

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

SISTEMA DE PREVISÃO DE VAZÕES PARA AS BACIAS DOS RIOS TAQUARI-ANTAS E PELOTAS

Fernando M. Fan¹, Paulo R.M. Pontes², Walter Collischonn³, Lawson F. de Souza Beltrame⁴

Resumo – A estimativa do volume de água afluente é uma informação muito valiosa para a operação de uma usina hidrelétrica, pois ela permite minimizar efeitos indesejados de cheias e possibilita o planejamento para a melhor operação da usina. Neste contexto, sistemas de previsão de vazão são fundamentais, porque permitem estimar a vazão afluente com antecedência, o que é especialmente importante em bacias que apresentam rápidas variações da vazão, e não tem sazonalidade bem definida, como é o caso das bacias hidrográficas da região Sul do Brasil. O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de previsão de vazões para as bacias dos rios Taquari-Antas (RS) e do rio Pelotas (RS e SC). O objetivo do trabalho foi desenvolver um sistema de previsão capaz de gerar estimativas da vazão afluente às usinas hidrelétricas localizadas nas bacias utilizando dados de entrada oriundos da telemetria e de previsões de precipitação. O sistema de previsão é baseado no modelo hidrológico MGB-IPH, opera com dados horários e é inteiramente acoplado a um SIG, facilitando a operação e a interpretação dos resultados do sistema. O foco deste trabalho é apresentar os passos de desenvolvimento do sistema e a sistemática adotada para a realização de previsões operacionais.

Abstract – The estimated volume of water affluent to the reservoir is very valuable information for the operation of a hydroelectric plant, because it allows disasters prevention, such as floods, as well as enables better planning for the power plant operation. In this line, this work presents the development of a flow forecasting system to the basin of the rivers Taquari-Antas and the basin of Pelotas River, both located in Rio Grande do Sul, Brazil. The objective was to develop a forecasting system capable of generating flow estimative of tributaries to the hydroelectric plants located in the basins. The forecasting system is based on the MGB-IPH hydrological model, works with hourly data and is fully coupled to a GIS tool, which facilitates the system operation and interpretation of results.

Palavras-chave: Previsão, MGB-IPH, SIG.

¹ Mestrando do IPH-UFRGS. Email: fernando.fan@ufrgs.br

² Doutorando do IPH-UFRGS. Email: p.rogenes@gmail.com

³ Professor adjunto do IPH-UFRGS. Email: collischonn@iph.ufrgs.br

⁴ Professor adjunto do IPH-UFRGS. Email: lfsb@iph.ufrgs.br

INTRODUÇÃO

A capacidade de conhecer antecipadamente o volume de água afluente é de muita valia para a operação de uma usina hidrelétrica. Com esta informação, o operador pode estipular o regime de operação ótimo para a usina naquele momento, bem como prevenir problemas relacionados com inundações à montante e à jusante.

Uma previsão operacional de vazão é geralmente feita a partir de um modelo matemático, que utiliza como dados de entrada informações hidrológicas do passado e informações de previsão climática. A partir destes dados, são obtidas previsões de vazões afluentes a serem utilizadas como suporte a decisão para a operação da usina.

Nesta linha de pesquisa, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de previsão de vazões para a bacia dos rios Taquari-Antas e para a bacia do rio Pelotas, ambas localizadas na região Sul do Brasil. O objetivo do trabalho foi desenvolver um sistema de previsão de vazões capaz de gerar estimativas da vazão nos rios afluentes às usinas hidrelétricas localizadas na bacia, utilizando como dados de entrada as informações hidrometeorológicas coletadas por uma rede telemétrica e as informações de previsão quantitativa de chuva de modelos meteorológicos.

O modelo de previsão foi baseado no modelo hidrológico MGB-IPH, que é um modelo especificamente desenvolvido para bacias hidrográficas de grande porte. Foi desenvolvido um sistema computacional específico para a aplicação do modelo MGB-IPH para realização de previsões operacionais de vazões afluentes às UHEs.

O sistema de previsão tem como características principais a integração com sistema de informações geográficas (SIG) e a obtenção automatizada de dados hidrológicos, bem como uma interface simplificada para a realização das simulações e visualização dos resultados.

O foco deste artigo é apresentar todos os passos de desenvolvimento do sistema, bem como a sistemática adotada para a realização de uma previsão operacional.

VISÃO GERAL DO MODELO DE PREVISÃO

O modelo de previsão de vazões afluentes na bacia dos rios Taquari-Antas e do rio Pelotas está baseado em estimativas de vazão obtidas a partir do processamento de dados de entrada obtidos por telemetria de chuva e vazão em diferentes locais. Além disso, são usados dados de previsões quantitativas de chuva, que podem ter sua origem em modelos meteorológicos ou em previsões de consenso de meteorologistas.

A Figura 01 ilustra o processo de obtenção de dados e processamento para a obtenção das previsões de vazão. As elipses verdes referem-se aos dados medidos no campo, que são obtidos por telemetria. Estes dados correspondem ao passado recente.

As elipses vermelhas correspondem aos valores de variáveis importantes ao longo do período futuro para o qual se deseja realizar as previsões de vazão afluente.

Observa-se que são necessários dados de chuva medida no passado recente em cada pluviógrafo da rede telemétrica da bacia. Esses dados passam por um processo de interpolação com o objetivo de especializar a chuva em toda a bacia antes de servir como informação de entrada para o modelo MGB-IPH. Da mesma forma são necessários dados de telemetria do nível da água dos rios em diferentes locais. Estes dados são combinados com as curvas-chave gerando séries de vazão do passado recente, que servem como dado de entrada para o modelo MGB-IPH, através de um esquema de assimilação de dados descrito adiante neste artigo.

A previsão de vazão necessita também de informações sobre a chuva no futuro, ao longo do horizonte de previsão. Para isto podem ser utilizados dados de previsão quantitativa de chuva, suposições de chuva nula, ou estimativas de chuvas futuras baseadas em uma previsão de consenso de uma equipe de meteorologistas com experiência na região de interesse.

A previsão de vazão utilizando previsão quantitativa de chuva pode ser obtida a partir de modelos numéricos de previsão de tempo.

A suposição de chuva nula no horizonte de previsão pode ser razoável quando estão sendo realizadas previsões de vazão com horizonte curto, mas pode resultar em grandes erros para horizontes de tempo maiores. Considerando chuva nula pode-se encontrar, na bacia de interesse, o horizonte máximo que se pode realizar previsão de vazão dentro de erros aceitáveis (Andreolli, 2003). Tipicamente este horizonte máximo é menor do que o próprio tempo de concentração da bacia.

Ainda, além da chuva no futuro é interessante conhecer a forma como são operadas as usinas hidrelétricas localizadas na bacia hidrográfica. Assim, é possível incluir nas simulações hidrológicas os efeitos de regularização de vazão causados pela operação dos reservatórios na bacia.

