
SISTEMA INTEGRADO PARA A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS (SINGERH)

Michel Castro Moreira¹, Fernando Falco Pruski², André Luiz da Silva³, Demetrius David da Silva⁴,
José Márcio Alves da Silva⁵

RESUMO

No presente trabalho, foi desenvolvido um sistema computacional que permite obter a disponibilidade hídrica para qualquer seção de interesse ao longo da rede hidrográfica de uma bacia e quantificar o impacto da concessão de uma nova outorga nesta disponibilidade, o qual foi denominado Sistema Integrado para a Gestão de Recursos Hídricos (SINGERH). Para obtenção da disponibilidade hídrica foram implementados três métodos de regionalização de vazões, utilizando a ferramenta de programação Borland Delphi 7.0. O cálculo do impacto da concessão de uma nova outorga na disponibilidade hídrica foi implementado considerando: a vazão passível de ser outorgada, de acordo com a vazão estimada na seção de interesse e o critério de outorga do órgão gestor da bacia, e as vazões outorgadas a montante da seção em análise, sendo para isto procedida uma consulta aos cadastros de usuários de água, disponibilizados pelos órgãos gestores estadual e federal atuantes na bacia. O SINGERH foi aplicado a uma seção de interesse do rio Preto, pertencente à bacia do rio Paracatu, a fim de verificar as suas funcionalidades e potencialidades. O sistema desenvolvido permitiu a obtenção das vazões mínimas e média ao longo da hidrografia da bacia, além de ter fornecido subsídios para a tomada de decisão no processo de outorga ao estimar a disponibilidade hídrica em qualquer seção da hidrografia. Na seção de interesse estudada o SINGERH permitiu verificar, considerando o critério de outorga do Estado de Minas Gerais, a impossibilidade de realizar uma nova outorga no período de maio a setembro.

Palavras-chave: disponibilidade hídrica, modelagem hidrológica, regionalização de vazões.

ABSTRACT

AN INTEGRATED SYSTEM FOR WATER RESOURCE MANAGEMENT (SINGERH)

This study reports development of a computational system to determine water availability in any specific stretch along a hydrographic basin network, and quantify the impact resulting from granting new rights for water use. The system is denominated as “Integrated System for Water Resources Management” (SINGERH). To estimate water availability, three discharge regionalization methods were implemented by using the programming tool ‘Borland Delphi 7.0’. The calculation of the impact from granting new rights for water use was done by considering the discharge to be granted, based on the section-estimated discharge, granting criteria of basin management agency and the discharges granted upstream the section under analysis. These data can be obtained by consulting users’ registers available at the state and federal managing agencies. SINGERH was applied to a specific section on the Preto River belonging to the Paracatu river basin to verify the functionality and potential of the system. The system allowed determination of the minimum and average discharge along the basin, providing inputs for decision making about granting process, through estimates of water availability at any section of the hydrography. Considering the granting criteria in Minas Gerais State, the SINGERH indicated that there was no possibility for granting new water use right during the period from May to September.

Keywords: water availability, hydrologic modeling, discharge regionalization.

Recebido para publicação em 10/03/2008. Aprovado em 23/09/2012.

1- Bel. Ciência da Computação, Doutorado em Engenharia Agrícola no DEA/UFV, mmoreira@gprh.ufv.br

2- Engenheiro Agrícola, Professor Titular do DEA/UFV, fpruski@ufv.br

3- Bel. Ciência da Computação, Bolsista FAPEMIG no DEA/UFV, andre@gprh.ufv.br

4- Agrônomo, Professor Associado do DEA/UFV, demetrius@ufv.br

5- Engenheiro Civil, Pós-Doutorando em Eng. Agrícola no DEA/UFV, jmarcio@gprh.ufv.br

INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial para a garantia da qualidade de vida, sendo fator restritivo ao desenvolvimento econômico e social em muitas regiões. Apesar de o Brasil possuir uma situação privilegiada no que diz respeito à disponibilidade de água, sua variação geográfica e temporal tem gerado conflitos pelo seu uso em diversas bacias (MOREIRA, 2006).

Problemas advindos dos conflitos pelo uso da água remetem à necessidade de um adequado programa de gestão de recursos hídricos. Neste sentido, um grande avanço no país foi a promulgação da Lei 9.433/97, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, a qual possui como um de seus instrumentos a outorga de direito de uso da água.

O conhecimento da disponibilidade de água é a informação básica para a tomada de decisão no processo de outorga, sendo que a necessidade de se conhecer a vazão ao longo da rede hidrográfica e as limitadas séries de dados fluviométricos disponíveis dificultam, ou muitas vezes impedem, a realização de uma adequada gestão de recursos hídricos.

