

Tabela 14. Relação dos desvios da série original e da série gerada de evaporações mensais, e limites de confiança estabelecidos para os desvios padrão da série gerada. Alegrete/RS.

Meses	Desvios padrão da série original	Desvios padrão da série gerada	Intervalo de confiança	
			Mínimo	Máximo
Jan	40.8	27.3	24.1	140.1
Fev	39.4	29.9	23.3	135.1
Mar	27.6	22.1	16.3	94.6
Abr	19.3	15.0	11.4	66.4
Mai	8.9	7.6	5.3	30.7
Jun	12.0	9.5	7.1	41.1
Jul	10.9	8.8	6.4	37.4
Ago	11.2	11.0	6.6	38.6
Set	15.0	21.9	8.9	51.6
Out	22.8	27.5	13.5	78.3
Nov	34.8	40.2	20.6	119.6
Dez	41.2	49.5	24.3	141.3

\* Desvios Padrão da série gerada que ficaram fora do intervalo de 95% de confiança.

Quanto ao parâmetro estatístico: coeficientes de correlação da série gerada, conforme se pode visualizar na Tabela 15, em apenas um dos doze meses do ano, o dado manteve-se fora do limite de 95% de confiança estabelecido: junho. Nos demais meses do ano, os dados mostraram-se aceitáveis estatisticamente.

Em relação à série observada, a precisão da série gerada pode ser considerada aceitável estatisticamente pois, na maioria dos meses, as

características estatísticas da série observada foram mantidas. Isto foi observado em (8 meses para média + 12 meses para desvio padrão + 11 meses para coeficiente de correlação = 31 meses) 86% dos valores de parâmetros testados em todos os meses, valor bem próximo aquele encontrado por Al-Shaikh (2000), de 89%.

Tabela 15. Relação dos coeficientes de correlação da série original e da série gerada de evaporações mensais, e limites de confiança estabelecidos para os coeficientes de correlação da série gerada. Alegrete/RS.

Meses	Coeficientes de	Coeficientes de	Intervalo de confiança	
	correlação da série original	correlação da série gerada	Mínimo	Máximo
Jan	0.17	0.18	-0.34	0.67
Fev	0.92	0.95	0.41	1.43
Mar	0.91	0.95	0.40	1.42
Abr	0.50	0.80	0.00	1.01
Mai	0.24	0.08	-0.26	0.75
Jun	0.41	0.04	-0.09	0.92
Jul	0.66	0.09*	0.15	1.17
Ago	0.28	-0.01	-0.22	0.79
Set	0.24	0.47	-0.26	0.75
Out	0.47	0.86	-0.03	0.98
Nov	0.34	0.32	-0.17	0.84
Dez	0.46	0.69	-0.05	0.96

\* Coeficientes de correlação da série gerada que ficaram fora do intervalo de 95% de confiança.

### 4.3. Comportamento hídrico de R1 e R3, com a área de irrigação determinada a partir da capacidade estática dos reservatórios

#### 4.3.1. Variação dos volumes armazenados no R1

Na Figura 05 pode-se visualizar a variação dos volumes médios armazenados em R1 ao longo do ano, considerando-se as três hipóteses formuladas: A primeira hipótese considera que somente R1 existe. A segunda hipótese considera que R1 e R3 existem, no entanto, R3 não é utilizado. A terceira hipótese considera que R1 e R3 existem, sendo os dois utilizados.

Já na Figura 06, pode-se visualizar a variação dos volumes armazenados em R1 durante os dez anos simulados, quando consideradas as três hipóteses acima citadas.

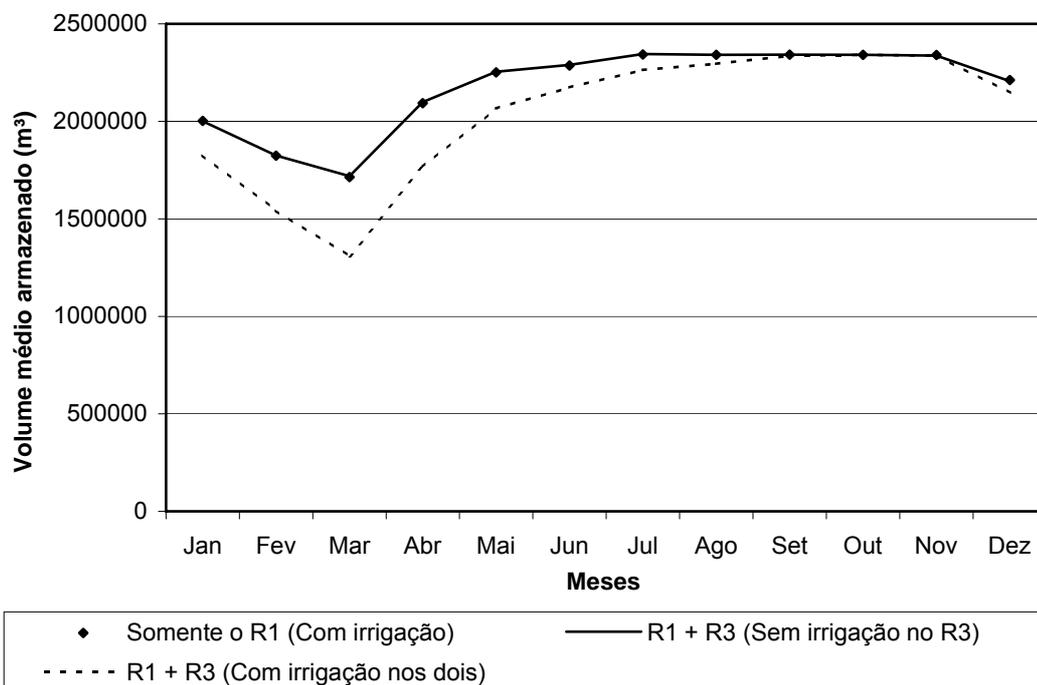


Figura 05. Variação dos volumes médios armazenados ao longo do ano no R1, em função da existência ou não do R3 e da retirada ou não de água do R3 para irrigação. Alegrete/RS.

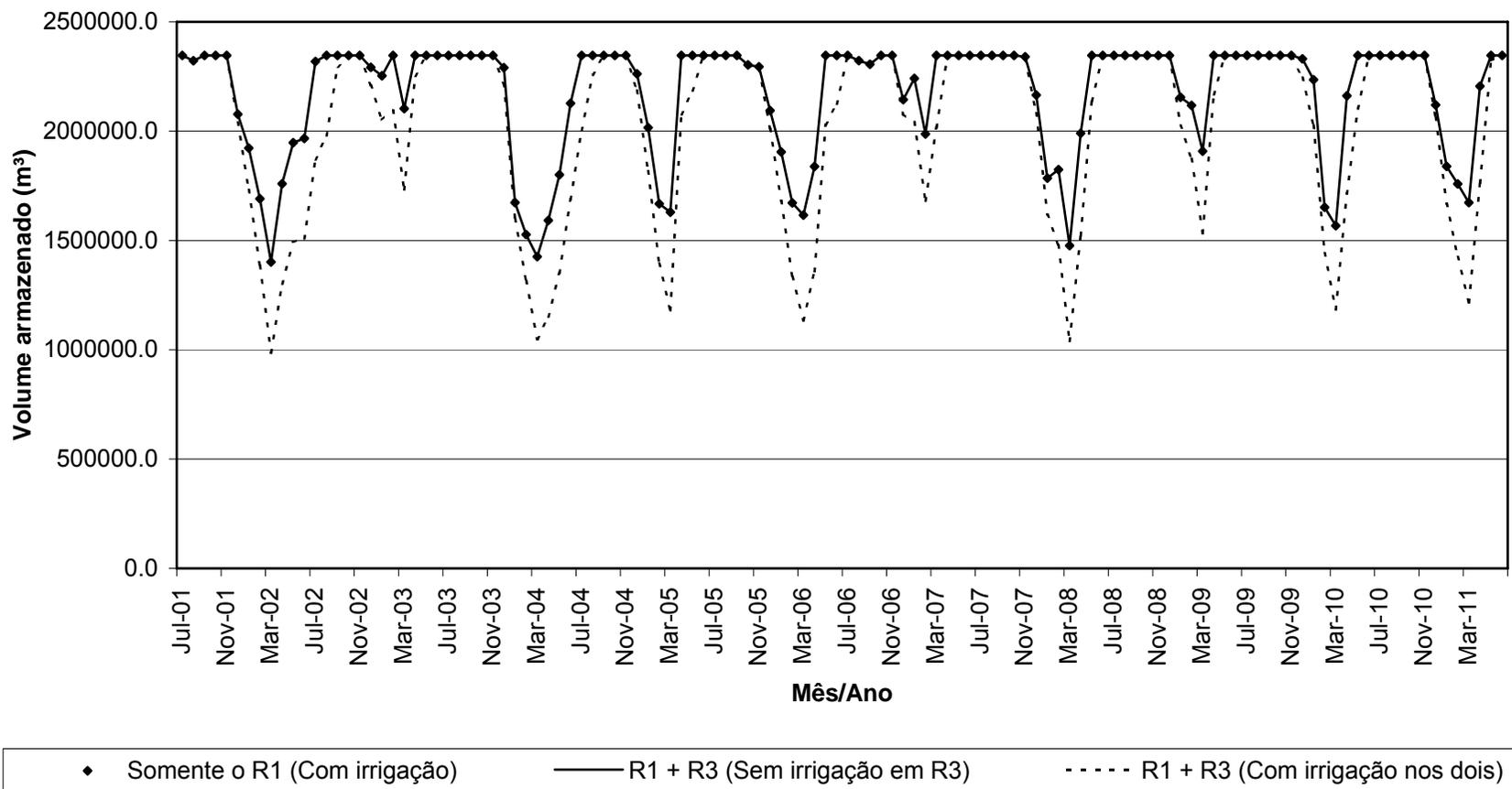


Figura 06. Variação dos volumes armazenados no R1 durante os dez anos simulados, em função da existência ou não do R3 e da retirada ou não de água do R3 para irrigação. Alegrete/RS.

#### 4.3.1.1. Primeira Hipótese: Somente o R1 existe

A variação do volume armazenado no R1 foi pequena, e o armazenamento mínimo a que chegou o reservatório foi de 1.401.702,1 m<sup>3</sup>, volume superior à metade da sua capacidade de armazenamento total que é de 2.400.000 m<sup>3</sup>, mesmo com a retirada de água para irrigação.

Conforme se pode visualizar na Figura 06, na maior parte dos meses (55% dos meses) o reservatório estava vertendo, ou seja, se apresentava em sua capacidade máxima de armazenamento. A variação do volume armazenado no reservatório variou ao longo do ano, em função da retirada ou não de água para irrigação.

A influência da irrigação nos volumes armazenados em cada mês do ano pode ser visualizada na Figura 05, a qual apresenta a variação dos volumes médios armazenados ao longo do ano. Nesta figura, pode-se visualizar que a redução do volume médio armazenado teve início no mês de dezembro, reduzindo até o mês de março, quando do término da irrigação e, a partir daí, os volumes médios armazenados passaram a aumentar, chegando ao armazenamento quase total no mês de julho.

