

APLICAÇÃO DE UM MODELO SIMPLIFICADO PARA DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES NATURAIS NA CABECEIRA DO RIO VACACAÍ

Ana Lúcia Denardin da Rosa¹; Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva²; Denise Gracieli SchalleMBERger³ & Liane Cassol Cella⁴.

RESUMO --- O conhecimento das vazões naturais é necessário uma vez que as vazões registradas nos postos fluviométricos são distorcidas pelas modificações ocorridas no meio, entretanto, isso nem sempre é fácil devido à carência de informações hidrológicas, assim desenvolver e testar metodologias simplificadas torna-se cada vez mais importante. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi empregar o modelo desenvolvido por Paiva *et al.* (2006 b) para uma sub-bacia do Rio Vacacaí, a fim de analisar a problemática do uso dos recursos hídricos para a irrigação do arroz, demonstrando o efeito que essas retiradas causam nas séries de vazões observadas nos postos fluviométricos. A região de estudo, com área de aproximadamente 1125 Km², abrange a cabeceira do Rio Vacacaí que faz parte da Região Hidrográfica do Atlântico Sul. Na aplicação do modelo foi utilizada como demanda de água apenas a utilizada para a irrigação do arroz. Acredita-se que fatores como escassez de dados de chuva, incerteza nos valores de demanda adotados foram significantes para prejudicar a qualidade dos ajustes, entretanto o modelo mostrou-se eficiente na determinação das vazões naturais. Para a simulação mensal o modelo apresentou coeficiente de determinação de 0,93 e índice de eficiência de Nash e Sutcliffe 0,89.

ABSTRACT--- The knowledge of the natural flow is very important because the recorded flows in the fluviometric stations are distorted by changes in the environment, however, it is not easy because of the few hydrologic information, so develop and test simplified methodologies has become more important each time. The purpose of this paper was analyze the issue of the use of water resources for rice irrigation, showing the effect of these withdrawn in the record flows on the fluviometric stations. For this, the model developed by Paiva *et al.* (2006 b) was used for a sub basin from Vacacaí River. The region of study covering an area approximate of 1125 km², includes headwaters of Vacacaí River that is part of Atlântico Sul watershed. In the implementation the model was utilized only the demand of rice irrigation. It is believed that factors as shortage rain, uncertainty values of demand adopted were significant to damage the adjust quality, however the model show to be efficient on the determination of naturals flows. For the monthly simulation the model show coefficient of determination 0,93 and rate of efficiency Nash e Sutcliffe 0,89.

Palavras Chave: Bacia do Rio Vacacaí, modelo SMAP.

1) Aluna de mestrado do PPGEC da UFSM, Av. Roraima, 97105-900, Santa Maria. E-mail eng.analucia@yahoo.com.br

2) Professora associada da UFSM, CT, Av. Roraima, 97105-900, Santa Maria. E-mail eloizadepaiva@gmail.com

3) Aluna do curso de Engenharia Civil da UFSM, Av. Roraima, 97105-900, Santa Maria. E-mail deni_gs23@yahoo.com.br

4) Aluna do curso de Engenharia Civil da UFSM, Av. Roraima, 97105-900, Santa Maria. E-mail lianecella@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

A água em quantidade e com qualidade é indispensável para desenvolvimento de uma região, sendo assim, são necessárias ações eficientes referentes ao planejamento e gestão dos recursos hídricos, a fim de garantir a sua disponibilidade em padrões adequados.

Segundo Paiva *et al.* (2006 b), o planejamento somente é possível a partir do conhecimento dos valores quantitativos, tendo em vista sua distribuição nas escalas temporal e espacial, e para isso é importante à implantação de um sistema de monitoramento hidrológico, de longo período, que permita esta quantificação.

Por ser o Brasil um país continental, o custo de uma rede densa de postos hidrológicos é elevado, com isso, é comum encontrar um reduzido número de postos numa região e com séries de dados de curta duração. Esse problema é ainda maior nas pequenas bacias hidrográficas e nas regiões onde não há um grande interesse econômico, conforme comentam Genovez e Pio (1999).

Além das informações de disponibilidade de água nos rios serem escassas é importante para os gestores perceberem que as ações de retirada de água e construção de açudes interferem no meio ambiente e podem distorcer as séries de vazões registradas, que são utilizadas em estudos e pesquisas em geral. Deste modo, o conhecimento das vazões naturais é bastante importante pelo fato de que as vazões observadas nos postos fluviométricos refletem as modificações que o homem faz no meio. As vazões naturais são obtidas por meio de um processo de reconstituição, em que são consideradas as vazões observadas no local e as informações referentes às ações antrópicas na bacia.

Tendo em vista este contexto, um dos recursos utilizados no planejamento, tomadas de decisão e também para a obtenção de informações são os modelos de simulação hidrológica. Segundo Tucci (2005), a utilização desses modelos é baseada em três condições fundamentais: (i) objetivos do estudo, (ii) dados disponíveis e (iii) metodologia proposta. Através do objetivo do estudo pode-se definir o nível de precisão desejado para as simulações que representam os fenômenos que ocorrem na bacia. Entretanto, a precisão depende da quantidade e qualidade dos dados disponíveis para calibrar a metodologia proposta. Assim, o modelo hidrológico é escolhido de acordo com o objetivo do estudo, que determinará o nível de precisão desejado, estando implícitas as questões relacionadas à disponibilidade dos dados.

Sendo assim, os dados de entrada dos modelos representam, muitas vezes, reais impedimentos na aplicação de modelos complexos. Paiva *et al.* (2006 b) comentam que desta forma, modelos simplificados e de fácil aplicação, que tenham sido testados em condições regionais, podem representar boas perspectivas em situações de carência de informações hidrológicas.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é utilizar o modelo proposto por Paiva *et al.* (2006 b) para o cálculo das vazões naturais.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Guilhon *et al.* (2007), entende-se por vazão natural a vazão da própria natureza, ou seja, a vazão que ocorre em uma seção de um rio, no qual, não existam ações antrópicas que alterem o seu regime. É a vazão que ocorreria caso não houvesse à montante dos rios a operação de reservatórios, evaporação pelos lagos artificiais, nem mesmo retiradas de água para abastecimento e irrigação.

A realização da reconstituição das vazões naturais é de fundamental importância para as atividades de planejamento dos usos dos recursos hídricos, tendo a finalidade de resgatar as características naturais de magnitude e variabilidade das vazões afetadas pelas ações antrópicas nas bacias, conforme ONS (2005).