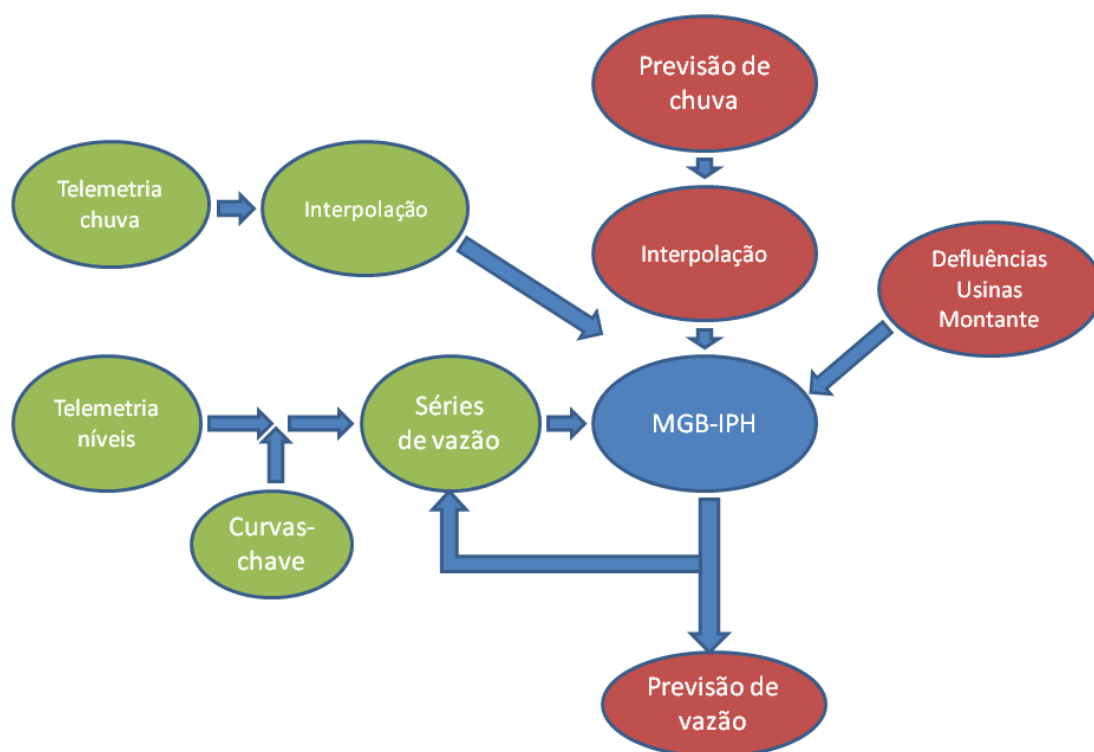


Figura 01: Representação esquemática do fluxo de dados para a realização das previsões de vazão com o modelo MGB-IPH.

Em relação à integração com SIG, a interface do modelo de previsão de vazões foi desenvolvida de forma integrada a um Sistema de Informações Geográfica (SIG) denominado *MapWindow GIS* (Ames et. al., 2008). Nesta interface é possível interagir com o modelo de previsão a partir de um mapa georeferenciado com a localização dos pontos de interesse da bacia, como os postos fluviométricos e as usinas hidrelétricas (Figura 02).

Além de contar com um conjunto de menus para a realização das tarefas de previsão e busca de dados de telemetria, a interface permite incluir outros conjuntos de informações relevantes ao mapa. Os hidrogramas calculados e observados e previstos nos diferentes locais podem ser acessados clicando diretamente sobre os pontos de interesse.

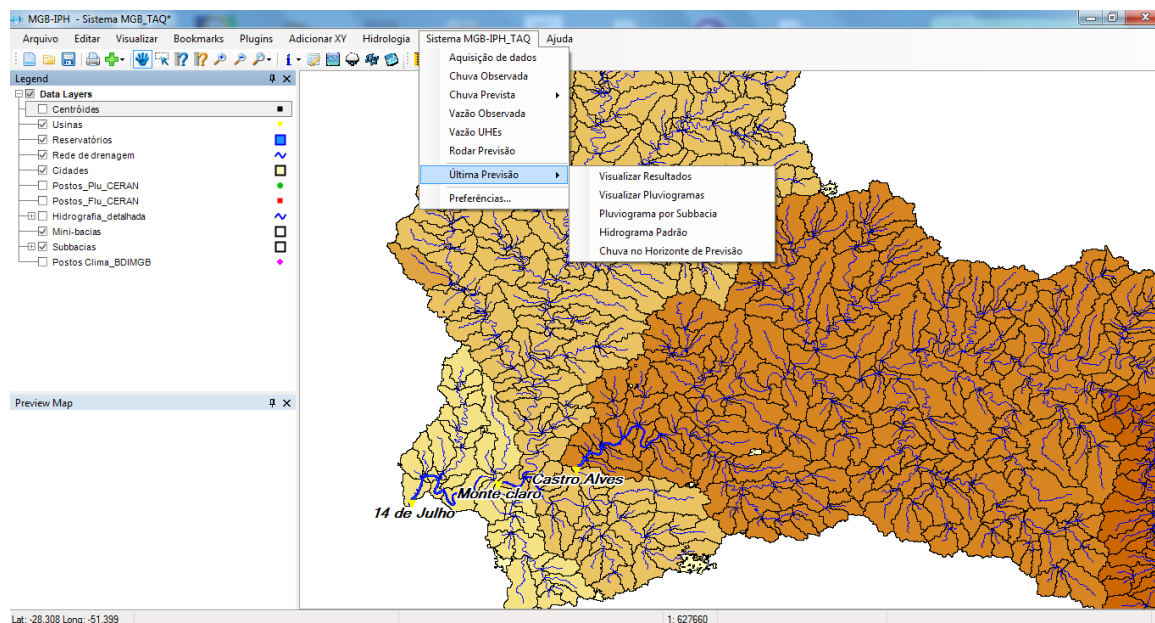


Figura 02: Interface do modelo de previsão integrada ao SIG.

DESCRIÇÃO RESUMIDA DAS ÁREAS DE ABRANGÊNCIA DO MODELO

O sistema de previsão desenvolvido foi preparado para simular a bacia hidrográfica dos rios Taquari-Antas até o aproveitamento hidrelétrico *14 de Julho*, e a bacia do rio Pelotas até o aproveitamento hidrelétrico *Barra Grande*. A seguir, mais detalhes são dados sobre estas bacias.

Bacia dos Rios Taquari-Antas

A bacia do rio Taquari-Antas até a UHE *14 de Julho* possui uma área total de aproximadamente 13 mil km². A Figura 03, abaixo, apresenta o mapa da região de estudo.

A bacia do rio Taquari-Antas se caracteriza por respostas extremamente rápidas à precipitação, em função dos solos e da litologia, e como consequência da grande declividade. Além disso, o clima da região apresenta pouca sazonalidade das chuvas, sendo que cheias podem ocorrer em qualquer época do ano.