Para superar a dificuldade encontrada na obtenção de dados em todos os locais de interesse necessários ao adequado gerenciamento dos recursos hídricos de uma região, utiliza-se a técnica de regionalização de vazões para transferir espacialmente as informações, a partir dos dados disponíveis em determinadas seções.

Diversas metodologias para esta finalidade encontram-se disponíveis, como as propostas por Eletrobras (1985a), Eletrobras (1985b) e Chaves *et al.* (2002). Além destas metodologias outras têm sido propostas, como a de Novaes (2005), em que se desenvolveu um procedimento de ajuste das vazões mínimas e média ao longo da hidrografia da bacia do rio Paracatu baseado no princípio de conservação de massas/continuidade de vazões.

A aplicação desses modelos de regionalização constitui em uma outra dificuldade na quantificação da disponibilidade de água, pelo fato destes, na maioria dos casos, necessitarem do conhecimento de informações físicas da bacia, as quais são obtidas,

na maioria das vezes, através de um processo lento e moroso a partir de cartas topográficas. Uma sensível evolução no desenvolvimento destes modelos, no entanto, ocorreu com o surgimento dos sistemas de informações geográficas (CHAVES, 2002), os quais permitem automatizar a obtenção das características físicas a partir do modelo digital de elevação da bacia.

Aliado ao conhecimento da disponibilidade de água, a determinação das vazões já outorgadas a montante da seção de interesse é de fundamental importância para a quantificação das vazões ainda passíveis de serem outorgadas. A complexidade da integração dessas informações, entretanto, exige o desenvolvimento de sistemas capazes de coletar, armazenar e processar essas informações, fornecendo subsídios mais confiáveis para a análise do processo de outorga.

No Brasil, embora os instrumentos de gerenciamento de recursos hídricos tenham sido instituídos pela Lei 9.433/97 com intuito de lidar com conflitos de uso da água e promover a recuperação ambiental das bacias, até o presente momento poucos avanços têm sido evidenciados a fim de integrar os diversos fatores requeridos em um processo de outorga e facilitar a ação dos órgãos gestores e comitês de bacias.

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema que permita obter a disponibilidade hídrica para qualquer seção de interesse ao longo da rede hidrográfica de uma bacia e quantificar o impacto da concessão de uma nova outorga nesta disponibilidade, visando a otimização do uso da água e a redução dos conflitos entre os usuários.

MATERIAL E MÉTODOS

Visando otimizar o processo de gestão dos recursos hídricos, desenvolveu-se um software no qual foram considerados unicamente os recursos hídricos de superfície e a inexistência de reservatórios de acumulação na bacia, ou seja, foram observadas as condições de outorga a fio d'água.

O software foi desenvolvido utilizando a ferramenta de programação Borland Delphi 7.0, enquanto que as rotinas afetas a Sistemas

de Informações Geográficas (SIGs) foram implementadas com a utilização do componente ESRI MapObjects 2.3 (MapObjects), o qual é composto por um conjunto de funções para mapeamento, sendo este de uso freqüente por programadores no desenvolvimento de aplicativos que envolvem o uso de mapas.

Na seqüência, está apresentado o procedimento metodológico utilizado para o desenvolvimento do software, conforme as sub-rotinas apresentadas na Figura 1.

No processo de identificação da seção de interesse foram considerados dois casos: o primeiro se refere à definição de uma seção a partir do clique do *mouse* sobre um mapa georreferenciado; e o segundo é afeto à entrada manual das coordenadas geográficas da seção de interesse.

Uma vez feita a identificação da seção de interesse, foi desenvolvida uma rotina que pesquisa automaticamente os dados necessários à aplicação das demais sub-rotinas apresentadas na Figura 1, referentes à bacia e à seção de interesse. Os dados requeridos pelo software foram armazenados em um banco de dados e em arquivos georreferenciados nos formatos *shape* e *raster*.