No mês de dezembro, mês em que era iniciada a irrigação, apenas em um ano dos dez simulados o reservatório extravasou água pelo vertedor. Isto também foi observado para os meses de fevereiro e março. Já no mês de janeiro, em nenhum dos dez anos simulados o reservatório verteu. A partir do mês de abril, quando já não era mais feita irrigação, a percentagem de anos em que o reservatório se encontrava vertendo começou a aumentar e, para o mês de julho, em nove anos dos dez simulados o reservatório apresentou-se vertendo. Esta tendência foi observada para os meses subsequentes, até o mês de dezembro.

A ocorrência de precipitações iguais a 0,0 mm, principalmente se observada para dois meses subsequentes, ocasionou uma drástica redução do volume armazenado no reservatório, sendo a causa do porquê de alguns meses em que não era feita irrigação, principalmente

entre os meses de julho e outubro, o reservatório não se apresentava em sua capacidade máxima de armazenamento. Nestes meses, a evaporação foi o fator principal que determinou a quantidade de volume que permaneceu armazenado e, como esta superou a precipitação, em tais meses, o volume armazenado manteve-se inferior à capacidade máxima de armazenamento.

#### 4.3.1.2. Segunda Hipótese: R1 e R3 existem, mas R3 não é utilizado

Os volumes armazenados no R1 foram semelhantes; senão quase idênticos; àqueles observados quando da inexistência do R3 (Figura 06). Neste caso, o volume mínimo de armazenamento a que chegou o reservatório foi observado no ano dois da simulação, representado por um valor de 1.405.454,1 m<sup>3</sup>, volume também superior à metade da capacidade de armazenamento total do reservatório (2.400.000 m<sup>3</sup>).

Este valor de volume mínimo armazenado durante o período simulado de 1.405.454,1 m<sup>3</sup> foi superior àquele encontrado quando da inexistência do R3 (1.401.702,1 m<sup>3</sup>). Tais valores podem ser considerados praticamente idênticos, o que indica que a construção do R3, aproximadamente 500 metros à montante do R1 não influencia praticamente nada o balanço hídrico e o armazenamento do R1, isto quando não é retirada água para irrigação do R3.

O fato de o volume mínimo armazenado no R1 ter sido superior quando considerada a existência do R3 à montante deste pode ser explicado, em parte, devido à capacidade de amortecimento das ondas de cheia que chegavam até o R3 sendo que, quando este se apresentava cheio e da ocorrência de precipitações, a água vertida pelo vertedouro deste era disponibilizada ao R1 de forma mais lenta, ou seja, em um maior intervalo de tempo, aumentando o tempo de concentração da bacia hidrográfica do R1.

No mais, o comportamento do R1 quando considerada a existência do R3 foi semelhante àquele de quando não era considerada a existência deste. Também na maior parte dos meses simulados o R1 foi observado vertendo, num total de 54% dos meses. A influência da irrigação foi idêntica àquela de quando não era considerada a existência do R3 (Figuras 05 e 06), assim como a influência dos índices pluviométricos iguais a 0,0 mm na diminuição dos volumes armazenados no R1.

#### 4.3.1.3. Terceira Hipótese: R1 e R3 existem, sendo os dois utilizados

Os volumes armazenados no R1 sofreram grande influência da retirada de água para irrigação do R3, porém não a ponto de faltar água para irrigação das áreas propostas para os dois reservatórios, que foram de 163 ha e 37 ha, respectivamente, para R1 e R3.

Neste caso, o volume armazenado mínimo a que chegou o R1 foi de 987.062,1 m<sup>3</sup>, no mês de março do ano dois da simulação. A diferença no armazenamento quando considerada a existência ou não do R3 foi de 414.460 m<sup>3</sup> e, quando considerada e retirada ou não de água para irrigação do R3 foi de 418.392 m<sup>3</sup>.

A percentagem de meses em que o reservatório apresentou-se vertendo foi de 42%, sendo que, nos meses de janeiro, fevereiro e março o reservatório não verteu em nenhum dos anos simulados. Nos meses de dezembro e abril, apenas em um ano dos dez simulados o reservatório verteu. Já a partir de maio, a percentagem de meses em que o reservatório verteu começou a aumentar, com máximo de nove anos dos dez simulados vertendo, para o mês de outubro.

Conforme se pode visualizar nas Figuras 05 e 06, a prática de irrigação entre os meses de dezembro a março provocou picos de armazenamentos mínimos mais pronunciados que quando da inexistência ou quando da não retirada de água do R3. Estes picos foram pronunciados de forma semelhante para todos os anos da simulação,

excetuando-se alguns anos em que as precipitações geradas foram maiores que a média e/ou que as evaporações simuladas foram menores que a média.

#### 4.3.2. Variação dos volumes armazenados no R3

Na Figura 07 pode-se visualizar a variação dos volumes médios armazenados em R3 ao longo do ano, considerando-se as duas hipóteses formuladas: A primeira hipótese considera que R3 não é utilizado. A segunda hipótese considera que R3 é utilizado.

Já na Figura 08, pode-se visualizar a variação dos volumes armazenados no R3 durante os dez anos simulados, quando consideradas as duas hipóteses acima citadas.

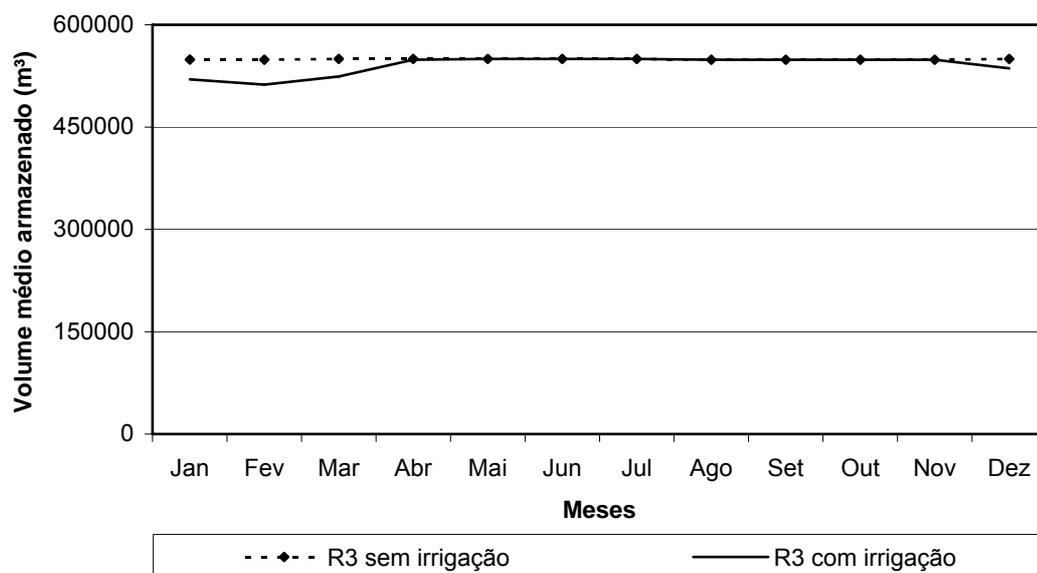


Figura 07. Variação dos volumes médios armazenados ao longo do ano no R3, em função da retirada ou não de água para irrigação. Alegrete/RS.

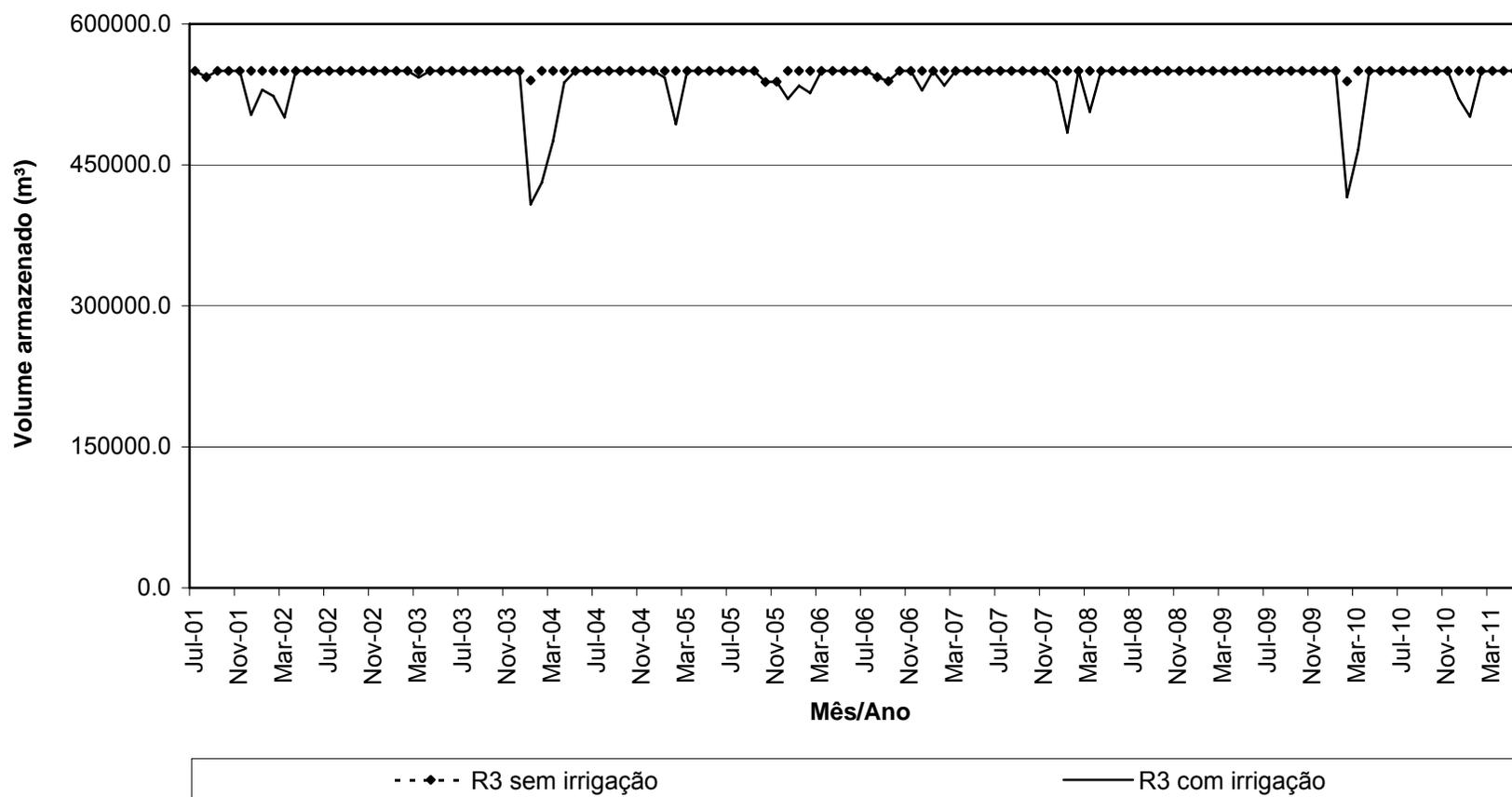


Figura 08. Variação dos volumes armazenados no R3 durante os dez anos simulados, em função da retirada ou não de água para irrigação. Alegrete/RS.