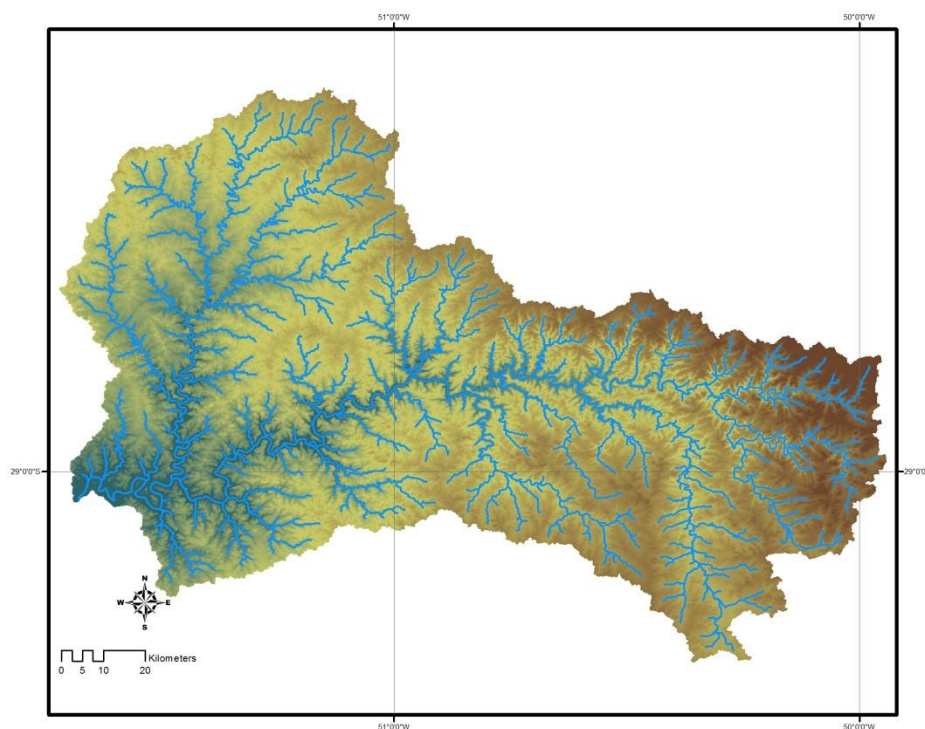


Figura 03. Bacia hidrográfica dos rios Taquari-Antas até a UHE *14 de Julho*.

Dentro da bacia hidrográfica existem 3 usinas hidrelétricas. Dentro do modelo, os dados observados destas usinas, bem como a estimativa do seu regime de operação, podem ser utilizados tanto em substituição aos valores calculados, quanto como dados de vazão a serem assimilados pelo modelo. Estas opções são definidas de acordo com a disponibilidade de dados para os diferentes pontos.

Para a concepção destas previsões, são utilizados dados de diversas fontes, oriundos de estações telemétricas, cálculos de afluência e defluência de usinas e modelos meteorológicos. A Tabela 01, abaixo, sumariza as fontes de informação utilizadas pelo modelo.

Tabela 01. Sumário das fontes de informação para a bacia Taquari-Antas.

Informação	Tipo de Dado	Obtenção
UHE 14 de Julho	Operação UHE	Balanço Hídrico
UHE Monte Claro	Operação UHE	Balanço Hídrico
UHE Castro Alves	Operação UHE	Balanço Hídrico
Estações Telemétricas	Vazão Observada e Chuva Observada	Medida
CPTEC-ETA 15km	Chuva Prevista	Modelo Meteorológico

A Figura 04 apresenta a localização dos dados destas diversas fontes, conforme o tipo de informação que cada uma apresenta.

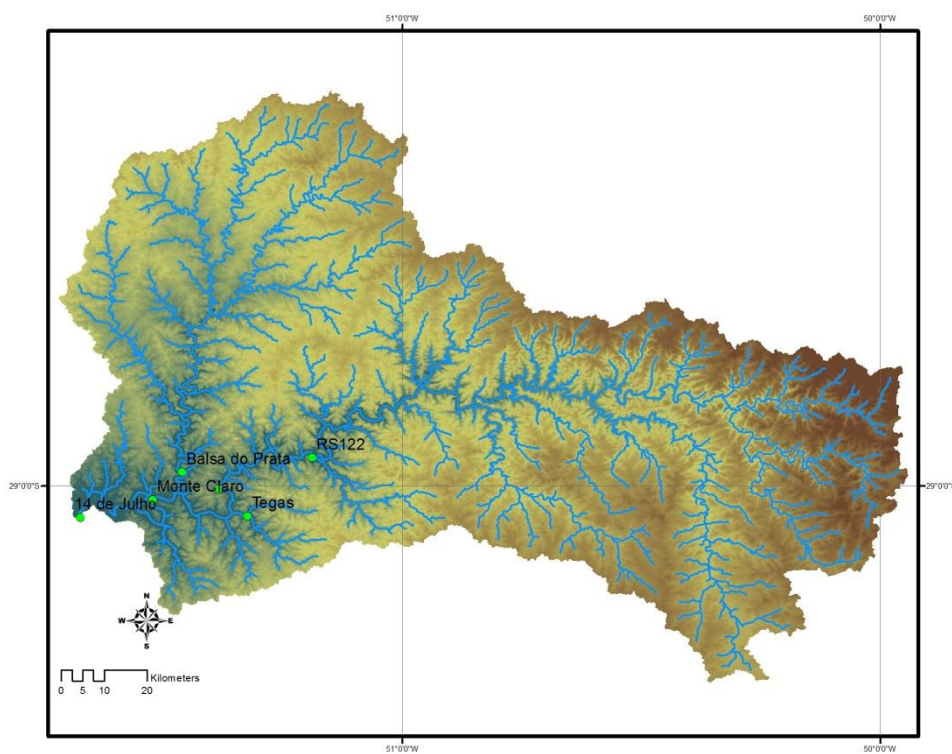


Figura 04. Localização das UHEs e das informações de chuva e vazão observada utilizadas no modelo de previsão para a bacia do rio Taquari-Antas.

Bacia do Rio Pelotas

A bacia do rio Pelotas até a UHE *Barra grande* é vizinha à bacia do rio Taquari-Antas, localizada pouco mais ao Norte, entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. A área de drenagem da bacia é de aproximadamente 13 mil km². A Figura 05, abaixo, apresenta o mapa da região de estudo. As características físicas e climáticas são semelhantes à bacia dos rios Taquari-Antas.

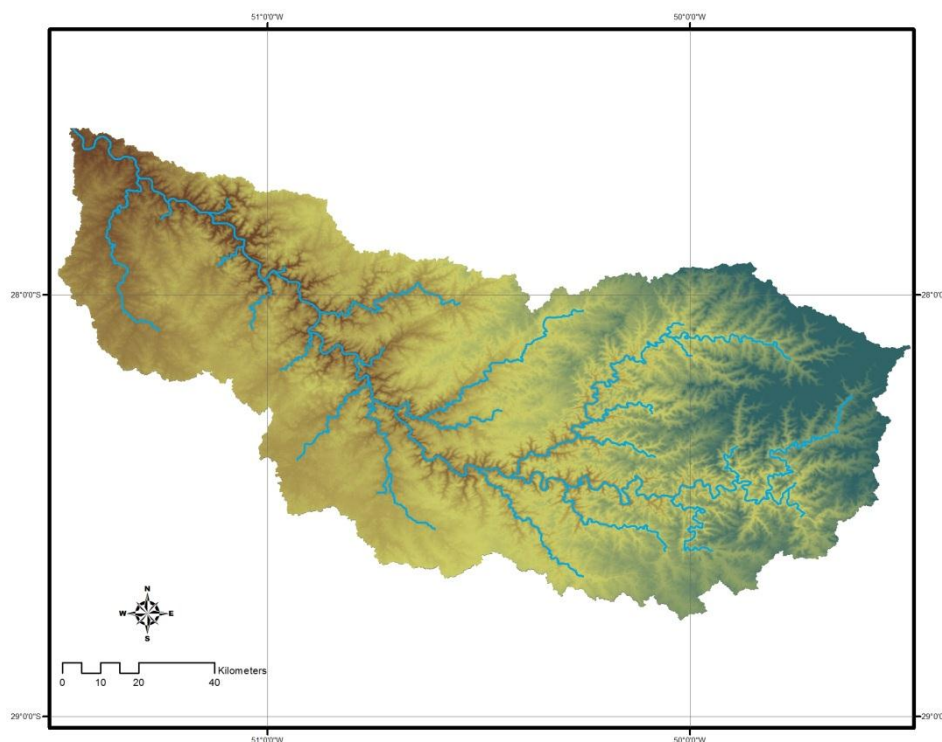


Figura 05. Bacia hidrográfica do rio Pelotas até a UHE *Barra Grande*.