Nesse sentido, é interessante entender de que forma as ações antrópicas como desmatamento, uso do solo, implantação e operação de reservatórios, captações para usos em irrigação, abastecimento humano animal e industrial, acabam afetando o regime fluvial dos cursos de água. Segundo Poff *et al.* (1997) para muitos rios, são as atividades como o desmatamento para aproveitamento de madeira, pastagem, agricultura, e urbanização, as principais causas de alterações no escoamento dos rios.

Para pequenas bacias hidrográficas é sabido que o desmatamento tem causado transformações no hidrograma de cheia, principalmente aumentando os picos e tornando-os mais agudos. Siriwardena *et al.* (2006) comprovaram que esse comportamento também pode ser observado para grandes bacias como demonstrado no estudo realizado na Austrália na bacia do Rio Cometa que abrange uma área de 16.440 km². Segundo os autores, o desmatamento de 45% área florestal da bacia causou um aumento do escoamento em cerca de 40%.

A construção de reservatórios seja para produção de energia, abastecimento ou irrigação acaba ocasionando uma modificação espacial e temporal no caudal dos rios. Isso ocorre porque há uma regularização das vazões, ou seja, há o acúmulo de parte das águas disponíveis nos períodos chuvosos para compensar as deficiências nos períodos de estiagem.

Já as captações de água para usos como irrigação, abastecimento humano, animal e industrial consomem parte das vazões disponíveis nos rios. Entretanto a irrigação é o uso que mais consome água, como comprovam Pruski *et al.* (2007), em seu trabalho realizado na Bacia do Rio Paracatu, em que a vazão consumida pela irrigação foi superior a 78% do total consumido em todas as seções analisadas. Para o abastecimento animal, a vazão consumida variou de 6 a 21% do total, para abastecimento humano urbano de 1 a 5% e para o abastecimento humano rural, inferior a 2%.

Outro exemplo do grande consumo de água pela irrigação é o da bacia do Rio Vacacaí Mirim, em que dos 141.542.873 m³ de água consumidos pelos usuários, 92,47% foram destinados para irrigação da lavoura orizícola e apenas 7,53% para abastecimento público Paiva, *et al.* (2006 a).

Um das culturas que mais consome grande parcela dos recursos hídricos é o arroz, o sistema de cultivo de arroz em várzea, no qual se pratica a irrigação por inundação é tradicionalmente utilizado na Região Sul do Brasil, principalmente nos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, conforme Azambuja *et al.* (2004) apud Amaral *et al.* (2005). Segundo EMBRAPA (2005), no Rio Grande do Sul o consumo de água durante o período de irrigação do arroz, que varia de 80 a 100 dias, pode chegar a 2 l/s/ha o que representa 13800 a 17000 m³/ ha.

Nesse contexto, no estado do Rio Grande do Sul problemas em relação a demanda e disponibilidade de água são comuns, pois além do grande consumo pelas lavoura orizícolas o período de menor disponibilidade hídrica (verão) coincide com época de irrigação das lavouras.

Rosa *et al.* (2008), para comprovar que o uso dos recursos hídricos na lavoura de arroz apresenta reflexo no registro das vazões dos rios da região do Vacacaí, utilizaram dados mensais, de postos fluviométricos e pluviométricos. Os autores realizaram uma análise estatística utilizando modelo linear generalizado e concluíram que em áreas onde há elevado índice de lavouras de arroz as vazões registradas nos postos fluviométricos são subestimadas.

A pesquisa realizada por esses autores serviu de motivação para o desenvolvimento desse trabalho.

ÁREA DE ESTUDO

A região de estudo, abrange a cabeceira do Rio Vacacaí que faz parte da Região Hidrográfica do Atlântico Sul, (Figura 1), apresenta uma área de aproximadamente 1125 km² e abrange parte dos municípios de São Gabriel e Santa Margarida do Sul. A delimitação da área de estudo ocorreu levando em consideração uso do solo, tipo de solo e altimetria da Bacia do Rio Vacacaí.

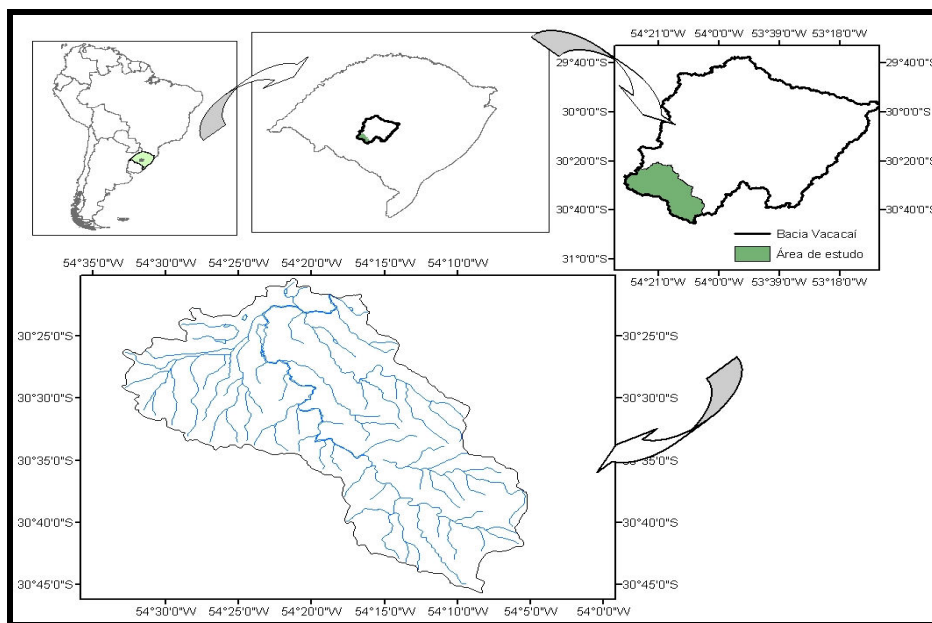


Figura 1 – Localização da Bacia

Os dados com os usos do solo da Bacia estão dispostos na Tabela 1, que foi elaborada através do processamento de imagens do satélite Landsat-TM5 datadas de Março de 2008, por meio da utilização do sistema de informações geográficas Spring. Através da Tabela 1, é possível concluir que 5% da área da Bacia é ocupada por lavouras de arroz.