#### 4.3.2.1. Primeira Hipótese: R3 não é utilizado

O R3 apresentou-se vertendo em 94% dos meses do período simulado (Figura 08). Neste caso, o fato de o reservatório verter ou não foi controlado quase que totalmente pelos volumes precipitados, ou seja, o reservatório somente não verteu nos meses em que a precipitação foi menor que a evaporação na superfície do reservatório. Isto foi mais pronunciado no mês de agosto, justamente o mês que apresenta a menor média pluviométrica do ano.

O volume mínimo armazenado a que chegou o R3 foi de 538.219,5 m<sup>3</sup>, bem próximo à capacidade total de armazenamento deste quando em nível normal, que é de 550.000 m<sup>3</sup>. Este volume mínimo foi observado no mês de outubro do ano cinco da simulação, mês que apresentou precipitação pluviométrica igual a 0,0 mm e que foi precedido de meses com baixos índices pluviométricos (36,7 mm para agosto e 72,4 mm para setembro).

#### 4.3.2.2. Segunda Hipótese: R3 é utilizado

O volume mínimo a que chegou o R3 foi de 408.125,3 m<sup>3</sup>, volume bem superior à metade da capacidade de armazenamento total, que é de 550.000 m<sup>3</sup>. Isto indica que a área irrigada considerada na simulação foi bem inferior àquela que realmente poderia ser irrigada, caso fosse considerada sua capacidade dinâmica na determinação da área de irrigação.

A percentagem de meses em que o R3 verteu no período de dez anos simulados foi de 76%, sendo esta menor para os meses em que era praticada irrigação. Nos meses de maio, junho e julho, em todos os anos simulados o reservatório verteu, indicando que, a partir do mês de maio o reservatório recuperou, em todos os anos, sua capacidade máxima.

A influência da irrigação no volume armazenado pode ser visualizada na Figura 07, esta pode ser observada de forma bem atenuada, sendo a média mensal sempre superior ao volume de 500.000 m<sup>3</sup>.

#### **4.4. Determinação da área de irrigação considerando a capacidade dinâmica dos reservatórios**

Quando a área de irrigação de um reservatório é determinada a partir de sua capacidade estática, não são levadas em consideração as entradas no sistema, ou seja, não se consideram as precipitações ocorridas sobre o espelho d'água e nem sobre a bacia hidrográfica, sendo computadas somente as perdas, estas representadas pela evaporação e pela retirada de água para irrigação. Esta metodologia para determinação da área de irrigação de um reservatório normalmente é utilizada nas fases de projeto de reservatórios, visando determinar uma área de irrigação o mais segura possível, nunca passível de falta d'água.

No entanto, o clima do Rio Grande do Sul não permite a ausência de precipitação durante um período de, normalmente, 110 dias, o que representa o período de irrigação da maioria dos cultivares e dos sistemas de cultivo de arroz utilizados no Rio Grande do Sul. O que acontece em casos extremos, é a ausência de precipitações durante um ou, no máximo, dois meses seguidos, durante este período de 110 dias. Desta forma, conclui-se que as entradas no sistema ocorrem, por menores que sejam e que, portanto, pode ser considerada, no cálculo da área de irrigação, a capacidade dinâmica dos reservatórios, o que resultaria em ganhos na área de irrigação.

Conforme se pode visualizar na Tabela 16, os ganhos obtidos em área de irrigação quando se considerou a capacidade dinâmica de R1 e R3 foram bastante consideráveis. Os maiores ganhos foram obtidos na primeira simulação (Somente R1 existe), num total de 101 ha. No entanto, esta simulação foi a que resultou uma menor área total de irrigação (264 ha), visto não considerar a existência de R3 e, em consequência, de sua área de irrigação.

Tabela 16. Áreas de irrigação obtidas para cada simulação, a partir dos volumes dinâmicos e estáticos dos reservatórios R1 e R3. Alegrete/RS.

Simulações	Capacidade de armazenamento		Áreas de irrigação (ha)		Ganho em área (ha)		Área de irrigação total (ha)
	R1	R3	R1	R3	R1	R3	
1ª simulação	Dinâmica	Não existe	264	-	101	-	264
2ª simulação	Dinâmica	Estática	231	37	68	0	268
3ª simulação	Dinâmica	Dinâmica	216	74	53	37	290
Testemunha*	Estática	Estática	163	37	-	-	200

\*Testemunha: Áreas de irrigação obtidas através da capacidade estática dos reservatórios.

A maior área de irrigação total foi obtida quando da 3ª simulação (290 ha), que considerou a existência dos dois reservatórios com áreas de irrigação determinadas a partir de suas capacidades dinâmicas.

Os menores ganhos em área de irrigação foram obtidos quando da segunda simulação, que considerou a existência dos dois reservatórios, mas, no entanto, a área de irrigação de R3 determinada a partir de sua capacidade estática. Esta simulação apresentou área de irrigação total intermediária entre a primeira e a terceira simulação, no entanto, com valores bem próximos aqueles obtidos na primeira simulação, que desconsiderou a existência de R3.

Em percentual, os ganhos em área de irrigação foram de 62%, 34% e 45%, respectivamente, para as 1ª, 2ª e 3ª simulações, valores bastante consideráveis e que indicam haver subutilização dos volumes armazenados nos reservatórios, caso considerada a sua capacidade estática para o cálculo das áreas de irrigação.

Esta subutilização dos reservatórios pode ser mais bem visualizada nas Figuras 06 e 08, principalmente quando se considera o R3 (Figura 08). Nestas, pode-se visualizar que os reservatórios sempre se

apresentavam próximos ao NN, mesmo quando eram explorados e que, na maior parte do tempo, os dois apresentavam-se vertendo.

Quando as áreas de irrigação foram determinadas a partir da capacidade dinâmica dos reservatórios, os volumes regularizados por estes foram utilizados de maneira mais racional, sem que houvesse falta de água para as áreas determinadas (Figuras 09, 10 e 11). Pode-se pensar na falta d'água caso o período de simulação fosse ampliado, no entanto, quando se cogita o fato de que, durante dois meses subseqüentes a precipitação pluviométrica foi igual a 0,0 mm (ano seis da simulação); conclui-se que é quase impossível, nas condições climáticas médias do RS, ocorrerem períodos secos maiores ou mais intensos que este, sendo, portanto, aceitáveis as áreas de irrigação determinadas a partir da capacidade dinâmica de R1 e R3.

Nos itens 4.4.1, 4.4.2 e 4.4.3, descritos a seguir, são apresentados os comportamentos hídricos de R1 e R3 quando das três simulações formuladas.

#### *4.4.1. Comportamento do R1 quando da inexistência de R3*

Quando simulada a área de irrigação de 264 ha, o volume mínimo atingido pelo reservatório foi de 125.052,0 m<sup>3</sup>, no mês de março do ano dois da simulação, o que representa 5,2% de seu volume mínimo. Em todos os anos simulados, foi no mês de março em que foram atingidos pelo reservatório os menores volumes armazenados (Figura 09).

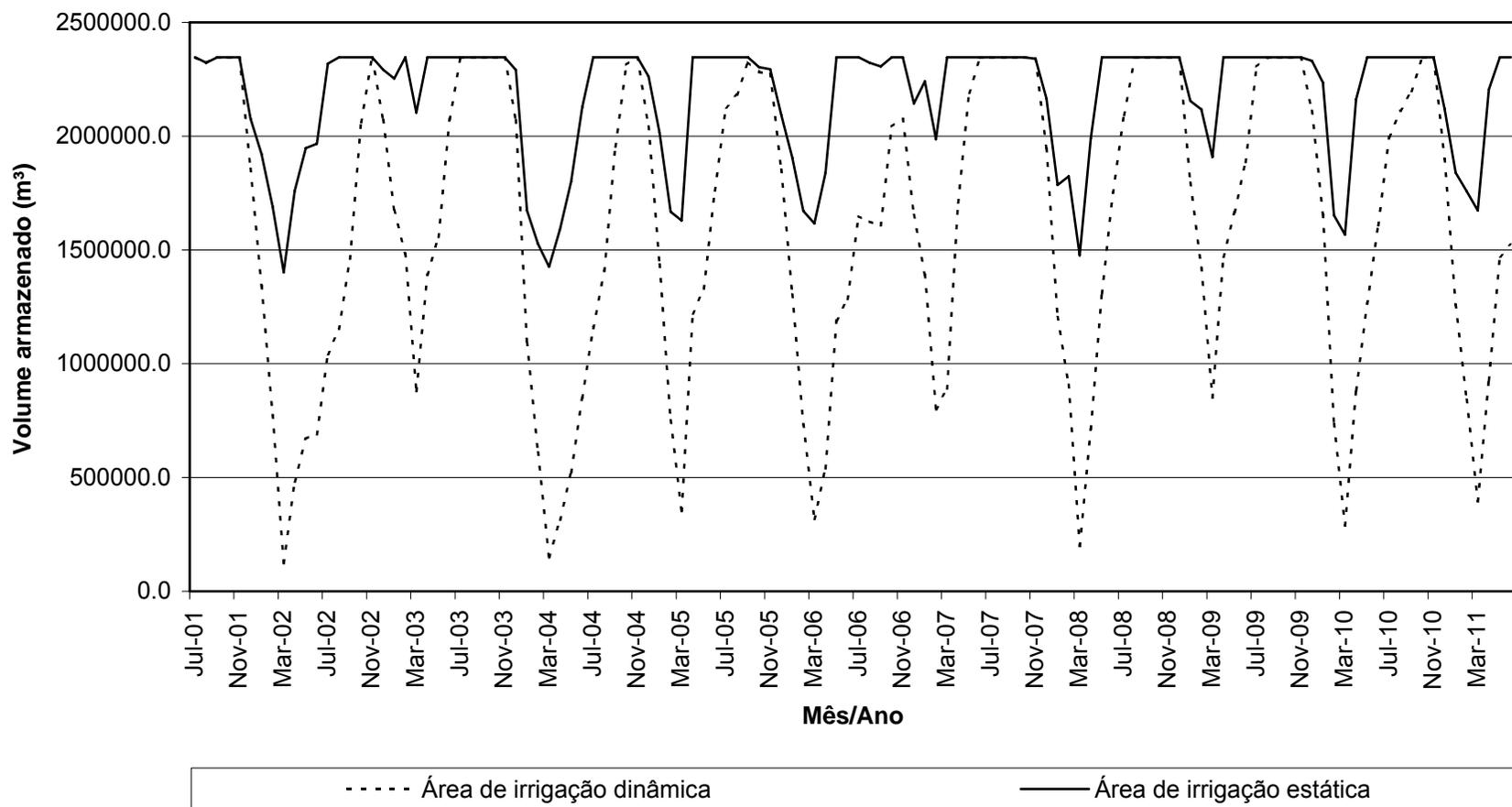


Figura 09. Variação dos volumes armazenados no R1, quando consideradas as áreas de irrigação determinadas a partir da capacidade dinâmica e da capacidade estática do reservatório. Alegrete/RS.