Dentro da bacia hidrográfica existe a UHE Barra Grande. A Tabela 02, abaixo, sumariza as fontes de informação utilizadas pelo sistema nesta bacia.

Tabela 02. Sumário das fontes de informação para a bacia do Pelotas.

Informação	Tipo de Dado	Obtenção
UHE Barra Grande	Operação UHE	Balanço Hídrico
Estações Telemétricas	Vazão Observada e Chuva Observada	Medida
CPTEC-ETA 15km	Chuva Prevista	Modelo Meteorológico

A Figura 06 apresenta a localização dos dados destas diversas fontes, conforme o tipo de informação que cada uma apresenta.

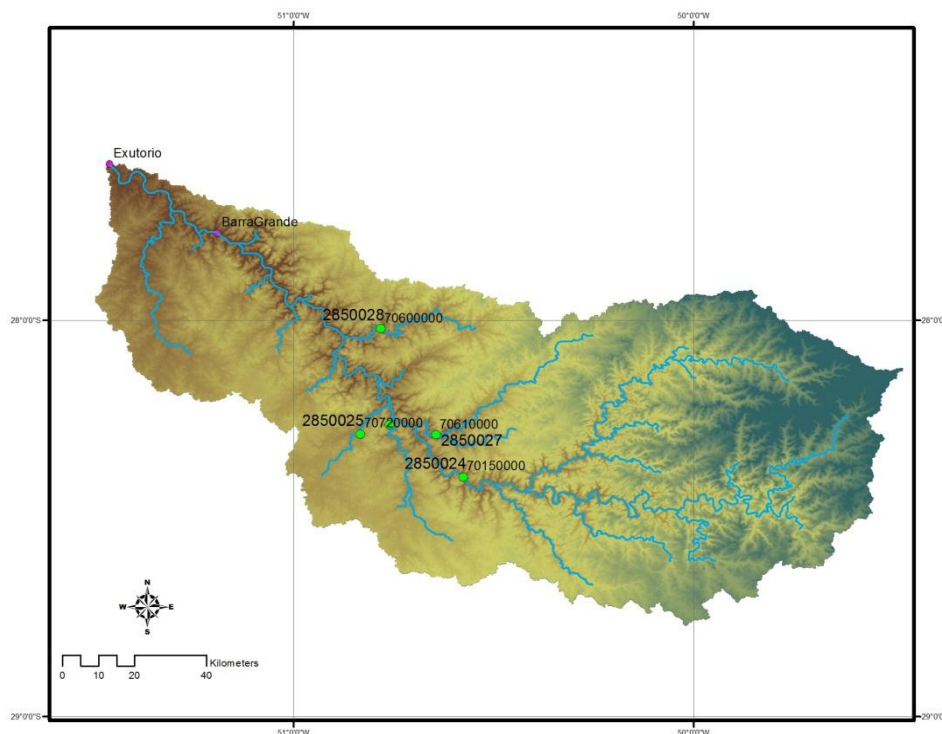


Figura 06. Localização das UHEs e das informações de chuva e vazão observada utilizadas no modelo de previsão para a bacia do rio Pelotas.

DESCRIÇÃO RESUMIDA DO MODELO MGB-IPH

O modelo MGB-IPH é um modelo que calcula as vazões dos rios em uma bacia a partir de dados de precipitação e de outras variáveis climáticas. O modelo MGB-IPH foi desenvolvido especialmente para bacias de grande porte, como é o caso da bacia apresentadas neste trabalho (Collischonn e Tucci, 2001).

O modelo MGB-IPH é um modelo semi-distribuído, em que a bacia hidrográfica é subdividida em unidades menores utilizando ferramentas de geoprocessamento em uma etapa de pré-processamento dos dados. Ao contrário das versões anteriores do modelo MGB-IPH, que utilizava células regulares quadradas como unidade de discretização da bacia hidrográfica, a versão atual do modelo utiliza a discretização por minibacias (Fan, 2011). Nessa representação, a bacia é também subdividida em um conjunto de elementos. No entanto, nesse caso, os elementos não possuem forma predefinida e são delimitados a partir do modelo numérico do terreno (MNT). Existe ainda uma unidade de divisão maior que são as sub-bacias. As sub-bacias correspondem a um conjunto de

minibacias e tem seu exutório definido pelos locais onde existem postos fluviométricos com dados observados.

O intervalo de tempo de cálculo do modelo é diário ou menor, embora alguns processos de cálculo internos, como a propagação de ondas de cheia nos rios, utilizem intervalos de tempo menores.

A maioria das aplicações do modelo MGB-IPH tem sido na simulação hidrológica de grandes bacias hidrográficas, onde normalmente é utilizado o intervalo de tempo diário. Uma das particularidades da aplicação nesse trabalho é a utilização do modelo hidrológico para previsão de cheias em uma bacia de médio porte, com intervalo de tempo horário.

A variabilidade espacial da precipitação no modelo é considerada através da interpolação dos dados de postos pluviométricos para o centróide de cada minibacia. Nesse processo é utilizado o método do inverso do quadrado da distância. A variabilidade dos solos quanto ao tipo e uso é considerada através da utilização de planos de informação, determinados a partir de imagens de satélite ou mapas digitalizados. A variabilidade espacial do relevo é considerada através da utilização do MDE do SRTM.

O tipo de vegetação e uso do solo dentro de cada minibacia é categorizado dentro de uma ou mais classes utilizando a abordagem de Unidades de Resposta Hidrológica-URH. As URH's são áreas de comportamento hidrológico similar, definidas pela combinação dos mapas de tipo e uso do solo. Dessa forma, o balanço hidrológico é calculado para cada URH em cada minibacia e as vazões estimadas em cada URH são posteriormente somadas e propagadas até a rede de drenagem.

O balanço de água no solo é realizado utilizando um método baseado na geração de escoamento superficial por excesso de capacidade de armazenamento, porém com uma relação probabilística entre a umidade do solo e a fração de área de solo saturada. A evapotranspiração é estimada pelo método de Penman – Monteith.

A propagação de vazão é realizada em duas etapas. Em primeiro lugar é realizada a propagação de vazão no interior da minibacia, utilizando-se modelos de reservatórios lineares simples. Cada minibacia tem três reservatórios lineares que representam a propagação dos escoamentos superficial, subsuperficial e subterrâneo. A vazão de saída dos três reservatórios é somada e propagada pela rede de drenagem utilizando o método Muskingum-Cunge.