Tabela 1 – Área e porcentagem das classes de uso do solo da bacia

Área (Km²)	Área com os usos do solo em km²							
	Água	Cultivos em Desenvolvimento	Arroz Desenvolvido	Vegetação	Campo	Área Urbana	Solo Exposto	Solo de Cultivos
1125,38	10,29	76,74	61,36	161,28	731,11	0,38	38,33	45,91

METODOLOGIA

Modelo utilizado

O modelo de simulação hidrológica utilizado nesse trabalho foi desenvolvido por Paiva *et al.* (2006 b), sendo esse implementado em ambiente MATLAB, que é um "software" iterativo voltado para o cálculo numérico. O modelo foi desenvolvido baseando-se no sistema PROPAGAR, que é um dos aplicativos-núcleo do SAGBAH (Sistema de Apoio ao Gerenciamento de Bacias Hidrográficas) descrito em Viegas Fº e Lanna (2003).

No modelo a bacia é simulada como um sistema hidrológico composto por diversas sub-bacias e pontos característicos (PCs), que representam, de forma segmentada, a rede de drenagem. A localização dos PCs fica a critério do usuário, entretanto deve ser feita de forma que sejam representados os pontos onde se situam demandas significativas, saídas de reservatórios e exutórios de sub-bacias. Lanna (1998).

A Figura 2 demonstra esquematicamente o conceito geral, em que nas sub-bacias é processada a transformação de chuva em vazão através do modelo SMAP e na saída de cada sub-bacia são descontados as demandas e retornos difusos, nos PCs acontece a propagação das vazões e os descontos das demandas e retornos concentrados.

No modelo as simulações são feitas com três diferentes intervalos de tempo: geração de vazões em nível mensal através do SMAP versão mensal e propagação em nível mensal; geração de vazões médias de 7 dias através de uma modificação SMAP versão mensal para adequá-lo a este intervalo de tempo e propagação das vazões médias de 7 dias; geração de vazões diárias através do SMAP versão diária e propagação das vazões médias de 7 dias.

Como nesse estudo foi considerada uma única bacia, ou seja, não houve divisões em sub-bacias, não existe a propagação pelos pontos característicos, assim, o modelo SMAP foi aplicado para geração de vazões e no exutório da bacia foi realizado o balanço hídrico.

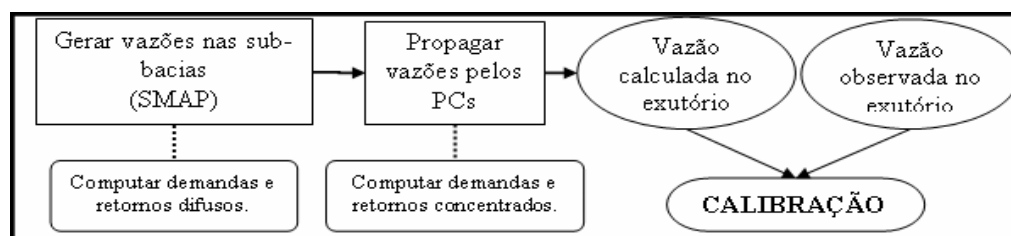


Figura 2- Concepção geral do modelo proposto. Fonte: Paiva *et al.* (2006 b)

O balanço hídrico é realizado desconsiderando os efeitos de armazenamento e amortecimento de ondas de cheias nos rios. Paiva *et al.* (2006 b) alerta sobre a importância de que os intervalos de tempo de simulação utilizados sejam superiores aos valores em que as simplificações adotadas comecem a gerar erros significativos nos resultados.

Modelo SMAP (“Soil Moisture Accounting Procedure”)

O modelo SMAP, proposto por Lopes *et al.* (1981), é um modelo hidrológico determinístico, conceitual, concentrado, do tipo chuva-vazão, que está sendo bastante utilizado devido sua relativa simplicidade. Para aplicação do modelo não é necessário dispor de longas séries de dados de entrada, além disso, são necessários poucos parâmetros para calibrar o modelo.

Originalmente, o SMAP foi desenvolvido para trabalhar com intervalos de tempo diários e posteriormente, através de modificações em sua estrutura, foi possível utilizar dados horários e mensais. A escolha por uma das três versões do SMAP irá depender principalmente das disponibilidades dos dados de entrada por parte do usuário, no caso desse trabalho foram utilizadas as versões diária e mensal. Na Figura 3 estão representados esquematicamente as versões do SMAP.

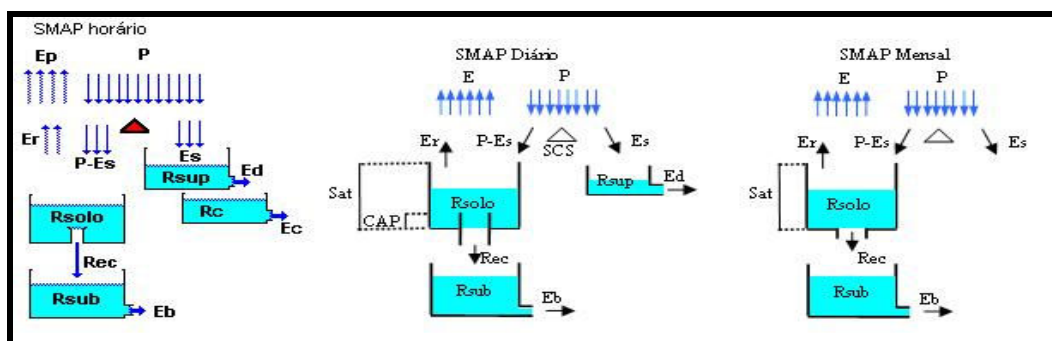


Figura 3 – Estrutura do modelo SMAP. Fonte: Modificado de Paiva *et al* 2006 b

Lopes (1999) desenvolveu um programa destinado à calibração do modelo SMAP nas três versões. Em que para a versão diária, dos seis parâmetros do modelo o programa utiliza apenas três na calibração automática (Sat , $Crec$ e $k2t$). Através da aplicação do programa em bacias de variadas regiões brasileiras o autor pode determinar faixas de variação desses parâmetros que foram:

$$100 < Sat < 2000$$

$$0,2 < k2t < 10$$

$$0 < Crec < 20\%$$

Do mesmo modo, os parâmetros Ai e $Cacp$ assumiram certos valores dependendo das características da cobertura vegetal e do tipo de solo, respectivamente:

$$Ai = \begin{array}{ll} 2,5 \text{ mm} & \text{Campo} \\ 3,7 \text{ mm} & \text{Mata} \\ 5,0 \text{ mm} & \text{Floresta densa} \end{array}$$

$$Cacp = \begin{array}{ll} 30 \% & \text{Arenoso} \\ 40 \% & \text{Misto} \\ 50 \% & \text{Argiloso} \end{array}$$

O autor ainda recomenda iniciar o período de calibração em seqüências de dias secos, e o ajuste da inicialização das variáveis de estado deve ser feito manualmente sendo que:

Tuin-(Rsolo): é importante observar a aderência do hidrograma no instante inicial.