Mesmo considerando a retirada de água do R1 para irrigar mais 101 ha, o reservatório atingiu, no mês de novembro, em sete dos dez anos simulados, o seu volume máximo, ou seja, verteu. Nos outros três anos, o volume atingido pelo reservatório no mês de novembro foi sempre superior a 2.000.000 de m<sup>3</sup>.

O ano mais crítico da simulação foi o ano seis, no qual o reservatório conseguiu atingir um volume máximo armazenado, no mês de novembro, de 2.075.867,5 m<sup>3</sup>. Tal fato pode ser justificado devido à falta de chuvas durante os meses de agosto e setembro deste ano, com um volume precipitado de 0,0 mm, o que impossibilitaria o enchimento total do reservatório até o mês de novembro.

#### *4.4.2. Comportamento do R1 quando R3 foi utilizado com sua capacidade estática*

O volume mínimo alcançado pelo reservatório foi de 127.535,3 m<sup>3</sup>, também no mês de março do ano dois da simulação. Assim como para a simulação que desconsiderou a existência do R3, os volumes mínimos armazenados sempre foram atingidos pelo reservatório no mês de março (Figura 10).

A partir deste mês, os volumes armazenados no R1 passaram a aumentar gradualmente, até atingir volumes máximos armazenados no mês de outubro, mês em que, dos dez anos simulados, em seis anos o reservatório verteu. Nos outros quatro anos o reservatório sempre apresentou volume armazenado superior a 2.000.000 de m<sup>3</sup>. No mês de novembro, a quantidade de anos em que o reservatório verteu também foi igual a seis.

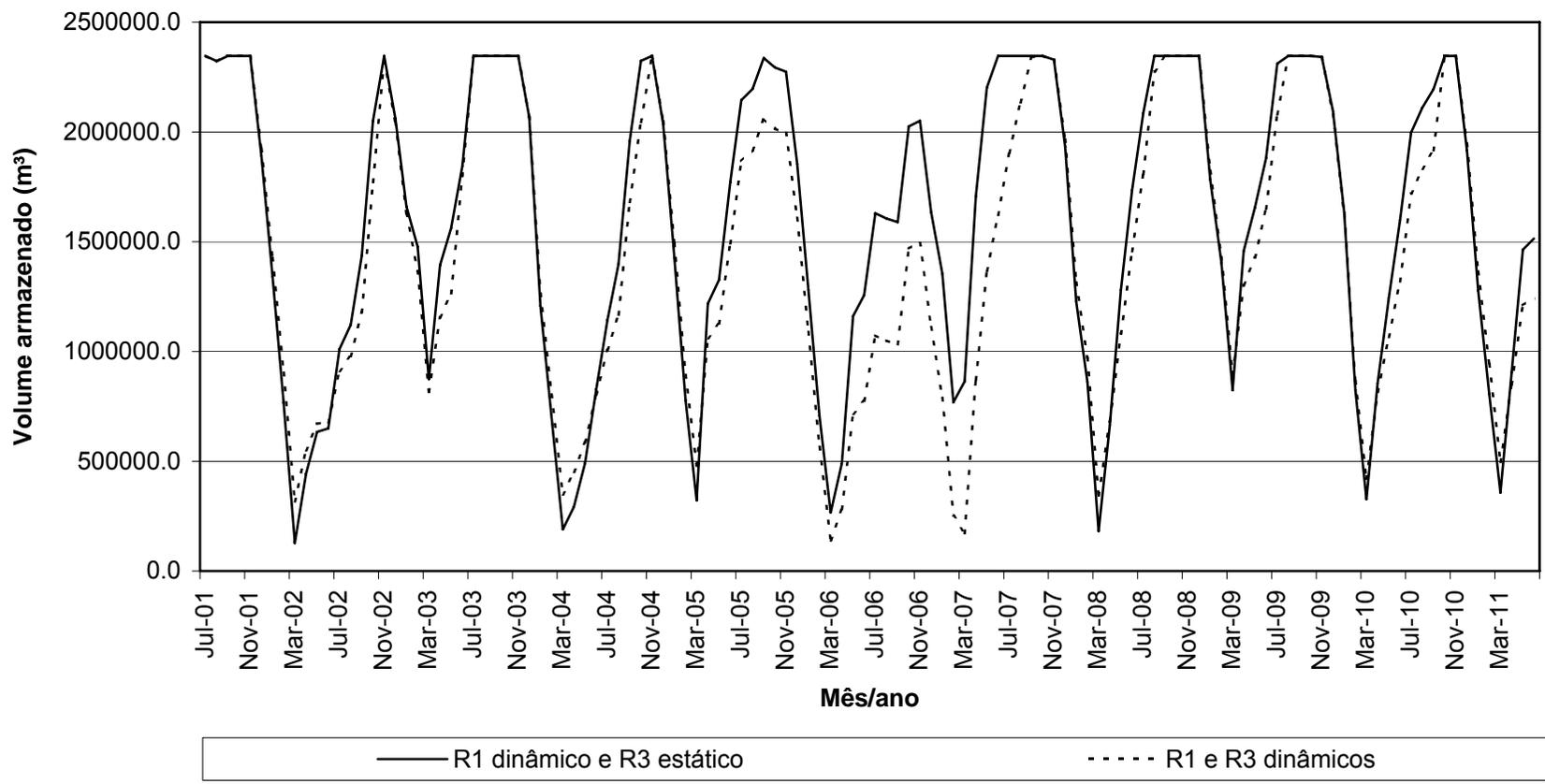


Figura 10. Variação dos volumes armazenados em R1, nas duas últimas simulações: a que considera R1 com volume dinâmico e R3 com volume estático e a que considera R1 e R3 com volumes dinâmicos. Alegrete/RS.

Assim como para as simulações anteriores, a presença de precipitações pluviométricas iguais a 0,0 mm influenciou grandemente os volumes armazenados no reservatório. Também foi o ano seis da simulação, ano que apresentou precipitações iguais a 0,0 mm nos meses de agosto e setembro o ano mais crítico, com volume máximo armazenado de 2.050.305 m<sup>3</sup>, no mês de novembro.

#### *4.4.3. Comportamento do R3 quando utilizados os volumes dinâmicos dos dois reservatórios*

Quando a área de irrigação foi obtida a partir da capacidade dinâmica de R3, o volume mínimo atingido pelo reservatório foi de 33.024,7 m<sup>3</sup>, também no mês de março do ano dois da simulação, o que representa 6% do volume mínimo do reservatório. Em todos os anos simulados, foi no mês de março em que foram atingidos pelo reservatório os menores volumes armazenados (Figura 11).

Mesmo considerando a retirada de água do reservatório n°3 para irrigar o dobro da área inicialmente proposta, o reservatório atingiu, no mês de outubro, em nove dos dez anos simulados, o seu volume máximo, ou seja verteu. No ano em que o reservatório não verteu no mês de outubro, chegou próximo a verter no mês de novembro, atingindo um volume armazenado de 538.587 m<sup>3</sup>.

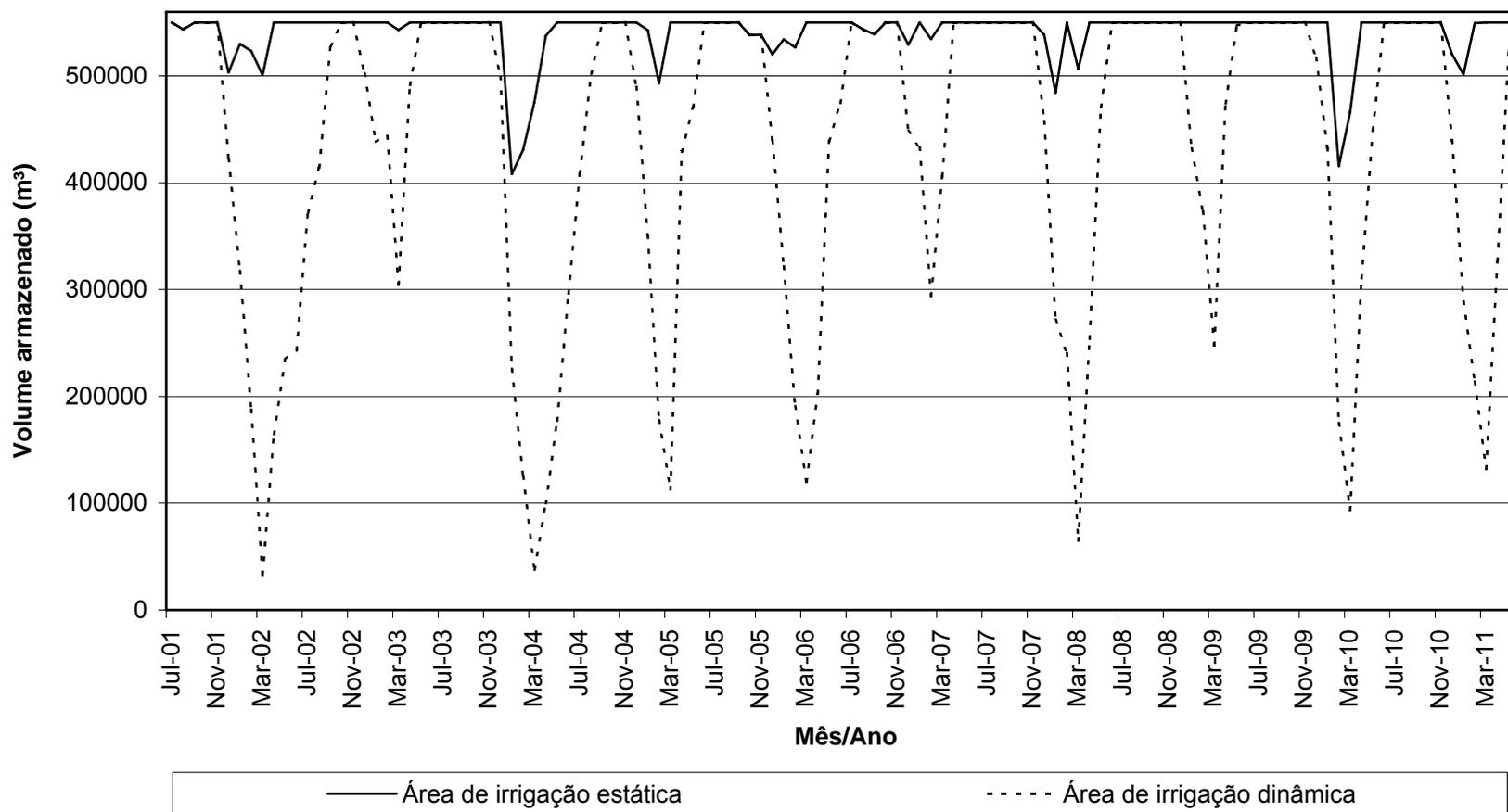


Figura 11. Variação dos volumes armazenados no R3, quando consideradas as áreas de irrigação determinadas a partir da capacidade dinâmica e da capacidade estática do reservatório. Alegrete/RS.