Embora alguns processos sejam representados de forma empírica, o modelo hidrológico conta com uma forte base física, o que fortalece a relação entre os parâmetros e as características físicas da bacia. Uma descrição mais detalhada do modelo é apresentada por Collischonn (2001) e Collischonn & Tucci (2001).

Metodologia de assimilação de dados no modelo MGB-IPH

No contexto da previsão em tempo real, são usadas duas terminologias que indicam o modo no qual o modelo está operando. Quando as previsões de vazões são realizadas empregando-se alguma técnica de assimilação, costuma-se dizer que o modelo opera em “modo de previsão”, “modo de atualização” ou operando “on-line”. Caso contrário, diz-se que o modelo está em “modo de simulação” ou operando “off-line”.

Em "modo de previsão" é aplicada a técnica de assimilação de dados ou atualização do modelo que é um processo de retroalimentação em que as observações mais recentes no rio são utilizadas para corrigir as condições iniciais do modelo.

A assimilação de dados no modelo MGB-IPH é realizada através de um método empírico que utiliza as vazões observadas em tempo real para atualizar as condições iniciais do modelo, representadas pelas vazões calculadas ao longo da rede de drenagem e o volume de água armazenado nos reservatórios superficial, subsuperficial e subterrâneo de cada minibacia do modelo hidrológico (Meller et al., 2012).

A atualização das variáveis do modelo se dá através de um fator de correção (FCA), definido como o quociente entre o somatório das vazões observadas e calculadas ao longo de uma janela de tempo imediatamente anterior ao início da previsão, conforme apresentado na Equação 1.

$$FCA_s = \sum_{t=t_0-t_a}^{t_0} Q_{obs}^t / \sum_{t=t_0-t_a}^{t_0} Q_{calc}^t \quad (1)$$

onde Q_{obs} e Q_{calc} são as vazões observadas e calculadas, respectivamente; t é o tempo de cálculo; t_0 é o instante de tempo da realização da previsão; t_a é o intervalo de tempo durante o qual é feita a comparação entre valores calculados e observados e s representa o ponto de exutório da sub-bacia, onde existe um posto fluviométrico com dados observados para atualização do modelo.

Segundo o método mencionado, a cada intervalo de tempo de previsão os fatores de correção das sub-bacias são calculados e aplicados às variáveis de estado do modelo para cada uma das minibacias. No caso da atualização das vazões na rede de drenagem, o fator FCA é ponderado pela área de drenagem relativa de cada minibacia. Assim, as correções da vazão na rede de drenagem no método são mais fortes em minibacias localizadas sobre a drenagem principal, que possuem maiores áreas de drenagem acumuladas.

Na mini-bacia onde existem dados fluviométricos, as vazões observadas são usadas em lugar das calculadas pelo modelo. Para as demais minibacias, as vazões calculadas pelo modelo são atualizadas de acordo com a Equação 2.

$$Qat_{i,s} = FCA_s \cdot Qcalc_i \cdot (A_i/A_s)^{ebac} + Qcalc_i \cdot [1 - (A_i/A_s)^{ebac}] \quad (2)$$

onde $Qat_{i,s}$ é o valor atualizado da vazão na rede de drenagem na minibacia i , localizada a montante do ponto s ; A_i é a área de drenagem acumulada na minibacia i ; A_s é a área de drenagem acumulada na minibacia de exutório da sub-bacia, onde existem dados observados e $ebac$ é um parâmetro com valores entre 0 e 1 que deve ser definido de forma a encontrar uma boa concordância entre as vazões previstas e observadas.

Na atualização do volume de água armazenada nos três reservatórios conceituais o mesmo fator de correção (FCA) aplicado à atualização da vazão na rede de drenagem é utilizado. Para os reservatórios, porém, a ponderação ocorre em função da fração do escoamento originária dos reservatórios, representada pela variável PBi . A correção dos volumes dos reservatórios conceituais é dada por:

$$VBat_{i,s} = (FCA_s)^{bx} \cdot VB_i \cdot (PBi) + VB_i \cdot (1 - PBi) \quad (3)$$

quando $PBi > PBlim$, isto é, quanto a fração de água de origem subterrânea escoando no rio, estimada pelo modelo, é superior a um limite pré-determinado ($PBlim$);

ou por:

$$VBat_{i,s} = VB_i \quad (4)$$

quando $PBi < PBlim$, isto é, quanto a fração de água de origem subterrânea escoando no rio, estimada pelo modelo, é inferior a um limite pré-determinado ($PBlim$), onde $VBat_{i,s}$ é o volume atualizado no reservatório na minibacia i , situada a montante de s ; VB_i é o volume calculado do reservatório conceitual na minibacia i ; PBi é a fração da vazão na rede de drenagem originária do reservatório conceitual, $PBlim$ é a fração mínima de água necessária para que haja a correção dos reservatórios conceituais do modelo e bx é um parâmetro de atualização com valores entre 0 e 1 que deve ser definido de forma a encontrar uma boa concordância entre as vazões previstas e observadas.

O valor de $PBlim$ em geral é da ordem de 30%, mas outros valores podem ser testados. De acordo com Paz et al. (2007), quando o parâmetro bx assume valores próximos de 1, a atualização dos volumes dos reservatórios conceituais do modelo é relativamente rápida.

No caso da aplicação da equação 4 a variável de estado do modelo não está sendo atualizada. No caso da aplicação da equação 3 a variável de estado do modelo está sendo atualizada, sendo o valor original substituído por um valor que depende do Fator de Correção de Atualização (FCA) e do percentual de vazão de base que se estima na vazão do rio no momento em que está sendo feita a correção. Isto significa que, durante as estiagens mais prolongadas, quando uma fração maior da água escoando no rio tem origem subterrânea, é realizada uma correção praticamente integral do

FCA. Já durante as cheias, quando boa parte do escoamento é superficial, nenhuma alteração é feita a variável de estado do armazenamento de água subterrânea. Neste caso a equação 4 mostra que o valor original calculado pelo modelo não é alterado.

CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO PARA AS ÁREAS DE INTERESSE

Para a aplicação nas bacias de interesse, o modelo MGB-IPH foi calibrado inicialmente utilizando dados de chuva e de vazão em intervalo de tempo diário. Esta opção foi feita porque no início dos trabalhos não estavam, ainda, disponíveis os dados de chuva e vazão em intervalo de tempo horário. Posteriormente o modelo foi recalibrado utilizando dados de telemetria, horários.

Nas aplicações definitivas para previsão de vazão o modelo hidrológico é utilizado com intervalo de tempo horário. Em geral, alguns parâmetros do modelo tem sensibilidade ao intervalo de tempo utilizado, e por isso ele foi recalibrado.

A calibração do modelo MGB-IPH com dados horários foi realizada em três passos. Numa primeira tentativa foram utilizados exatamente os mesmos parâmetros calibrados usando dados diários. A seguir foram feitos alguns ajustes manuais por tentativa e erro. Finalmente, numa terceira fase de calibração, foi utilizado um algoritmo de calibração automática multi-objetivo, denominado MOCOM-UA (Yapo et al., 1998), para a calibração definitiva dos parâmetros.