Ebin-(Rsub): Pode ser atribuída a vazão básica inicial igual à vazão mínima do período.

Para a discretização mensal do SMAP têm-se apenas dois reservatórios, sendo que o reservatório superficial é suprimido pelo fato de o amortecimento desse ocorrer em intervalos menores que o mês, além de o conceito de capacidade de campo utilizado no reservatório do solo também ser suprimido.

Segundo Nascimento *et al.* (2007) a cada evento de precipitação (P), realiza-se um balanço de massa na bacia em estudo. Uma parcela de P é transferida como escoamento superficial (Es), estimado por uma equação exponencial que depende de P, da taxa de umidade do solo (Tu), e de um expoente Pes. A lâmina restante da precipitação, subtraída do escoamento superficial (P – Es), sofre perda por evaporação (P – Es – Ep) e é então adicionada a um reservatório, que representa a camada superior do solo. Neste reservatório, a umidade do solo é atualizada ao longo do tempo através das perdas por evapotranspiração real (Er), que dependem do nível do reservatório (Rsolo) e da capacidade de saturação do solo (Sat). Outra saída deste segundo reservatório representa a recarga do reservatório subterrâneo (Rec), que é estimada com base na Tu, no Rsolo e no Coeficiente de Recarga (Crec). O nível d'água (Rsub) neste segundo reservatório é então deplecionado a uma taxa constante de recessão do escoamento de base (kk), resultando no escoamento de base (Eb) propriamente dito. A soma de Es com Eb fornece a vazão total no ponto de controle da bacia.

Para a discretização mensal dos quatro parâmetros do modelo, Lopes (1999) utilizou apenas três na calibração automática. Sendo faixas de variação dos parâmetros a seguinte:

$$400 < Sat < 5000$$

$$0,1 < Pes < 10$$

$$0 < Crec < 70$$

Tanto a versão diária como a mensal do modelo SMAP vem sendo bastante aplicadas em trabalhos científicos, gerando bons resultados.

Dados utilizados

Os dados de precipitação utilizados na calibração e validação do modelo foram de duas estações pluviométricas, nenhuma das estações apresentou um período maior que dois dias seguidos de falhas. Além disso, as falhas não eram no mesmo período, por esse motivo elas foram preenchidas através dos valores estação sem falha. A precipitação média da bacia foi estimada através do método dos polígonos de Thiessen.

Dados de evapotranspiração potencial foram obtidos do trabalho de Paiva *et al.* (2006 b). Tanto os dados de precipitação como de evapotranspiração potencial foram adiantados em um dia, isso por ocorrer diferença no horário de leitura desses dados e os dados de vazão. A série histórica de vazões utilizada foi da estação fluviométrica Ponte São Gabriel.

As informações hidrológicas de vazão e precipitação foram obtidas do site da Agência Nacional de Águas (ANA) e o período de utilização das mesmas estão presentes na Tabela 2. A distribuição espacial das estações está apresentada pela Figura 4.

Tabela 2 – Estações Utilizadas

Nome	Código	Tipo	Período utilizado	Operador
Granja Umbu	3054016	Pluviométrica	jan/96 – dez/01	ANA
Ponte São Gabriel	3054018	Pluviométrica	jan/96 – dez/01	ANA
Ponte de São Gabriel	85470000	Fluviométrica	jan/96 – dez/01	ANA

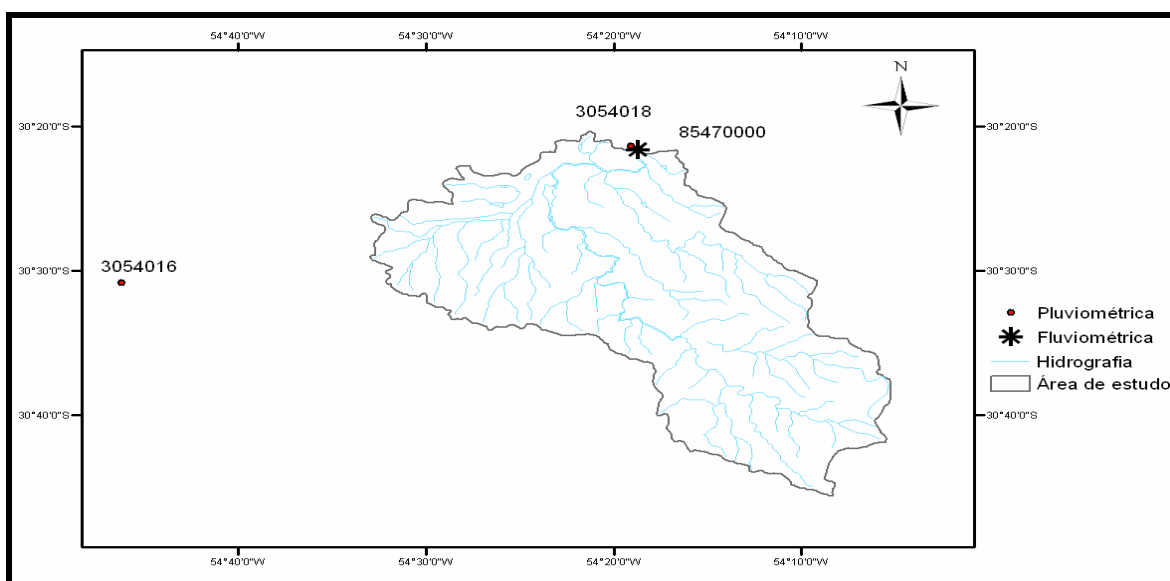


Figura 4 – Localização das estações

Para aplicação da metodologia desenvolvida por Paiva *et al.* (2006 b) é necessário determinar a quantidade de água utilizada pelos usuários dos recursos hídricos. Foi utilizada apenas como demanda a quantidade de água consumida pela lavoura de arroz. Essa metodologia foi empregada pelo fato da demanda da lavoura orizícola ser muito superior a outros tipos de demanda, como comprovaram Pruski *et al.* (2007) e Paiva *et al.* (2006 a) em seus trabalhos.