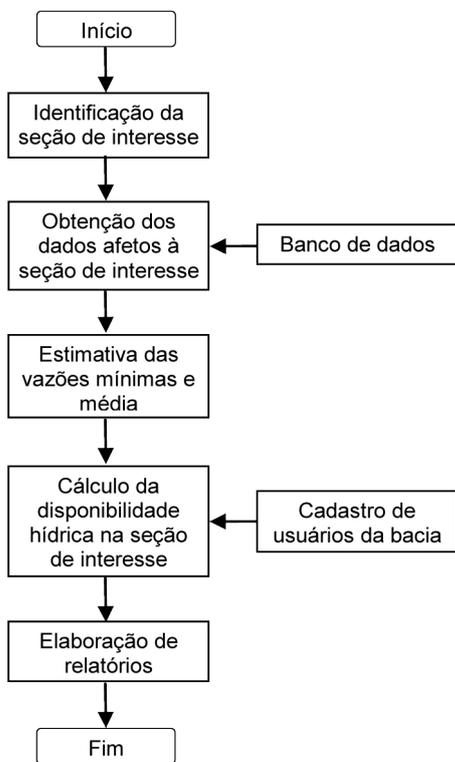


Figura 1. Fluxograma representando as sub-rotinas executadas pelo software.

As pesquisas realizadas no banco de dados foram implementadas através de comandos da *Structured Query Language* (SQL), enquanto que as pesquisas nos arquivos *shape* e *raster* foram procedidas a partir de consultas espaciais implementadas com a utilização de ferramentas disponíveis no MapObjects.

A fim de permitir a atualização dos dados armazenados no banco de dados, foi desenvolvido um módulo no software que permite atualizar os valores dos registros do banco de dados. As instruções de atualização deste módulo foram implementadas através de comandos da SQL.

Para permitir a estimativa das vazões mínimas ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}) e média de longa duração (Q_{mld}) ao longo da rede hidrográfica da bacia foram implementados os seguintes procedimentos de regionalização de vazões: método tradicional (ELETROBRAS, 1985a), método baseado na proporcionalidade de vazões específicas (ELETROBRAS, 1985b) e método baseado na conservação de massas/continuidade de vazões (NOVAES, 2005).

Em virtude da área de drenagem ser a variável obtida automaticamente pelo software, foi necessário que, na obtenção das equações a serem empregadas pelo método tradicional, fossem selecionadas aquelas que utilizam a área de drenagem como única característica física da bacia.

Os dados requeridos para a estimativa das vazões mínimas e média pelo método tradicional foram: o número de identificação da região hidrologicamente homogênea, na qual está inserida a seção de interesse, e as equações para a estimativa da vazão, ajustadas com base nos seguintes modelos:

Modelo linear

$$Q = \beta_0 + \beta_1 A \tag{1}$$

Modelo potencial

$$Q = \beta_0 A^{\beta_1} \tag{2}$$

Modelo exponencial

$$Q = e^{(\beta_0 + \beta_1 A)} \tag{3}$$

Modelo logarítmico

$$Q = \beta_0 + \beta_1 \ln A \quad (4)$$

Modelo recíproco

$$Q = (\beta_0 + \beta_1 A)^{-1} \quad (5)$$

em que

Q = vazão estimada, $m^3 s^{-1}$;

β_0 e β_1 = coeficientes da equação de regressão, adimensional; e

A = área de drenagem, km^2 .

Para a estimativa das vazões mínimas e média pelo método baseado na proporcionalidade de vazões específicas o usuário deve identificar a seção de interesse e, dependendo de sua posição em relação às seções fluviométricas mais próximas, é procedida a análise e o enquadramento em um dos quatro casos:

Caso 1 – Ponto de interesse localizado a montante de um posto com vazão conhecida

Neste caso, o software aplica diretamente o método da razão de área de drenagem, conforme adotado por Stedinger *et al.* (1992), utilizando a equação

$$Q_z = \left(\frac{A_z}{A_x} \right) Q_x \quad (6)$$

em que

Q_z = vazão na seção de interesse, $m^3 s^{-1}$;

Q_x = vazão em um posto fluviométrico a jusante da seção de interesse, $m^3 s^{-1}$;

A_z = área de drenagem na seção de interesse, km^2 ; e

A_x = área de drenagem do posto fluviométrico a jusante da seção de interesse, km^2 .

Caso 2 – Ponto de interesse localizado entre dois postos com vazão conhecida

No caso de um ponto de interesse Z situado num trecho de canal entre dois postos fluviométricos de

vazão conhecida, Q_m e Q_j , a vazão desconhecida, Q_z , é estimada pela equação:

$$Q_z = Q_m + \left(\frac{A_z - A_m}{A_j - A_m} \right) (Q_j - Q_m) \quad (7)$$

em que

Q_m = vazão em um posto fluviométrico a montante, $m^3 s^{-1}$;

Q_j = vazão em um posto fluviométrico a jusante, $m^3 s^{-1}$;

A_m = área de drenagem relativa ao posto fluviométrico a montante, km^2 ; e

A_j = área de drenagem relativa ao posto fluviométrico a jusante, km^2 .