USINAS HIDRELÉTRICAS

Usinas hidrelétricas alteram a propagação das cheias, fazendo com que a vazão defluente num determinado instante seja, em alguns casos, diferente da vazão afluente. A vazão defluente inclui a vazão turbinada, a vazão vertida, e outras descargas, como vazões liberadas por comportas ou descarregadores específicos para atender demandas ambientais, ou de outros usos da água.

Em geral, as empresas que operam as Usinas Hidrelétricas fazem estimativas da vazão afluente e defluente, em intervalo de tempo relativamente curto (horário). A vazão defluente é estimada de forma razoavelmente precisa como a soma das vazões liberadas. No caso de usinas hidrelétricas isto corresponde, normalmente, à soma da vazão turbinada com a vazão vertida.

A vazão afluente, por outro lado, é estimada a partir de uma avaliação do balanço hídrico do reservatório, utilizando os dados de variação de nível observado no reservatório e os dados de vazão defluente. Em função deste método de obtenção, a estimativa de vazões afluentes é mais imprecisa. As séries de vazão afluente estimadas por balanço hídrico apresentam, em geral, um ruído decorrente da imprecisão da estimativa do volume armazenado no reservatório num intervalo de

tempo qualquer. Em função disso, as séries de vazão afluente estimada apresentam variações relativamente bruscas, que não correspondem à realidade.

Estas estimativas de vazão em usinas hidrelétricas podem ser utilizadas para a previsão de vazões em tempo real. As vazões defluentes das usinas são importantes para saber o que acontecerá a jusante de uma usina. Vazões afluentes a um reservatório podem ser utilizadas para melhorar as previsões de vazão através de um esquema de assimilação de dados, como o descrito antes no texto.

No sistema desenvolvido considera-se que os dados de vazão afluente e defluente estimados para cada uma das usinas hidrelétricas estejam disponíveis até o tempo t_0 , a partir do qual inicia a previsão.

Os dados de vazão afluente são utilizados para a assimilação, como se fossem dados observados em um posto fluviométrico.

Os dados de vazão defluente são utilizados dentro do modelo substituindo os dados de vazão calculados no local da UHE. Desta forma, a vazão defluente correta (estimada na UHE) é inserida no modelo hidrológico, e é propagada para jusante. No entanto, a partir do instante t_0 não existem dados de vazão defluente. A partir deste instante considera-se que a vazão defluente é igual à vazão afluente calculada (ou prevista) pelo modelo hidrológico. Desta forma, assume-se que a operação da usina não altera o regime do rio ao longo do horizonte de previsão.

RESULTADOS PRELIMINARES DE PREVISÃO DE VAZÕES COM O SISTEMA DESENVOLVIDO

O sistema de previsão desenvolvido encontra-se operando em estado experimental para as bacias de interesse. Dados de telemetria são recebidos automaticamente, de hora em hora, pelo sistema, que atualiza automaticamente a sua base de dados toda vez que uma nova previsão é realizada. A Figura 07 apresenta a janela de preparação dos dados de vazão para realização de uma previsão com o sistema. Através da janela é possível verificar os dados através de tabelas e gráficos.

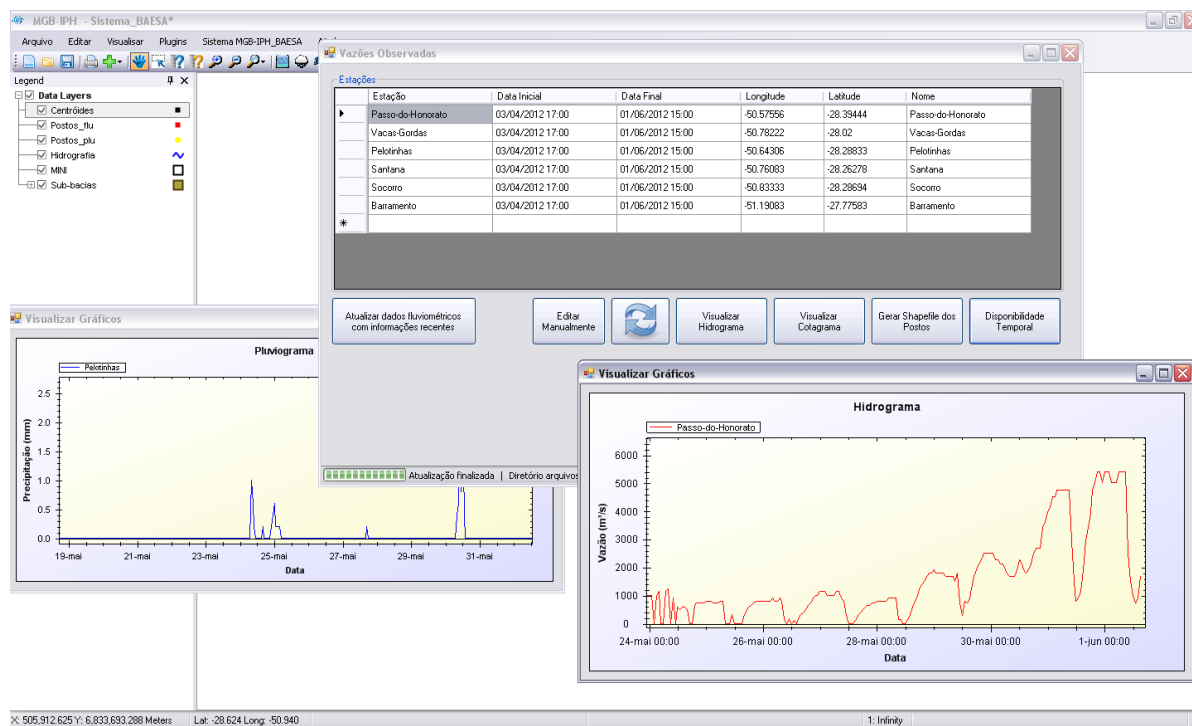


Figura 07. Janela de preparação de dados de vazão do sistema desenvolvido.

Conforme descrito anteriormente, o operador do sistema de previsão pode optar entre utilizar dados de previsão meteorológica do modelo ETA-15km, ou pode entrar com dados manualmente. As Figuras 08 e 09 apresentam as janelas de trabalho com dados de previsão de chuva do modelo.