A demanda foi calculada indiretamente através das imagens de satélite, em que foi determinada a localização geográfica das captações, a área irrigada das lavouras e realizada uma estimativa do consumo médio por hectare. Para determinação desse consumo, inicialmente foi utilizada a metodologia descrita por Robaina (2004), a qual estimou um valor de 15173 m³/ ha.

Ao se calibrar o modelo utilizando aquele valor de demanda verificou-se que o mesmo não apresentou bons resultados, deste modo, através de tentativas de ajuste variando a demanda chegou-se a um valor de consumo de água de 10000 m³/ ha, o qual foi adotado para calibração e validação. Assim, foi possível determinar que o volume de água consumido pelas lavouras de arroz para a área de estudo foi de 61,36x10⁶ m³.

Devido ao desconhecimento da variabilidade diária das retiradas de água, consideram-se valores característicos de demanda para cada intervalo de tempo do ano e estes são repetidos anualmente, entretanto para este estudo, os retornos tanto para as demandas difusas como concentradas foram considerados nulos.

Calibração e validação do modelo

Para calibrar o modelo é necessário atribuir valores para as variáveis que descrevem as condições iniciais das sub-bacias *Tuin* e *Ebin*, e para os coeficientes referentes ao ajuste da precipitação e da evapotranspiração *Pcoef* e *Epcoef*. Esses valores foram atribuídos considerando aderência do hidrograma calculado ao observado. Através de tentativas esses valores foram ajustados e os valores finais estão apresentados nas Tabelas 3.

Os dados de vazão utilizados para calibrar o modelo foram da estação Ponte São Gabriel datados de Jan/96-Dez/99 e a precipitação média da bacia para esse mesmo período.

A função objetivo utilizada para calibração foi o índice de eficiência de Nash e Sutcliffe (E_{NS}), além dessa, foram verificados o coeficiente de correlação (R), o de determinação (R^2) e o erro no volume total escoado (ΔV).

A validação é um processo muito importante e tem como objetivo verificar se existe aderência entre os hidrogramas calculados e observados quando empregados os parâmetros encontrados durante o processo de calibração, porém utilizando dados de diferente período. Assim a validação foi realizada empregando os parâmetros calibrados pela estação Ponte São Gabriel, em que os dados de Jan/00-Abr/01 da própria estação foram utilizados.

Tabela 3 – Estações Utilizadas

Discretização	Coefficientes/ Variáveis	Valores finais
Diária/ 7dias	Epcoef	1,20
	Pcoef	1,00
	Tuin	0,50
	Ebim	2,10
7 dias	Epcoef	1,20
	Pcoef	0,80
	Tuin	0,5
	Ebim	2,10
Mensal	Epcoef	1,00
	Pcoef	1,00
	Tuin	0,50
	Ebim	3,87

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 4 apresenta os parâmetros calibrados para os intervalos de simulação utilizados.

Tabela 4 – Valores dos parâmetros calibrados do modelo chuva-vazão SMAP.

Discretização	Calibração e Validação					
Diária/ 7dias	Sat	Ai	Capc	Crec	kkt	k2t
	100,05	7,17	0,50	19,98	6,00	2,93
7 dias	Sat	Pes	Crec	kkt		
	400,01	8,51	0,00	5,86		
Mensal	Sat	Pes	Crec	kkt		
	442,94	9,26	36,28	0,02		

Percebe-se através da Tabela 5, que a simulação com geração e propagação mensal das vazões médias obteve melhores resultados na calibração dos parâmetros do modelo SMAP, entretanto, apresentou um erro grande no volume.

Tabela 5 – Avaliação da aderência do hidrograma calculado ao observado

Discretização	Calibração Jan/1996 - Dez/1999				Validação Jan/2000 - Dez/2001			
	R	R ²	E _{NS}	ΔV	R	R ²	E _{NS}	ΔV
Diária/ 7dias	0,75	0,56	0,54	-2,96%	0,75	0,56	0,54	13,99%
7 dias	0,76	0,57	0,51	-46,72%	0,73	0,53	0,47	13,63%
Mensal	0,96	0,93	0,89	24,19%	0,81	0,66	0,37	19,71%

O grande erro no volume total escoado, principalmente na versão que gera vazões de 7 dias e propaga vazões médias de 7 dias, se deu devido ao fato de que o modelo não foi capaz de representar bem as vazões altas. Dependendo do objetivo que a resposta do modelo será utilizada,

este erro pode ser fundamental. As Figuras 5, 6 e 7 apresentam os hidrogramas das vazões observadas e calculadas para as três simulações diária/ 7dias, 7dias e mensal.

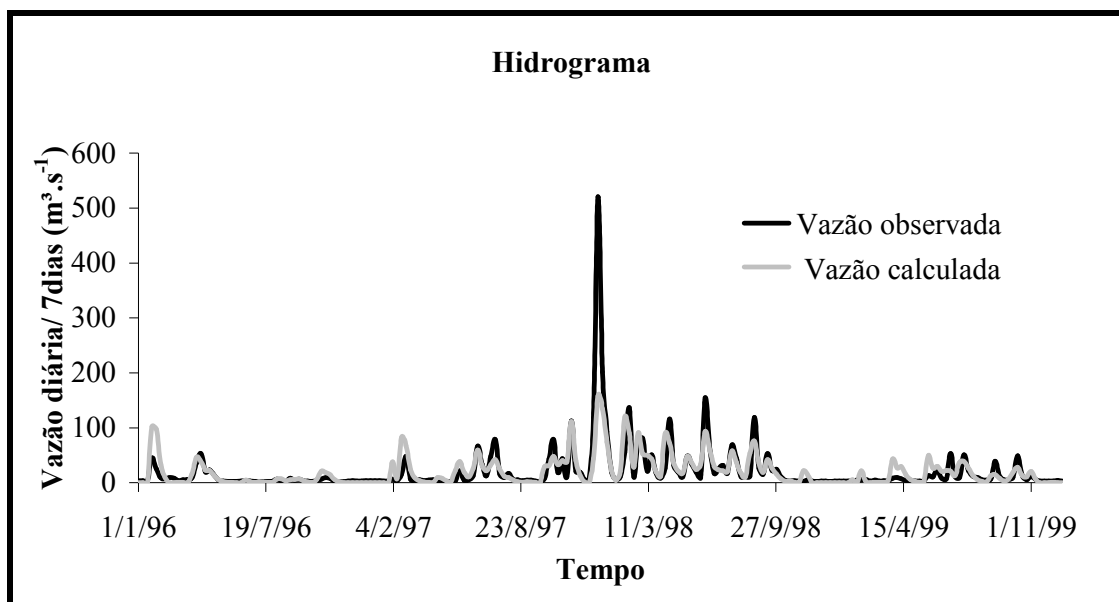


Figura 5 – Séries de vazões observadas e calculadas - intervalo de simulação diária/ 7dias - período 01/01/1996 a 20/12/1999