## 5. CONCLUSÕES

A construção do R3, aproximadamente 500 metros à montante do R1 não influencia praticamente nada o balanço hídrico e o armazenamento do R1, quando não é retirada água para irrigação do R3.

A retirada de água para irrigação do R3 influencia grandemente os volumes armazenados no R1, porém não a ponto de faltar água para irrigação das áreas propostas para os dois reservatórios.

Quando desconsiderada a existência do R3, o volume mínimo atingido pelo R1 foi de 1.401.702,1 m<sup>3</sup> e, em 55% dos meses, R1 apresentou-se com sua capacidade máxima de armazenamento.

Quando considerada a existência do R3, deste sendo retirada água para irrigação, o volume armazenado mínimo a que chegou o R1 foi de 987.062,1 m<sup>3</sup> e, em 42% dos meses o reservatório apresentou-se com sua capacidade máxima de armazenamento.

Quando R3 não foi utilizado, o fato deste verter ou não foi controlado principalmente pelos volumes precipitados, ou seja, o reservatório somente não verteu nos meses em que a precipitação foi menor que a evaporação na superfície do reservatório.

Quando R3 foi utilizado, o volume mínimo a que este chegou foi de 408.125,3 m<sup>3</sup> e, em 76% dos meses do período simulado o reservatório apresentava-se com sua capacidade máxima de armazenamento.

Quando considerada a capacidade dinâmica na determinação das áreas de irrigação de R1 e R3, os maiores ganhos em área de irrigação foram obtidos na simulação que desconsiderou a existência de R3 (101 ha). No entanto, a maior área total de irrigação foi obtida na simulação que considerou a existência dos dois reservatórios, sendo as áreas de irrigação destes, determinadas a partir de suas capacidades dinâmicas. Neste caso, a área total de irrigação resultante foi de 290 ha, 90 ha a mais do que quando consideradas as capacidades estáticas no cálculo das áreas de irrigação.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acioli, G.; Valença, M.; Melo, S.; Falcão, P. Estimação de taxas de evaporação no Reservatório de Sobradinho. In: **Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, 1., 1992, Recife. Anais. Recife: Ed. Universitária da UFPE: GRH/UFPE/ABRH, 1992, p.241-252.
- Acker, F. T. V. **Curso de Especialização à distância em Instrumentos Jurídicos, Econômicos e Institucionais para o Gerenciamento de Recursos Hídricos**: Módulo 4 (O Direito de uso água: o Código das Águas. Lei nº 9.433. A Legislação de Proteção da Qualidade da Água e Legislação Marginalia). Brasília: ABEAS, 1999. 160 p.
- Al-Eid, A. **Stochastic Generation of Evaporation Sequences**. Riyadh, 1993. M.S. Theses, King Saud University.
- Al-Shaikh, A. A. **Evaporation Data Stochastic Generation for King Fahad Dam Lake in Bishah, Saudi Arabia**. Capturado em 22 ago. 2004. Disponível na internet [kfki.baw.de/conferences/iche/2000-seoul/pdf/151/pap\\_183.pdf](http://kfki.baw.de/conferences/iche/2000-seoul/pdf/151/pap_183.pdf)
- ANA. Sistema de Informações Hidrológicas. **Dados de evaporação mensal**. Capturado em 15 dez. 2003. Disponível na internet <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>.
- Baptista, M. B.; Coelho, M. M. L. P.; Cirilo, J. A. **Hidráulica aplicada**. Porto Alegre, ABRH: Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 8, 2001. 619 p.
- Bernardes, B. C. Irrigação do arroz. **Lavoura arroeira**. Porto Alegre, v.10, nº17, p.371-382, 1956.
- Borges, M. C. de A. Disponibilidade hídrica para irrigação dos principais açudes do Nordeste Brasileiro. **Boletim Técnico do DNOCS**. Fortaleza, v.33, nº9, p.111-129, 1975.
- Borges, M. C. de A. Disponibilidades hídricas do Vale do Rio Jaguaribe no Estado do Ceará. **Boletim Técnico do DNOCS**. Fortaleza, v.36, nº1, p.59-68, 1978.

- Brasil. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul.** Boletim técnico nº30. Recife, 1973. 431 p.
- Câmara, E. P.; Curi, W. F.; Curi, R. C. Programação não-linear aplicada ao planejamento de perímetros irrigados alimentados por reservatórios interligados. **Engenharia Agrícola.** Jaboticabal, v.22, nº2, p.160-170, 2002.
- Campos, J. N. B. **Dimensionamento de Reservatórios – O Método do Diagrama Triangular de Regularização.** Fortaleza: Ed. da UFC, 1996. 51 p.
- Campos, J. N. B.; Studart, T. M. C. Variabilidades climáticas e tendências hidrológicas em climas semi-áridos. In: **Encuentro de Aguas**, 3., 2001, Chile. Anais: Chile: IICA, 2001.
- Campos, J. N. B.; Vieira Neto, J.; Queiroz, E. A. Impacto Cumulativo da pequena açudagem: estudo de caso do açude Várzea do Boi, em Tauá-CE. In: **Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, 5., 2000, Natal. Anais. Porto Alegre: ABRH, 2000, p.231-237.
- Caapeletto, G. A. **Deteriorações de Ambiente na Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Grande, Santa Maria, RS.** Santa Maria, 1993. 103 p. Monografia de Especialização em Interpretação de Imagens Orbitais e Suborbitais.
- Carvalho, D. F. de; Marques, D. C.; Ferreira, E. F.; Oliveira, L. F. C. de. Efeito do tamanho de séries históricas na demanda de irrigação do perímetro irrigado de Gorutuba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande, v.4, nº3, p.396-402, 2000.
- Centeno, J. A. S.; Kishi, R. T. Classificação do Regime dos Rios Alagoanos em Temporário e Permanente através da Aplicação de Índice Climatológico. In: **Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, 1., 1992, Recife. Anais. Recife: Ed. Universitária da UFPE:

- GRH/UFPE/ABRH, 1992, p.219-228.
- Clarke, T. T. **Statistical modeling in hidrology**. Porto Alegre, Ed. Wiley, 1994. 412 p.
- Corrêa, N. I.; Caicedo, N. L.; Feddes, R. A.; Louzada, J. A. S.; Beltrame, L. F. S. Consumo de água na irrigação do arroz por inundação. **Lavoura arroeira**. Porto Alegre, v.50, n°432, p.3-8, 1997.
- Corso, J. **Estimativa da Produção de Sedimentos da Bacia Hidrográfica do Arroio Itaquarichim, Santo ângelo, RS, a partir de Medições de Turbidez da Água**. Santa Maria, 1989. 70 p. Dissertação de Mestrado em Biodinâmica do Solo e de Plantas.
- Curi, R. C.; Curi, W. F.; Cunha, R. G. L. Lucratividade de um perímetro irrigado em função da operação de um reservatório e da garantia de sustentabilidade do sistema. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.21, n°3, p.236-246, 2001
- Dal’Forno, G. L. **Modelo semi-analítico para análise de vertedouros em pequenos reservatórios**. Santa Maria, 1996. 66 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola.
- Dotto, C. R. D. **Consumo de água e produtividade da cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) sob três sistemas de irrigação**. Santa Maria, 1990. 84 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola.
- Elesbão, L. E. G. **Projeto técnico da barragem de terra (R3)**. 2003.
- Elesbão, L. E. G. **Projeto de recomposição florestal: anexo ao Processo n° 53308 da 1ª Vara Cível de Alegrete**, 2002.
- Ferreira Filho, W. M.; Borges, M. C. de A. Proposição de uma metodologia para o controle da água dos açudes públicos do Nordeste Brasileiro. **Boletim Técnico do DNOCS**. Fortaleza, v.40, n°1, p.5-25, 1982.
- Fronza, D. **Avaliação de Modelos Matemáticos Precipitação - Vazão na Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí - Mirim**. Santa Maria, 1995. 158 p. Dissertação de Mestrado em Irrigação e Drenagem.

- Garcia, S. M. **Florestamentos compensatórios para retenção de água em microbacias**. Santa Maria, 2001. 161 p. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto.
- Gomide, F. L. S.; Cunha; L. M. Dimensionamento de reservatórios para a regularização de vazões. In: **Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos**, 4. Fortaleza, 1981. Anais 4, SP: ABRH, p.08-19.
- Governo do Estado do Rio Grande do Sul. Secretaria da Agricultura. Superintendência Geral. Departamento de Pesquisas. Instituto de Pesquisas Agronômicas. **Observações Meteorológicas no Estado do Rio Grande do Sul**. Boletim técnico n°3. Porto Alegre, 1979. 271 p.
- Governo Federal. **Política Nacional dos Recursos Hídricos**. Lei n° 9.433 de 8 de Janeiro de 1997.
- Governo Federal. **Política Estadual de recursos Hídricos**. Lei n° 10.350 de 30 de Dezembro de 1994.
- Gutterres, N. F. **Projeto técnico da barragem de terra (Reservatório n°1)**. 1986.
- Holeman, N. The Sediment Yields of Major Rivers of the World. In.: Water Resources Research. v.4, 1968, p.737-747. Citada por: FAO. **A Situação Mundial da Agricultura e da Alimentação**. 1978. FAO, Roma.
- Instituto de Pesquisas Agronômicas. Seção de Ecologia Agrícola. **Atlas agroclimático do estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, v.3, 1989.
- Jeng, R. I.; **Time-Dependent Solutions for Water Storage Problem**. Fort Collins, Colorado, State University, USA, Ph.D. Dissertation, 1967.
- Lanna, A. E. **Diretrizes de gestão das águas**. 1999. Disponível no site: <http://www.ufrgs.br/iph/4.pdf>.
- Lanna, A. E. Gestão dos recursos hídricos. In: **Hidrologia: ciência e aplicação**. Organizador: Tucci, C. E. M. Porto Alegre: Ed. da UFRGS: ABRH: EDUSP, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 1993, v.4, p.727-768, 943 p.