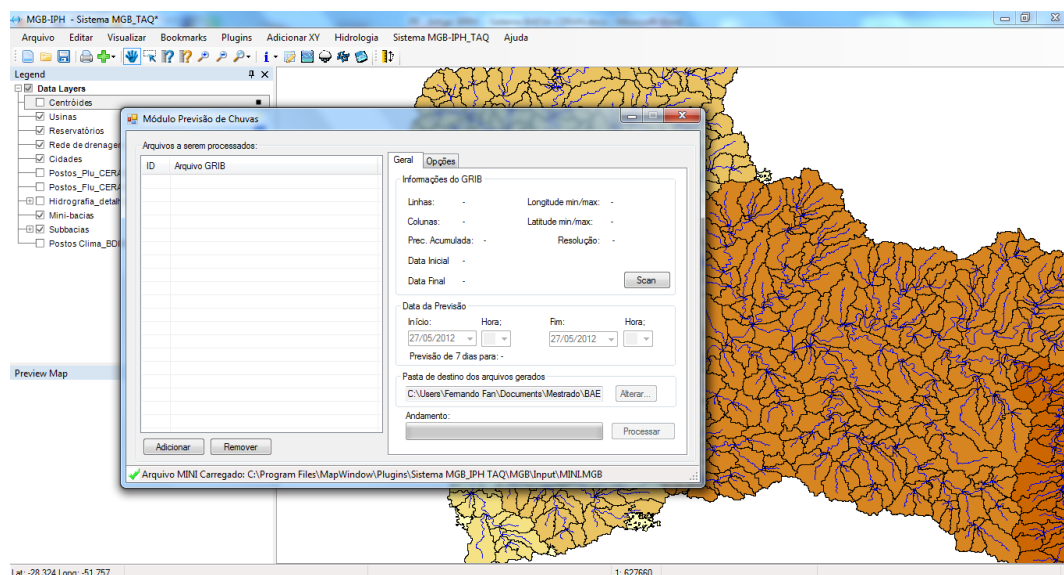


Figura 08- Entrada de dados de previsão de chuva do ETA.

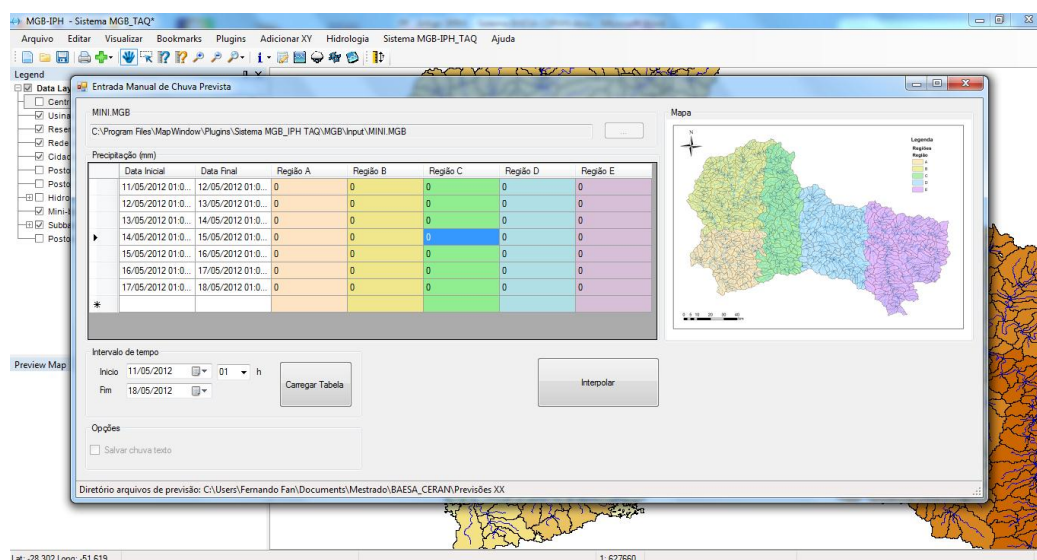


Figura 09 – Entrada manual de dados de previsão de chuva.

Para a realização de uma previsão operacional o sistema possui uma interface que possibilita ao usuário total controle sobre o processo de aplicação do modelo. A Figura 10 apresenta a janela de execução de uma previsão operacional com o sistema, para a bacia do rio pelotas.

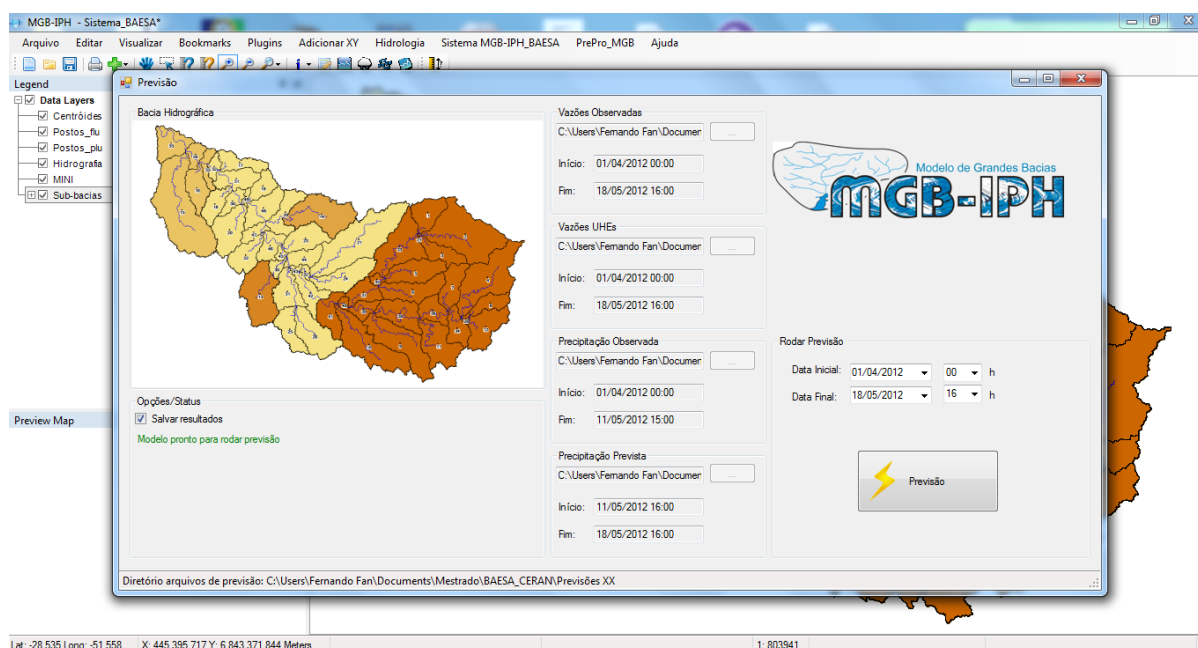


Figura 10 – Janela de execução de uma previsão operacional na bacia do rio Pelotas.

Após a realização de uma previsão, todos os resultados do modelo são acessados através do SIG, diretamente sobre os mapas digitais. As Figuras 11 e 12 apresentam alguns resultados de previsões operacionais com o modelo.