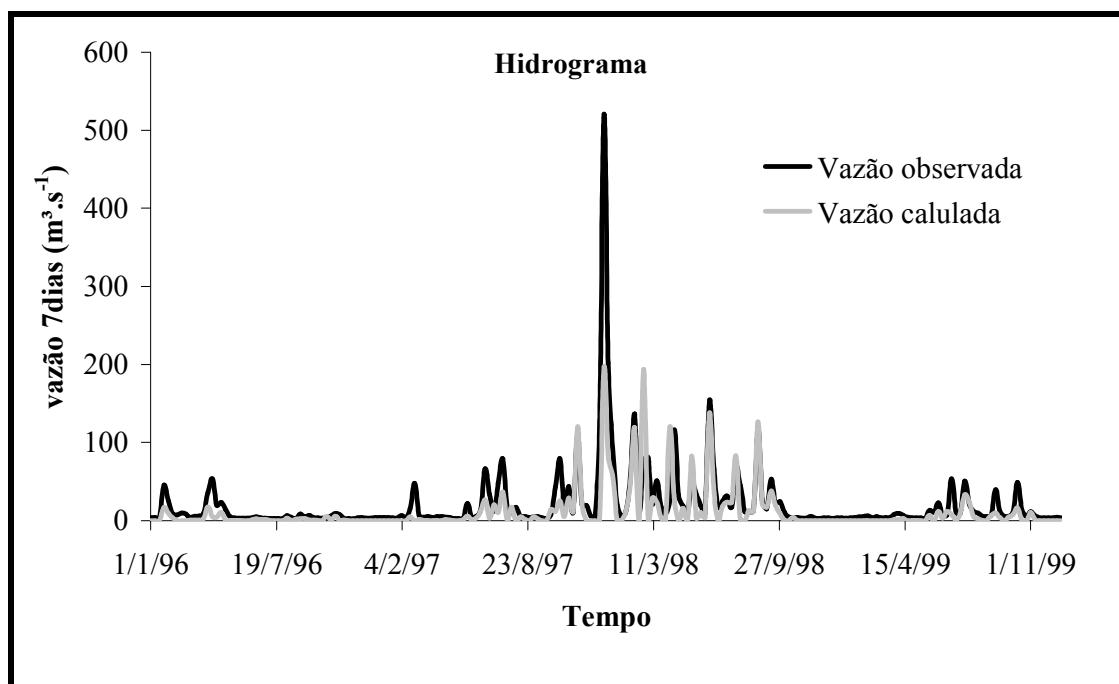


Figura 6 – Séries de vazões observadas e calculadas - intervalo de simulação 7dias - período 01/01/1996 a 20/12/1999

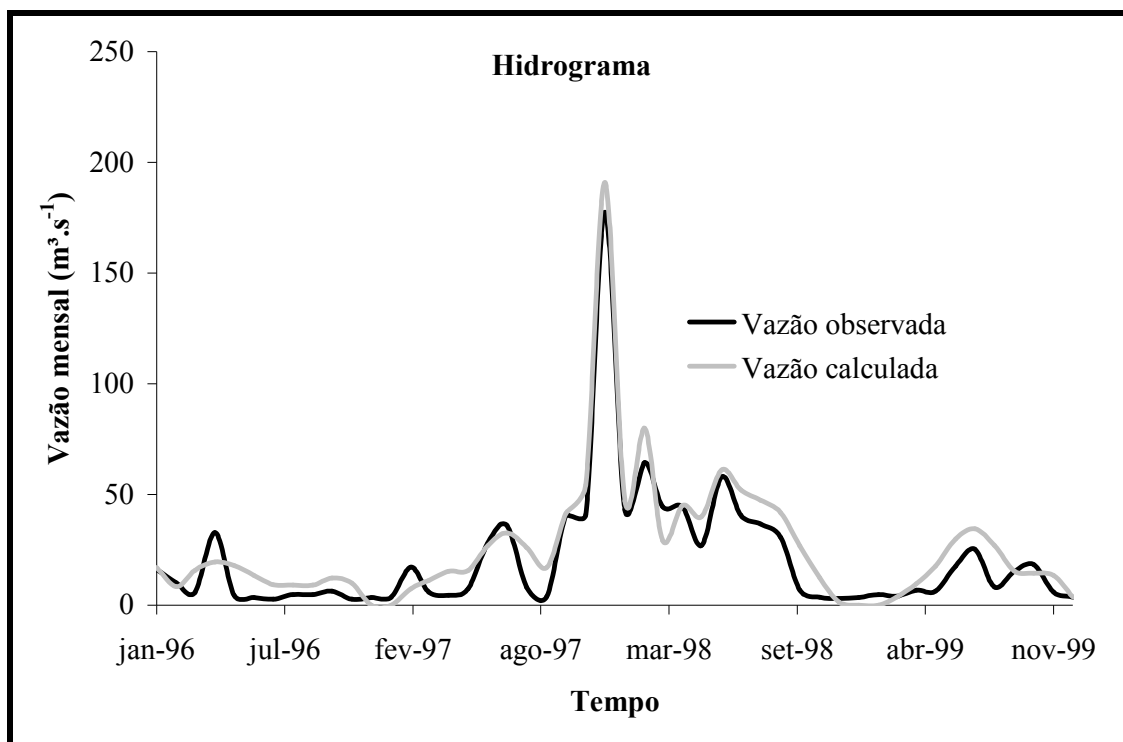


Figura 7 – Séries de vazões observadas e calculadas - intervalo de simulação mensal - período 1/1/1996 a 31/12/1999