- Leite, P. F. Contribuição ao conhecimento fitoecológico do Sul do Brasil. **Ciência e Ambiente**. Santa Maria: UFSM, v.1, n°24, p.51-74, 2002.
- Leite, P. F.; Klein, R. M. Vegetação. In: **Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. p.113-150.
- Linsley, R. K.; Franzini, J. B. **Engenharia de recursos hídricos**. São Paulo, Ed. da USP, 1978. 798 p.
- Madruga, L. M. A. **Diagnóstico Físico do Ensino na Área Rural do Município de Santa Maria - RS**. Santa Maria, 1990. 62 p. Monografia de Especialização em Interpretação de Imagens Orbitais e Suborbitais.
- Macedo, H. P. Balanço hídrico e eficiência de um perímetro de irrigação. **Boletim Técnico do DNOCS**. Fortaleza, v.30, n°2, p.35-51, 1972.
- Maia, R. **Magno: Dicionário brasileiro da língua portuguesa**. São Paulo: EDIPAR, 926 p.
- Maia Neto, R. F. Água para o desenvolvimento sustentável. **A água em revista**. Belo Horizonte, n°9, p.21-32, 1997.
- Millar, A. A. **Drenagem de terras agrícolas**. São Paulo, Ed. McGraw-Hill do Brasil, 1978. 276 p.
- Moreno, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 73 p.
- Neves, E. T. **Curso de hidráulica**. Porto Alegre: Ed. Globo, 1974. 577 p.
- Nicks, A.; Harp, J. Stochastic Generation of Temperature and Solar Radiation Data. **Journal of Hydrology**. v.48, p.1-17, 1980.
- Oliveira, M. B. A.; Curi, R. C.; Curi, W. F. Otimização da receita no perímetro irrigado de Sousa-PB via programação linear. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.21, n°3, p.227-235, 2001.
- Paz, V. P. S.; Teodoro, R. E. F.; Mendonça, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. Campina Grande: DEAg/UFPB, v.4, n°3, p.465-473, 2000.

- Pinto, N. L. S.; Holtz, A. C. T.; Martins, J. A.; Gomide, F. L. S. **Hidrologia básica**. São Paulo, Ed. Edgard Blücher LTDA, 1976. 248 p.
- Pires, J. L. M. Suspensão antecipada da irrigação na cultura do arroz. **Trigo e Soja**, n°76, p.32-35, 1984.
- Richter, L. A. **Determinação da vazão de regularização da Bacia do Arroio Grande utilizando metodologia para pequenas bacias com dados esparsos**. Santa Maria, 1992. 103 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola.
- Rocha, L. S. M. **Manual de Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Santa Maria: Imprensa Universitária, 1991. 2ª edição, 181 p.
- Sá, A.; Valença, M.; Cavalcanti, A. R. T. Usina de Xingo: Operação de enchimento e suas conseqüências à jusante. In: **Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, 1., 1992, Recife. Anais. Recife: Ed. da UFPE: GRH/UFPE/ABRH, 1992, p.155-164.
- Sabourin, E.; Courcier, R. Utilização produtiva dos pequenos açudes do Nordeste semi-árido. In: **Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, 1., 1992, Recife. Anais. Recife: Ed. da UFPE: GRH/UFPE/ABRH, 1992, p.369-378.
- Santos, J. R. Irrigar é preciso. **Agroanalysis**. Rio de Janeiro, v.18, n°3, p.29-34, 1998.
- Serrano, P. R. G.; Curi, W. F.; Curi, R. C. ORNAP na otimização da receita de três perímetros irrigados abastecidos por dois reservatórios conectados em série. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.22, n°1, p.22-32, 2002.
- Silva, O. B.; Mello, R. M. **O efeito de regularização dos reservatórios de geração de energia elétrica e o planejamento integrado dos recursos hídricos**. Disponível na internet <http://www.ufrgs.br/iph/simposio/5.htm>
- Silveira, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: **Hidrologia: ciência e aplicação**. Organizador: Tucci, C. E. M. Porto Alegre:

- ABRH: EDUSP, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 1993, v.4, p.35-51, 943 p.
- Streamflows yields. Capturado em 22 ago. 2004. Disponível na internet [www.smec.com.au/technical/water/sy.htm](http://www.smec.com.au/technical/water/sy.htm).
- Streck, E. V.; Kämpf, N.; Dalmolin, R. S. D.; Klamt, E.; Nascimento, P. C. do; Schneider, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2002. 107 p.
- Studart, T. M. C.; Campos, J. N. B.; Andrade, J. P. M.; Freitas, L. A. A. O.; Carvalho, R. M. C. O processo de armazenamento em reservatórios no seu estado transiente e o volume inicial de máxima convergência. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 15., 2003, Curitiba. Anais. Porto Alegre: ABRH, 2003a, artigo aceito.
- Studart, T. M. C.; Campos, J. N. B.; Andrade, J. P. M.; Nascimento, L. S. V. O.; Carvalho, R. M. O fator de correção de viés como estimador da vazão de equilíbrio de um reservatório. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 15., 2003b, Curitiba. Anais. Porto Alegre: ABRH, 2003, artigo aceito.
- Studart, T. M. C.; Campos, J. N. B. A escolha do volume inicial assumido para um reservatório: uma questão irrelevante?. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 14., 2001, Sergipe. Anais: Porto Alegre: ABRH, 2001.
- Studart, T. M. C. **Análises de incertezas na determinação de vazões regularizadas em climas semi-áridos**. Ceará, 2000. Tese de doutorado em Engenharia Hidráulica e Ambiental.
- Tirelli, M. A. **Lauda Técnico Pericial**: anexo ao Processo nº 53308 da 1ª Vara Cível de Alegrete, 2002.
- Tsakiris, G. Stochastic Generation of Monthly Potential Evaporation in Arid and Semi-Arid Regions, **Arabian Journal for Science and Engineering**, v11, nº4, p.371-380, 1986.

- Tubelis, A.; Nascimento, F. J. L. de. **Meteorologia descritiva: Fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo, Ed. Nobel, 1980. 373 p.
- Tucci, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre, Ed. da UFRGS, 1998. 669 p.
- Tucci, C. E. M.; Beltrame, L. F. S. Evaporação e evapotranspiração. In: **Hidrologia: ciência e aplicação**. Organizador: Tucci, C. E. M. Porto Alegre: ABRH: EDUSP, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 1993, v.4, p.253-287, 943 p.
- Villanueva, A. O. N.; Silva, E. A.; Tucci, C. E. M.; Beltrame, L. F. S. Balanço oferta demanda para gerenciamento do sistema Mirim-Mangueira. In: **Congresso Nacional Del Agua**. 1., 1998, Santa Fe, Argentina. Anais. Santa Fé, Argentina, 1998, p.477-487.
- Villela, S. M.; Mattos, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Ed. McGraw-Hill do Brasil, 1975, 245 p.
- Weimann, R. **Projeto técnico da barragem de terra (R3)**. 2000.
- Wisler, C. O.; Brater, E. F. **Hidrologia**. Rio de Janeiro, Ed. SEDEGRA. 1964, 484 p.

## 7. ANEXOS

Anexo 01. Precipitação mensal observada entre os anos de 1970 a 2000, nos quatro postos pluviométricos estudados.

Estação:		2956006	3056006	2955013	2956009	P Média
Ano	Mês	P (mm)				(mm)
70	jan	133,7				133,7
	fev	273,7				273,7
	mar	156,5				156,5
	abr	57				57,0
	mai	202,9				202,9
	jun	116,2				116,2
	jul	81,5				81,5
	ago	154,4				154,4
	set	86,7				86,7
	out	184,6				184,6
	nov	14,6				14,6
	dez	256,7				256,7
71	jan	245,9				245,9
	fev	114,1				114,1
	mar	131,5				131,5
	abr	68,2				68,2
	mai	86				86,0
	jun	95,5				95,5
	jul	129,4				129,4
	ago	212				212,0
	set	68,4				68,4
	out	63,9				63,9
	nov	79,5				79,5
	dez	71,7				71,7
72	jan	150,7				150,7
	fev	60,1				60,1
	mar	220,6				220,6
	abr	337,2				337,2
	mai	102,8				102,8
	jun	264,6				264,6
	jul	218,5				218,5
	ago	168,9				168,9
	set	133,7				133,7
	out	253				253,0
	nov	90,4				90,4
	dez	73				73,0
73	jan	347				347,0
	fev	171,2				171,2
	mar	130,8				130,8
	abr	286,2				286,2

	mai	101,7	101,7
	jun	363,9	363,9
	jul	492,6	492,6
	ago	219,2	219,2
	set	326,4	326,4
	out	309,2	309,2
	nov	60,3	60,3
	dez	156,5	156,5
	jan	238,7	238,7
	fev	295,1	295,1
	mar	157,5	157,5
	abr	39	39,0
	mai	285,1	285,1
74	jun	136,2	136,2
	jul	106,7	106,7
	ago	235,6	235,6
	set	94,4	94,4
	out	29,5	29,5
	nov	111,5	111,5
	dez	164,2	164,2
	jan	134,1	134,1
	fev	37,6	37,6
	mar	310,6	310,6
	abr	95,8	95,8
	mai	392,4	392,4
75	jun	70,2	70,2
	jul	96,4	96,4
	ago	219,8	219,8
	set	168,1	168,1
	out	90,6	90,6
	nov	75,7	75,7
	dez	71,3	71,3
	jan	335,8	335,8
	fev	97,3	97,3
	mar	146,6	146,6
	abr	214,7	214,7
	mai	95,3	95,3
76	jun	56,8	56,8
	jul	74,5	74,5
	ago	166,1	166,1
	set	77,9	77,9
	out	157,8	157,8
	nov	88,3	88,3
	dez	166,2	166,2
77	jan	250,2	250,2
	fev	181,7	181,7
	mar	160,9	160,9
	abr	157	157,0

	mai	139,6		139,6
	jun	89,1		89,1
	jul	184,3		184,3
	ago	116,9		116,9
	set	110,5		110,5
	out	134,2		134,2
	nov	359,3		359,3
	dez	100,1		100,1
	jan	84,4	222,5	153,5
	fev	178	171	174,5
	mar	84,8	39,6	62,2
	abr	56,7	50,9	53,8
	mai	46,5	97	71,8
78	jun	145,4	112,4	128,9
	jul	209,1	208,6	208,9
	ago	38,3	13,2	25,8
	set	81	66,1	73,6
	out	180,3	195,6	188,0
	nov	309,8	319	314,4
	dez	92,1	83,4	87,8
	jan	66,6	38,4	52,5
	fev	146	115	130,5
	mar	92,9	111,2	102,1
	abr	135,5	91	113,3
	mai	138,7	129,7	134,2
79	jun	12,6	19,5	16,1
	jul	82,9	96,4	89,7
	ago	136,6	143,3	140,0
	set	318,4	260,4	289,4
	out	328,2	236,4	282,3
	nov	152	187,2	169,6
	dez	121,4	162,3	141,9
	jan	40,1	28,6	34,4
	fev	99,3	162,8	131,1
	mar	73,9	147	110,5
	abr	31,2	102,7	67,0
	mai	69,5	90,9	80,2
80	jun	215,2	221,4	218,3
	jul	53,5	44,4	49,0
	ago	79,8	90,9	85,4
	set	19,4	31,3	25,4
	out	271,5	415,5	343,5
	nov	174,5	67,1	120,8
	dez	39,3	170,5	104,9
81	jan	108,8	193,6	151,2
	fev	215,5	250,7	233,1
	mar	52,8	37,1	45,0
	abr	43	53,4	48,2