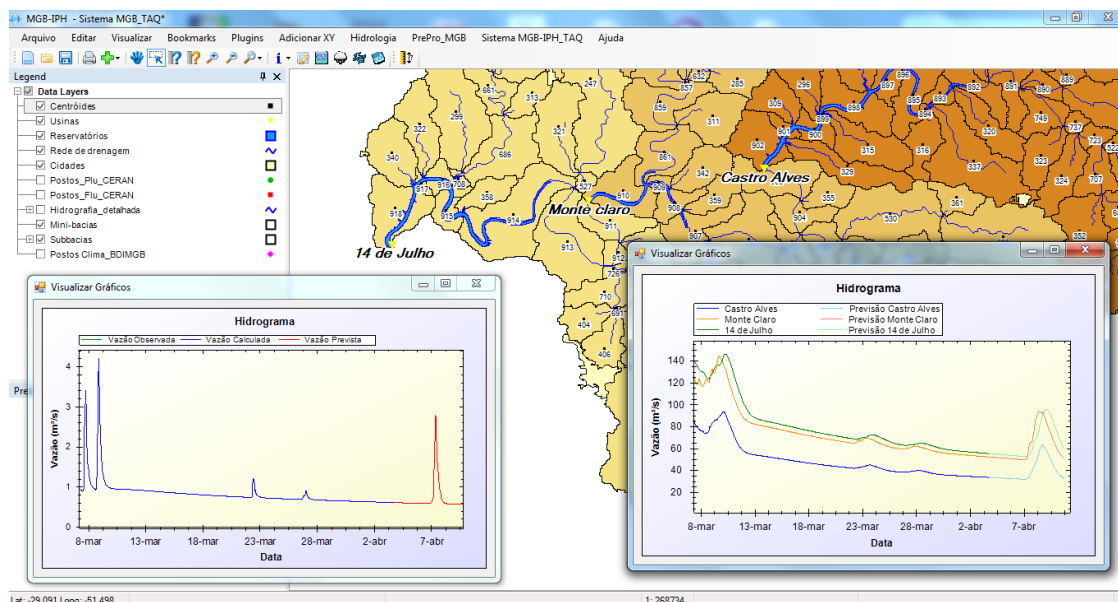


Figura 11 – Hidrograma resultado de previsão para a bacia do rio Taquari-Antas.

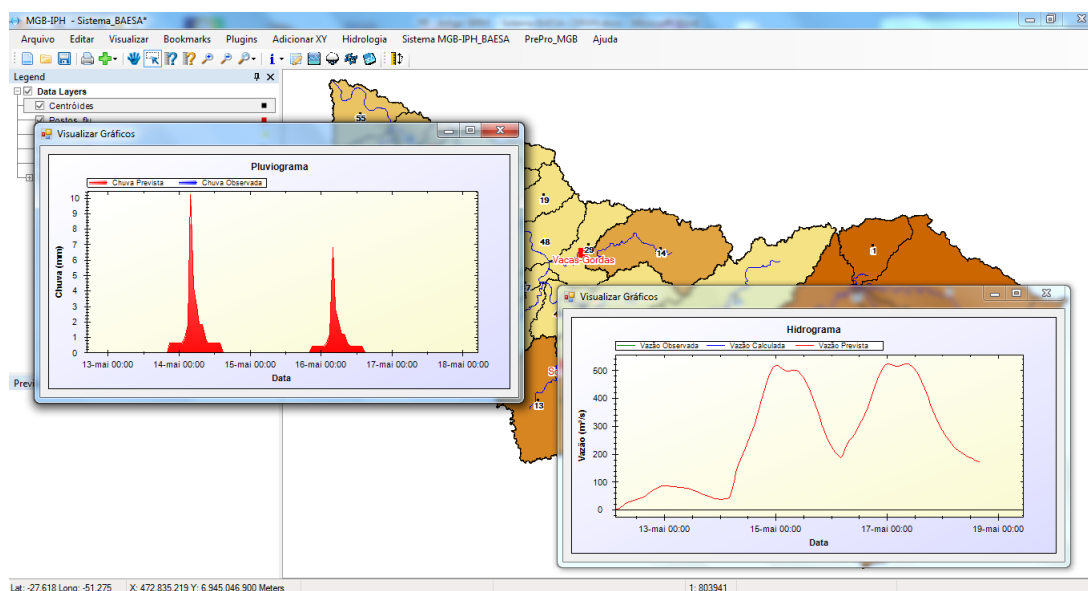


Figura 12 - Resultados de uma previsão para a bacia do rio Pelotas.

Em relação à qualidade das previsões, dado que o sistema entrou em operação no mês de abril de 2012, elas ainda estão sendo avaliadas. Contudo, os primeiros resultados apontam para um funcionamento satisfatório para este primeiro período de funcionamento, onde não ocorreram muitas chuvas nas bacias estudadas.

CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um sistema de previsão de vazões capaz de gerar estimativas da vazão nos rios afluentes às usinas Hidrelétricas localizadas na bacia do rio Taquari-Antas e na bacia do rio Pelotas. O foco do trabalho foi apresentar todos os passos de desenvolvimento do sistema, bem como a sistemática adotada para a realização de uma previsão operacional.

O sistema desenvolvido é baseado no modelo hidrológico MGB-IPH, e tem como características principais a integração com SIG e a busca automática de dados hidrológicos, bem como a facilidade para realização de previsões e visualização dos resultados. Estas características procuram fazer do sistema uma ferramenta amplamente e facilmente aplicável.

Atualmente o sistema está rodando em caráter experimental, onde tem apresentado resultados de funcionamento muito satisfatórios. A avaliação da qualidade das previsões constituem os próximos passos a serem dados, onde os resultados preliminares do período inicial de funcionamento são encorajadores.

Um possível desenvolvimento futuro do modelo envolve a previsão por ensemble, em que serão utilizadas várias previsões de precipitação de diversos modelos meteorológicos, com o objetivo de analisar a incerteza das previsões de vazão (Collischonn et al., 2012). Outra melhoria pretendida é a utilização da técnica de assimilação por ensemble kalman filtering (Paiva et al., 2012).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREOLLI, I. (2003). *“Previsão de vazão em tempo real no rio Uruguai com base na previsão meteorológica”*. Dissertação de mestrado, IPH/UFRGS, Porto Alegre– RS.
- AMES, D. P., C. MICHAELIS, A. ANSELMO, L. CHEN, AND H. DUNSFORD, 2008. *MapWindow GIS. Encyclopedia of GIS*. New York, Sashi Shekhar and Hui Xiong (eds). Springer, 633-634.
- COLLISCHONN, W. *“Simulação Hidrológica de Grandes Bacias”*. Porto Alegre: 2001. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. *“Simulação hidrológica de grandes bacias”*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 6, n. 2, 2001.

- COLLISCHONN, W.; MELLER, A.; DIAS P. L. S.; MOREIRA D. S. “*Hindcast experiments of ensemble streamflow forecasting for the Paraopeba river (Brazil)*”. Geophysical Research Abstracts, Vol. 14, EGU2012-PREVIEW, 2012.
- FAN, M. F. “*Acoplamento entre Modelos Hidrológicos e Sistemas de Informação Geográfica: Integração do Modelo MGB-IPH*”. 2011. 179 p. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas e Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- MELLER, A.; BRAVO, J.M. & COLLISCHONN, W. (2012). “*Assimilação de dados de vazão na previsão de cheias em tempo-real com o modelo hidrológico MGB-IPH*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos: RBRH, vol.17, nº 3, julho/setembro/2012 (a ser publicado).
- PAIVA, R. C. D.; COLLISCHONN, W.; BONNET M. P.; de GNOÇALVES L. G. G. “*Streamflow data assimilation into a large scale hydrologic-hydrodynamic model in the Amazon*”. Geophysical Research Abstracts, Vol. 14, EGU2012-11545, 2012.
- PAZ, A. R. et al. “*Data assimilation in a large-scale distributed hydrological model for medium range flow forecasts*”. IAHS Publ. 313. Wallingford: IAHS Press, 2007, p. 471-478.
- YAPO, P. O.; GUPTA, H. V.; SOROOSHIAN, S., 1998. “*Multi-objective global optimization for hydrologic models*”. Journal of Hydrology Vol. 204 pp. 83-97.