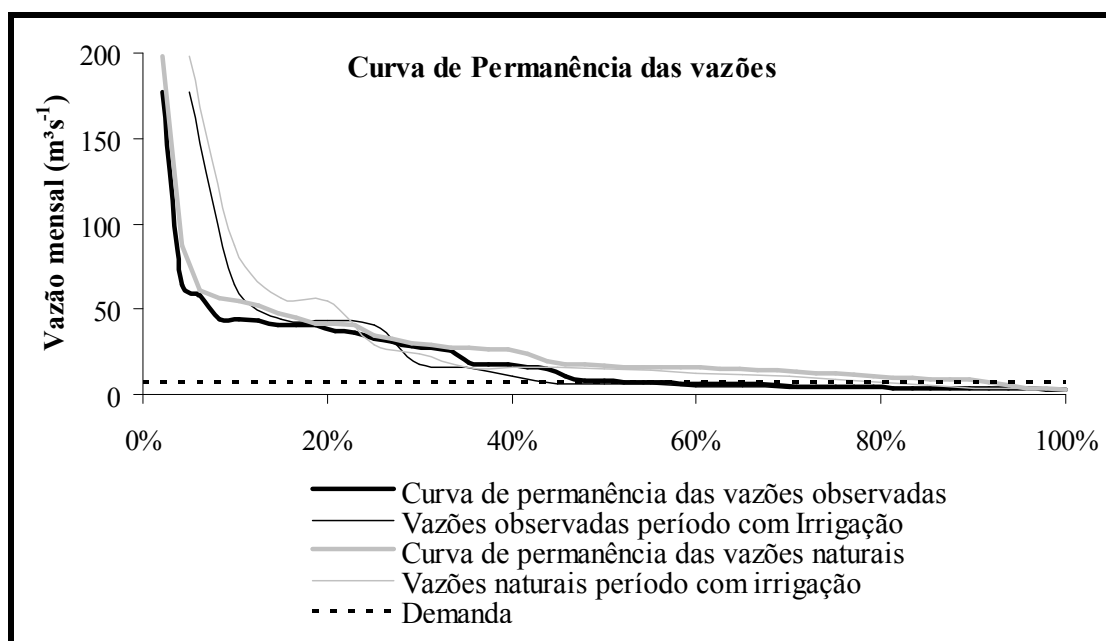


Figura 8 – Curvas de permanência das vazões observadas e naturais - intervalos de simulação mensal - período 1996 a 1999

É possível perceber quando comparadas às figuras 4, 5 e 6 que na simulação mensal as vazões máximas são amortecidas, fato que pode ter proporcionado os melhores valores nos índices que avaliam o modelo, visto que o modelo não conseguiu representar bem as vazões altas. Como a

simulação mensal apresentou os melhores resultados para o coeficiente de determinação e para o índice de eficiência de Nash e Sutcliffe as curvas de permanência apresentadas na Figura 8 são relativas a essa simulação.

Nota-se a partir da Figura 8 que as vazões altas conseguiram ser representadas, isso porque, como já dito anteriormente, na simulação mensal as vazões máximas são amortecidas, conseguindo o modelo representá-las. Também, percebe-se que a curva de permanência das vazões naturais no período de irrigação, está abaixo da curva de permanência das vazões naturais considerando o ano inteiro, ou seja, as vazões naturais no verão realmente são inferiores às do resto do ano.

Além disso, os resultados da curva de permanência de vazões e as estimativas de retiradas para irrigação mostraram grande interferência do consumo de irrigação nas vazões registradas nos postos fluviométricos. Isso se confirma quando se observa a intersecção da curva da demanda e a curva de permanência de vazões observadas e naturais no período de irrigação.

Para a curva de permanência das vazões observadas no período de irrigação a intersecção ocorreu entre 40 e 45%, diferentemente do que acontece na intersecção da demanda com a curva de permanência das vazões naturais, que se dá entre 75 e 80%, o que confirma que a irrigação da lavoura de arroz causa um enorme impacto nas vazões registradas.

A Figura 9 apresenta as curvas de permanência das vazões naturais para as simulações diária/ 7dias, 7dias e mensal. Observando a figura fica claro que as curvas diária/ 7dias e mensal são bastante semelhantes, acredita-se que essa semelhança só não é maior pelo fato de que na simulação mensal o erro nos volumes foi grande.

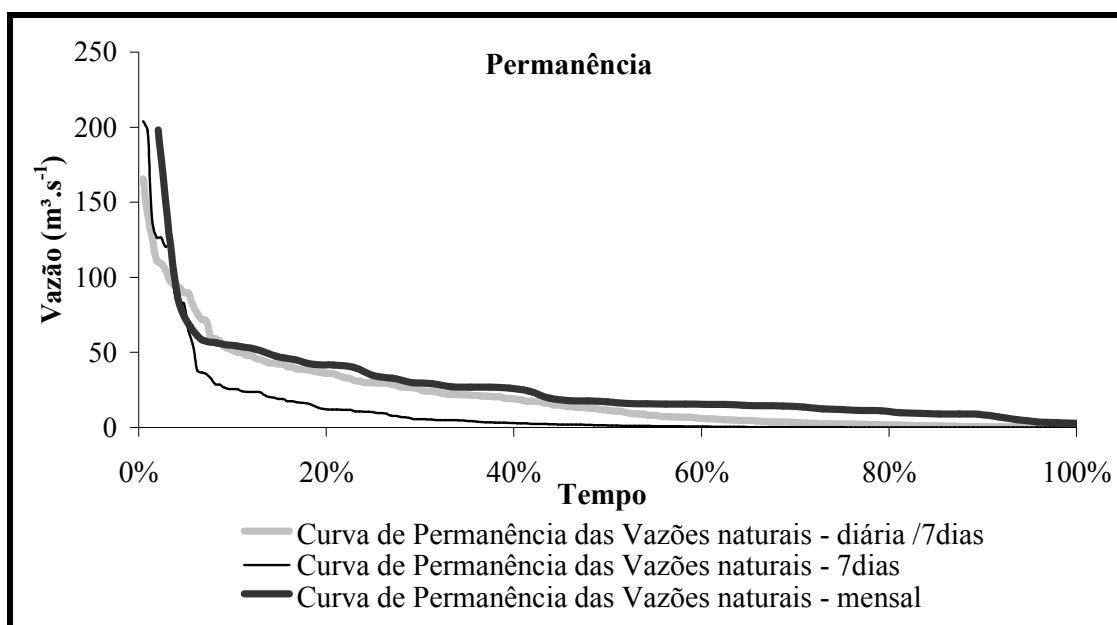


Figura 9 – Curvas de permanência das vazões naturais - intervalos de simulação diária/ 7dias, 7dias e mensal - período 1996 a 1999.