	mai	69,6	108,7	89,2
	jun	52,9	71,2	62,1
	jul	75,3	62,2	68,8
	ago	19,6	14,4	17,0
	set	95,1	120,6	107,9
	out	91,7	53,4	72,6
	nov	88,1	81,2	84,7
	dez	98,2	178,1	138,2
	jan	106,1	92,6	99,4
	fev	265,7	307,6	286,7
	mar	28,5	45,3	36,9
	abr	74,9	32	53,5
	mai		231,5	231,5
82	jun		166,1	166,1
	jul	62,8	106,7	84,8
	ago	105	200,3	152,7
	set	144,8	248,7	196,8
	out	90,6	124,5	107,6
	nov	382,4	320,8	351,6
	dez	122,9	148,8	135,9
	jan	196,8	269,4	233,1
	fev	218,3	368	293,2
	mar	265,3	130	197,7
	abr	178,5	161,6	170,1
	mai	232	317,1	274,6
83	jun	2,2	29	15,6
	jul	206,1	180,3	193,2
	ago	29,8	45,5	37,7
	set	19,2	40,8	30,0
	out	123	140,5	131,8
	nov	86,4	142,4	114,4
	dez	42,5	24,6	33,6
	jan	170,9	154,6	162,8
	fev	62	232,1	147,1
	mar	192,2	191,6	191,9
	abr	302,4	162,6	232,5
	mai	434,6	285,3	360,0
84	jun	175,6	197,8	186,7
	jul	100,4	119,3	109,9
	ago	105,3	92,2	98,8
	set	327,9	212,3	270,1
	out	178,4	133,1	155,8
	nov	122,2	120,6	121,4
	dez	73,6	64	68,8
85	jan	23	46,2	34,6
	fev	154,4	147,7	151,1
	mar	167,6	218,6	193,1
	abr	130	187,7	158,9

	mai	218,8	118,6			168,7
	jun	117,9	126,8			122,4
	jul	115,7	144,6			130,2
	ago	132,2	102,2			117,2
	set	231,4	174,2			202,8
	out	82,6	97,3			90,0
	nov	20,4	42,8			31,6
	dez	36	48,6			42,3
	jan	111,3	232,4	204,8		182,8
	fev	205	135,3	203,4		181,2
	mar	324,1	382,6	224		310,2
	abr	413,2	336			374,6
	mai	314,8	224,2	372,9	214,8	281,7
86	jun		120,4	137,4	122,6	126,8
	jul	162,6	33,2	125,2	101,2	105,6
	ago	15,2	43,8	68	50,9	44,5
	set	164,1	159,2	184,8	100,2	152,1
	out		183,4	146,1	206,7	178,7
	nov	347	390,6	326,4	262,7	331,7
	dez	51,5	6,2	27,3	35,3	30,1
	jan	230,4	76,8	94,1	158,3	139,9
	fev	53,2	103,6	191,2	62,3	102,6
	mar	253,8	224,2	259,7	326,8	266,1
	abr	467,6	382,9	442		430,8
	mai	107,4	79,4	71,7		86,2
87	jun	157,2	40,1	55,6	120,7	93,4
	jul	359,4	250,6	299,6	255,7	291,3
	ago	92,4	137,2	155,5	137,2	130,6
	set	131,4	106	117,3	130,6	121,3
	out	95,1	66,6	123,8	49,6	83,8
	nov	47	93,2	52,4	77	67,4
	dez	83,7	59,2	46,6	63,7	63,3
	jan	246,2	296	282,7	279,8	276,2
	fev	100,4	87,6	140,1	67,9	99,0
	mar	122,8	45,6	33,5	78	70,0
	abr	76,8	24,3	105,6	131,6	84,6
	mai	99,1	36	58,1	31,1	56,1
88	jun	97,7	97,8	138,6	132,7	116,7
	jul	13,4	34	11,2	6,5	16,3
	ago	36,2	55,2	60,5	40	48,0
	set	144,2	154,7	241,1	185,9	181,5
	out	49	72,9	138,3	124,7	96,2
	nov	58,8	120,4	95,1	70,7	86,3
	dez	133,2	44,2	53,3	40,1	67,7
89	jan	80	107	92,9	74,7	88,7
	fev	15,4	52,7	26		31,4
	mar	95,1	136,8	108,1	131,9	118,0
	abr	264,8	178	184	282,6	227,4

	mai	6	9,7	8,6	8,2	8,1
	jun	39	54,8	71,3	63,7	57,2
	jul	61,5	37,3	27,5	39	41,3
	ago	98	155,5	161,4	151	141,5
	set	63,8	61,6	108,3	90	80,9
	out	62,6	76,7	92,1	100	82,9
	nov	77,6	86,1	125,5	118,2	101,9
	dez	147,4	138,5	109,5	107,5	125,7
	jan	154,4	104,5	90	60,2	102,3
	fev	62,6	162,1	107,5	66,9	99,8
	mar	212	194,4	250,8	254,7	228,0
	abr	405	265,9	401,1	294,5	341,6
	mai	82,6	77	86,1	41,4	71,8
90	jun	54,8	23	64,2	103,7	61,4
	jul	78	34,8	66,1	58,9	59,5
	ago	21,6	26,2	9,5	35,1	23,1
	set	247,9	100,1	162	136,6	161,7
	out	158,3		138,3	181,9	159,5
	nov	118,8		284,6	285	229,5
	dez	222,4		174,7	154,9	184,0
	jan	83,3		82,6	80,7	82,2
	fev	19,4		25	12,1	18,8
	mar	81,2		111,7	45,3	79,4
	abr	172,7		258,4	176,7	202,6
	mai	29,8		56,3	37,9	41,3
91	jun	126,5		104,9	90,2	107,2
	jul	68,4		72,4	51,7	64,2
	ago	7,2		9,5	29,8	15,5
	set	139,8		168,6	152,3	153,6
	out	73,8	63,8	95,7	93,9	81,8
	nov	108	80,2	82,4	160,7	107,8
	dez	207	122,2	149,1	86,1	141,1
	jan			91,4		91,4
	fev			292,8		292,8
	mar			193,1	187,5	190,3
	abr			339,8	248,2	294,0
	mai			206,1	165,3	185,7
92	jun			202,6	64,3	133,5
	jul			132,9	86,2	109,6
	ago	21,4	57,5	51,7	65,6	49,1
	set	109,5	72,8	59	52,2	73,4
	out	145,1	122,3	152,2	131	137,7
	nov	51,8	46	74,2	56,2	57,1
	dez	22,9	32	44,5	61,7	40,3
93	jan	319,8	95	254	225,2	223,5
	fev	61,8		50,7	47,5	53,3
	mar	205,3	100	114,8	113,7	133,5
	abr	109,8	101,5	130,4	155,4	124,3

	mai	241,3	206,6	205,8	193,3	211,8
	jun	70,8	96,2	227,2	132,8	131,8
	jul		59,5	95,2	33,2	62,6
	ago		8	0,4		4,2
	set		34,2	64,8		49,5
	out	148,8	189,8	161,5	171	167,8
	nov	304,4	225,2	325,3	285,7	285,2
	dez	143,6	26,5	104,4	118	98,1
	jan	17		16	0	11,0
	fev	278,4	240,8	192,7	97,1	202,3
	mar	49,2	44,6	55,3	77,8	56,7
	abr	152,2		151,9	109,3	137,8
	mai	84,5	37,8	81,1	28,7	58,0
94	jun	46,6		60,8	62,5	56,6
	jul	161,2	74,5	153	122,1	127,7
	ago	62,2	105	91,2	85	85,9
	set	99,4	107,6	196,7	90,4	123,5
	out	117,4	180,4	199,7	123,8	155,3
	nov	65,9	66	79,2	121,7	83,2
	dez	59,2	104,2	0		54,5
	jan	177,4	111	165,7	87,2	135,3
	fev	210	248,8	182,3	131,3	193,1
	mar	242,5	173,9	275,7	157,3	212,4
	abr	111,3	61,6	68,4	64	76,3
	mai	121,6	74,5	191,2	62,9	112,6
95	jun	44,2	54,5	49,9	39,9	47,1
	jul	224,5	153,7	144,2	125,1	161,9
	ago	106,8	16,3	35,5	42,5	50,3
	set	122,3	139,3	165,3	140,1	141,8
	out	104,1	132	121,8	77	108,7
	nov	17,8	15,4	38,6	35,7	26,9
	dez	135,8	53,3	34,8	33,1	64,3
	jan	158,3	229,6	303,9	245,3	234,3
	fev	182,2	84,2	69,5	122,2	114,5
	mar	85,4	169,5	171,2	165	147,8
	abr	256,6	308,7	227,8	220,1	253,3
	mai	3,9	18,8	3,9	2,8	7,4
96	jun	37,7	46,7	47,5	37,2	42,3
	jul	34,5	8,9	13,5	54,8	27,9
	ago	100	20,1	67,5	59,3	61,7
	set	74,8	75	87,9	62,6	75,1
	out	152,9	110,7	152,1	118,7	133,6
	nov	66,1	67,6	70,2	83,5	71,9
	dez	146,8	109,1	108	103	116,7
97	jan	124,3	121,9	111,9	75,4	108,4
	fev	247,2	424,4	435,7	412,4	379,9
	mar	73,7	43,1	83,6	49,3	62,4
	abr	103,8	151,4	115,5	101,6	118,1

	mai	120,1	80,4	102,3	106,1	102,2
	jun	168,6	77,8	103,9	102,9	113,3
	jul	46,4	118,4	51,5	42,5	64,7
	ago	30,2	55,1	32,6	37,3	38,8
	set	132	50,8	68	79	82,5
	out	473	328,2	428	398,1	406,8
	nov	216,9	214,3	146,3	126,7	176,1
	dez	384,8	319,7	278,5	304,9	322,0
	jan	313,9	426,4	331	335	351,6
	fev	248,7	253	242,7	198,6	235,8
	mar	262,1	226,1	180,2	241,4	227,5
	abr	468,3	420	354,9	440,9	421,0
	mai	48,5	45,3	53,2	40,7	46,9
98	jun	123,2	221	158,3	161,1	165,9
	jul	113,2	179,4	162	151,3	151,5
	ago	116,6	70,6	64,3	33	71,1
	set	158,1	249	213,6	198	204,7
	out	66,4	79,1	85,2	67,9	74,7
	nov	63,5	106,9	69,4	69,6	77,4
	dez	106	54,9	47,1	79	71,8
	jan	25,9	0	0	44,5	17,6
	fev	170,9	180,8	168,7	158	169,6
	mar	43,9	33	82,1	40,9	50,0
	abr	201	149		147,8	165,9
	mai	218,7	75,2		123,8	139,2
99	jun	121,9	89,3		87,2	99,5
	jul	137,2	150,5		104,3	130,7
	ago	25,9	66		16,3	36,1
	set	170,2	45	75,8	91	95,5
	out	207,9	111,8		180	166,6
	nov	79,7	43,5		55,4	59,5
	dez	83,1	71,1	39,1	79,5	68,2
	jan	76,5	99	156,3	42,4	93,6
	fev	60,6	88	60,2	56,1	66,2
	mar	369,8	229	166,8	360,3	281,5
	abr	87,5	127		127,9	114,1
	mai	183,9	208	239	195,6	206,6
00	jun	216,2	55,9	209,2	182,3	165,9
	jul	39	71,8		35,7	48,8
	ago	44,9	42,6		62,4	50,0
	set	97	119,1	145,4	107	117,1
	out	191,6	222	190,9	140,9	186,4
	nov	140,9	146,8		162,6	150,1
	dez	171,9	70		139,4	127,1

Anexo 02. Evaporação mensal observada entre os anos de 1963 a 1977, nos cinco postos evaporimétricos estudados.