CONCLUSÕES

Acredita-se que fatores como escassez de dados de chuva, incerteza nos valores de demanda adotados foram significantes para prejudicar a qualidade dos ajustes, entretanto o modelo mostrou-se eficiente na determinação das vazões naturais.

A simulação com geração e propagação de vazões mensais forneceu resultados considerados satisfatórios, apesar do erro no volume escoado. Diante dos resultados fica evidente que no período de cultura do arroz o consumo dos recursos hídricos pela irrigação é considerável. Nesta época, às altas taxas de evaporação somadas à retirada de água para irrigação e à escassez de chuvas característica do período de verão na região, podem fazer com que alguns pontos dos rios pertencentes à bacia tenham suas vazões drasticamente diminuídas.

Por meio da pesquisa foi possível comprovar que em áreas onde há altos índices de lavouras de arroz, as vazões registradas nos postos fluviométricos são subestimadas, tornando-se importante para os gestores o conhecimento das vazões naturais.

Desenvolver e testar metodologias para estimativa de vazões naturais, torna-se cada vez mais importante, visto que as modificações que o homem exerce no meio ambiente acabam refletindo nos registros de vazões dos rios. Entretanto é necessário perceber que em bacias com escassos dados hidrológicos, como nesse caso, metodologias simplificadas como a desenvolvida por Paiva *et al.* (2006 b) devem ser utilizadas, já que vem apresentando bons resultados na determinação das vazões naturais.

AGRADECIMENTOS

Ao CT-HIDRO, CNPq e FAPERGS pelos recursos financeiros e bolsas fornecidas;

Ao Departamento de Hidráulica e Saneamento do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria.

BIBLIOGRAFIA

AMARAL, L.G.H.; RODRIGUEZ, R.G.; PRUSKI, F.F.; RAMOS, M.M.. “*Vazão retirada e consumo efetivo de água em diferentes sistemas de irrigação do arroz*” in Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG, vol.13, nº3, Jul./Set., 2005.

ANA, Agência Nacional das Águas. “*Sistemas de informações hidrológicas-Hidroweb*”. Disponível em < <http://www.ana.gov.br>>. Acessado em 20/10/2007.

EMBRAPA. (2005). “*Manejo de água em arroz irrigado*”. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrigadoBrasil/cap10.htm#elevacao>> . Acessado em 20/6/2008.

GENOVEZ, A.M.; PIO, E.D.”*Avaliação da regionalização do hidrograma unitário e dos coeficientes de Snyder para bacias rurais*” in XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - Belo Horizonte, MG. 1999

GUILHON, J.G.F.; ROCHA, V.F.; MOREIRA, J.C. (2007). “*Comparação de métodos de previsão de vazões naturais afluentes a aproveitamentos hidrelétricos*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos v.12, n.3, pp.13-20

LANNA, A. E. *Capítulo 2 - Simulação*. Texto de referência da disciplina HIDP-64 Análise Sistêmica dos Recursos Hídricos. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – IPH/UFRGS. 1998

LOPES, J.E.G.”*Manual do programa de simulação hidrológica SMAP*. ” 1999, Cedido pelo autor

LOPES, J.E.G.; BRAGA JR, B.P.F.; CONEJO, J.G.L. “*Simulação hidrológica: Aplicações de um modelo simplificado*. ”in Anais do III Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Fortaleza, 1981.

NASCIMENTO, L.S. V.; JÚNIOR REIS, D. S.; MARTINS, E. S. P. R. “*Avaliação do Algoritmo Evolucionário Mopso na Calibração Multiobjetivo do Modelo SMAP no Estado do Ceará*. ” in XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.São Paulo, SP. 2007.

ONS. Operador Nacional de Sistemas Elétricos. “*Revisão das vazões naturais nas principais bacias do SIN*”. Relatório Executivo, 2005.

PAIVA, J. B. D.; GARCIA, J. B.; BRITES, A. P. Z.; SCAPIN, J.; BELING, F.; HAGEMANN, S.E.; ABELIN, S.; CARMO, J. A. R. (2006 a). “*Demandas de água na bacia do rio Vacacaí Mirim*. ” in Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos Sul-Sudeste, Curitiba.

PAIVA, R.C.D; PAIVA, E.M.C.D; PAIVA, J.B.D.(2006 b). ” *Estimativa das vazões naturais nas sub-bacias do Vacacaí Mirim através de modelo simplificado*. ”in I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, Curitiba.

POFF, N. L.; ALLAN, J.D.; BAIN, M.B.; KARR, J.R.; PRESTEGAARD, K.L.; RICHTER, B.D; SPARKS, R. E.; STROMBERG, J.C. “*The Natural Flow Regime: A paradigm for river conservation and restoration*. ” in BioScience Vol. 47, nº. 11, 1997

PRUSKI, F.F.; RODRIGUEZ, R. DEL G. 1; NOVAES L. F.; SILVA, D.D.; RAMOS, M.M.; TEIXEIRA, A. F.(2007). ” *Impacto das vazões demandadas pela irrigação e pelos abastecimentos animal e humano, na Bacia do Paracatu*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.11, n.2, pp.199-210.

ROBAINA, A.D. “*Hidráulica Agrícola I*” – Barragem de Terra. Santa Maria: DER/CCR/UFSM.102 P., 2004

ROSA, A.L.D; PAIVA, E.M.C., ANDRADE, G.G. “*Reflexos das retiradas de água para irrigação do arroz no registro dos postos fluviométricos: Estudo de caso da Bacia do Rio Vacacaí*. ”in II Simpósio de Recursos Hídricos Sul-Sudeste, Rio de Janeiro, 2008.

SIRIWARDENA L; FINLAYSON B.L.; MCMAHON T.A. “*The impact of land use change on catchment hydrology in large catchments: The Comet River, Central Queensland, Australia*”. in Journal of Hydrology, vol 326 pg 199–214, 2006.

TUCCI, C. E. M. “*Modelos Hidrológicos. Associação Brasileira de Recursos Hídricos*”, Editora Universitária UFRGS/ ABRH, Porto Alegre, RS. 2 ed. 2005.

VIEGAS Fº, J. S.; LANNA, A. E. L. (2003). “*O paradigma da modelagem orientada a objetos aplicado a sistemas de recursos hídricos (II) Modelo de objetos aplicado ao planejamento de uso da água Propagar MMO*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 8(3), pp. 91 – 103.