Estação:		Quaraí	S. do Livramento	S. Borja	S. Gabriel	Uruguaiana	EV média (mm)
Ano	Mês	EV (mm)					
63	Jan		181,1				181,1
	Fev		151,6				151,6
	Mar		147,4				147,4
	Abr		97,2				97,2
	Mai		83				83,0
	Jun		76,7				76,7
	Jul		70,2				70,2
	Ago		84,5				84,5
	Set		78,6				78,6
	Out		87,7				87,7
	Nov		94,5				94,5
	Dez		110,2				110,2
64	Jan		143			252,5	197,8
	Fev		111,2			197,7	154,5
	Mar		101,9			135,8	118,9
	Abr		73,4			82,6	78,0
	Mai		69,9			86,1	78,0
	Jun		59,8			84,8	72,3
	Jul		70,5			93,1	81,8
	Ago		68,4			104,3	86,4
	Set		81,9			118,2	100,1
	Out		112			152,6	132,3
	Nov		124,1			209,4	166,8
	Dez		138,6			260,5	199,6
65	Jan		151,6	183,4		263,7	199,6
	Fev		114,7	187,5		242,1	181,4
	Mar		122	147,1		252,2	173,8
	Abr		95,4	91		236,4	140,9
	Mai		76,5	67,4		86	76,6
	Jun		69,4	35,3		56,2	53,6
	Jul		68,4			91,2	79,8
	Ago		74,4	62,9		111	82,8
	Set		70,9	71,1		93,2	78,4
	Out		90,9	109,4		136,1	112,1
	Nov		89,4	114,8		129,6	111,3
	Dez		102,4			134,3	118,4
66	Jan		104,8	128,9		155,9	129,9
	Fev		84	101,2		121,3	102,2
	Mar		83,8	88,8		111,2	94,6
	Abr		66,5	73,7		70,8	70,3
	Mai		65,4	68,9		72,6	69,0
	Jun		46,4	44,7		68,2	53,1
	Jul		56,2	55,7		69,8	60,6

	Ago		87,8	91,9	107,3	95,7
	Set		85,5	103,4	110,7	99,9
	Out		96,4	118,1	133,3	115,9
	Nov		108,3	120,9	133,7	121,0
	Dez		112,9	114,7	143,1	123,6
	Jan	202,5	162,2	138,3	173,2	169,1
	Fev	215,5	141,1	134,8	177	167,1
	Mar	143,6	127,7	119,8	144,3	133,9
	Abr	106,6	9,45	95,3	119,9	82,8
	Mai	107,5	67,3	80	116,5	92,8
67	Jun	64,0	59,4	57,9	60,5	60,5
	Jul	80,9	62,2	56,5	69,7	67,3
	Ago	97,7	73,9	78	80,8	82,6
	Set	101,5	78,9	95,1	93	92,1
	Out	123,6	85,9	100,3	110,6	105,1
	Nov	199,3	132,5	143,7	143,9	154,9
	Dez	288,8	222,2	242,8	332,7	271,6
	Jan	274,5	211,1	193,9	316,3	249,0
	Fev	248,6	180,9	212,9	245,4	222,0
	Mar	203,8	154,8	168,5	190	179,3
	Abr	115,4	105,6	104,3	114,8	110,0
	Mai	74,1	71,7	75,4	79,7	75,2
68	Jun	62,0	46,4	57,9	55,1	55,4
	Jul	63,4	50,3	61,9	60,4	59,0
	Ago	90,5	67,5	81,6	74,5	78,5
	Set	125,6	105,4	109,9	112,8	113,4
	Out	151,5	99	108,3	126,8	121,4
	Nov	159,0	103,9	111,2	143,4	129,4
	Dez	230,7	161,8	159,7	223	193,8
	Jan	161,0	297,5	101,9	149,2	177,4
	Fev	123,0	188	81,5	107,6	125,0
	Mar	106,8	155,1	106,3	128,2	124,1
	Abr	65,6	93,6	82,5	102,5	86,1
	Mai	86,6	76,1	69,1	76,5	77,1
	Jun	89,3	78	66,2	81,4	78,7
69	Jul	107,5	72,1	76,5	105	90,3
	Ago	106,5	87,9	85,1	105,1	96,2
	Set	133,4	104,7	111,5	144,8	123,6
	Out	226,8	153,6	156,1	198,1	183,7
	Nov	165,6	115,4	113,2	145,6	135,0
	Dez	231,4	151,9	134,6	205,2	180,8
70	Jan	202,1	149,9	139,9	166	164,5
	Fev	173,7	108,6	112	132,1	131,6
	Mar	147,9	96,3	106	128,3	119,6
	Abr	121,1	93,4	96,6	113,9	106,3
	Mai	77,6	60,3		77,9	71,9
	Jun	72,2	47,1		70,4	63,2
	Jul	94,3	59,7		83,1	79,0
	Ago	128,0	81,3	88,6	125,3	105,8
	Set	149,9	93,7		124,6	122,7

	Out	165,7	98,1		102,2	138,1	126,0
	Nov	277,2	151,1		135,6	215,7	194,9
	Dez	226,1	132		130,6	203,1	173,0
71	Jan	145,7	93,5		100	119,4	114,7
	Fev	127,0	85,8		77	101,1	97,7
	Mar	129,3	86,6			105,7	107,2
	Abr	138,3	102,9			123,6	121,6
	Mai	85,4	71		72,6	92,8	80,5
	Jun	78,0	59,9		60,4	80,6	69,7
	Jul	92,9	69,3		64,6	94,3	80,3
	Ago	130,8	91,4		84,9	116,2	105,8
	Set	121,6	81,7		76,4	111,4	97,8
	Out	163,4	117,9		106,4	172,2	140,0
	Nov	315,9	181		160	266,3	230,8
	Dez	125,2	169,7		196,2	325,4	204,1
72	Jan	120,0	106,8		118	190	133,7
	Fev	121,0	131,4		118	184,3	138,7
	Mar	129,7	104,1		101,2	148,4	120,9
	Abr	138,7	79,6		84,7	93,7	99,2
	Mai	62,3	58,4		74,4	71,5	66,7
	Jun	26,0	33,5		35,2	44,2	34,7
	Jul	78,4	57,6		62,9	63,8	65,7
	Ago	88,4	57		55,6	71,5	68,1
	Set	142,6	94,5		92,6	133,9	115,9
	Out	160,7	102,4		91,8	150	126,2
	Nov	144,7	116,9		106,8	150,3	129,7
	Dez	202,4	147,8			195,7	182,0
73	Jan	140,2	100,1	118,2	103,4	121,2	116,6
	Fev	111,6	76,7	85,2	75	91,1	87,9
	Mar	130,9	94	96,4	74,4	115,3	102,2
	Abr	85,1	62,6	67,8	80,4	71,2	73,4
	Mai	76,2	57,7	59,8	34,4	69,6	59,5
	Jun	57,8	41,4	52,2	44,2	53,9	49,9
	Jul	65,7	36,2	52,4	48,3	54,6	51,4
	Ago	116,6	91,1	65,7	80	108,2	92,3
	Set	128,2	82,4	69,1	84	140,8	100,9
	Out	145,2	122,2	107,6	94,1	191,8	132,2
	Nov	238,2	158,2	158	113,5	259,1	185,4
	Dez	192,6	122,9	146,9	98,3	209,1	154,0
74	Jan		107,9	126,7	92,4	171,4	124,6
	Fev		90,4	78	66,7	99	83,5
	Mar		70,6	91	89,4	117,2	92,1
	Abr		100,4	110,8	92,2	151,4	113,7
	Mai		58,7	78		94	76,9
	Jun		61,7	60,6		67,7	63,3
	Jul		61,4	70,9	69,4	99,3	75,3
	Ago		86,2	78		113,2	92,5
	Set		65,6	89,8		116,1	90,5
	Out		133,6	147,4		209,4	163,5
	Nov		127,5	138,7		213,1	159,8

	Dez		144,5	131,3			137,9
75	Jan		103	113,8		167,8	128,2
	Fev		80,9	116,6		148,3	115,3
	Mar	118,3	82,8	81,7		113,9	99,2
	Abr	108,2	77,7	79,9		107,6	93,4
	Mai	97,1	60,9	77		99,3	83,6
	Jun	73,2	40,8	58		83,2	63,8
	Jul	94,1	74,5	74,5		92,3	83,9
	Ago	94,3	66,6	65,1	63,3	86,3	75,1
	Set	111,8	79,5	68,3	71,1	98,5	85,8
	Out	167,4	124,7	107,8	106,5	171	135,5
	Nov	188,1	124,3	132,4	100,4	179	144,8
	Dez	276,2	114,4	124,2	140,8	212,3	173,6
76	Jan	153,5	96,1	96,2	120,5	149,3	123,1
	Fev	159,3	93,4	92,8	123,1	138,1	121,3
	Mar	116,4	86,6	74,8	91,6	114,2	96,7
	Abr	96,8	88,1	75,9	80,8	101,4	88,6
	Mai	73,0	55,7	70,2	62	70,7	66,3
	Jun	90,0	73,2	61,9	69,4	89	76,7
	Jul	97,0	63	74,9	67,9	107,1	82,0
	Ago	115,2	83,1	80	77,9	127,9	96,8
	Set	144,3	104,5	105,8	98,1	144,5	119,4
	Out	180,1	116,6	114,2	115,6	177,7	140,8
	Nov	164,0	112,4	129	106,1	189,1	140,1
	Dez	152,6	128,1	139,8	121,4	178,5	144,1
77	Jan	117,3	101,7	94,9	92,8	124,4	106,2
	Fev	91,0	66,9	93	67,8	105,6	84,9
	Mar	96,6	89,4	113,1	94,5	107,3	100,2
	Abr	101,8	68,1	97,5	76,9	81,5	85,2
	Mai	74,0	58,2	69,3	46,5	58,6	61,3
	Jun	62,0	54,6	62,9	42,7	58,1	56,1
	Jul	88,9	60,2	68,1	56,2	62,8	67,2
	Ago	99,6	76	60,2	56,3	83,1	75,0
	Set	116,8	91,1	114,6	90,2	121,4	106,8
	Out	192,3	100,9	114,8	109,7	124	128,3
	Nov	167,4	128	104,7	138	139,3	135,5
	Dez	167,4	142,1	127,3	165,6	170	154,5