Caso 3 – Ponto de interesse localizado a jusante de um posto com vazão conhecida

Esta situação é semelhante à descrita no caso 1 e a vazão no ponto de interesse Z é calculada com base na equação 6.

Caso 4 – Ponto de interesse situado em um canal afluente, cuja foz está entre dois postos fluviométricos de um canal de ordem superior

Esta situação (Figura 2) é uma combinação das situações descritas nos casos 1 e 2, tendo sido implementado o seguinte procedimento para a estimativa da vazão no ponto de interesse: aplica-se o procedimento descrito no caso 2 (equação 7) entre os postos a montante e a jusante, calculando-se a vazão no ponto de confluência do canal de ordem i (Z'), e posteriormente se obtém a vazão de referência correspondente ao ponto de interesse Z , usando a vazão calculada previamente em Z' e aplicando o mesmo procedimento descrito no caso 1 (Equação 6).

Para estimativa das vazões mínimas e média pelo método baseado na conservação de massas/continuidade de vazões, as variáveis que devem estar armazenadas no banco de dados são as equações de regionalização para os rios em que existem informações de pelo menos uma estação fluviométrica.



Figura 2. Situação de um ponto de interesse situado em um canal afluente cuja foz está entre dois postos fluviométricos de um canal de ordem superior.

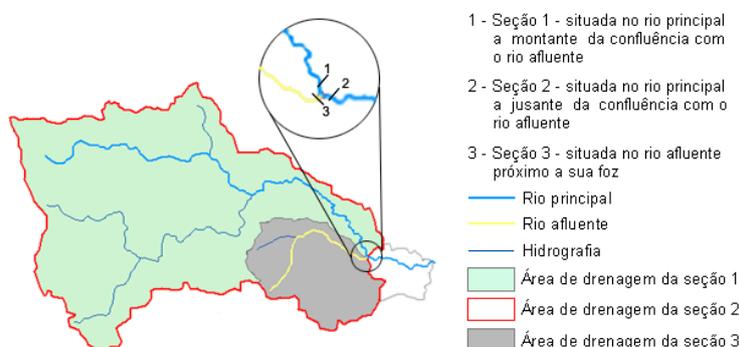


Figura 3. Procedimento para a determinação das vazões a montante e a jusante da confluência do rio com equação ajustada e um afluente direto.

Para aplicação deste método, deve-se proceder ao ajuste dos modelos de regressão para representação das vazões mínimas e média em função da área de drenagem das estações fluviométricas, localizadas no rio principal e, a partir desses modelos, obtêm-se as vazões na foz de cada rio afluente direto do rio principal, procedendo-se então novos ajustes, em um processo recursivo, dos rios de maior ordem para os de menor.

Assim, caso exista a equação para o rio em que se encontra a seção de interesse é feita automaticamente a obtenção da área de drenagem e o cálculo da vazão.

Para o caso de não existir uma equação ajustada, foi necessário o desenvolvimento de um procedimento computacional que possibilitasse percorrer a hidrografia a jusante do ponto de interesse até encontrar um rio para o qual existe uma equação ajustada. Encontrado o rio com a equação ajustada, procede-se a determinação das vazões nas seções imediatamente a montante e a jusante

da confluência com o rio de interesse (Figura 3). A diferença entre estas vazões corresponde à vazão da foz do rio de interesse. De posse dessa vazão procede-se o ajuste de uma equação linear em função da área de drenagem, sendo esse ajuste efetuado de tal forma que a equação resultante produza uma vazão nula, quando a área de drenagem é zero, e uma vazão igual à estimada na foz do rio, quando a área de drenagem é aquela correspondente à área de drenagem do rio.

A estimativa da vazão ainda passível de ser outorgada na seção de interesse após a concessão de uma nova outorga foi feita pela equação:

$$Q_{disp} = xQ_{nr} - \sum Q_{nt} - Q_{sol} \quad (8)$$

em que

Q_{disp} = vazão disponível para ser outorgada, $m^3 s^{-1}$;

x = percentual da Q_{mr} passível de ser outorgada, adimensional;

Q_{mr} = vazão mínima de referência estimada na seção de interesse, $m^3 s^{-1}$;

Q_{mt} = vazão concedida a montante da seção de interesse, $m^3 s^{-1}$; e

Q_{sol} = vazão solicitada, $m^3 s^{-1}$.

Conforme se evidencia na Equação 8, no cálculo da vazão disponível para ser outorgada (Q_{disp}) já é considerada a abstração advinda da outorga solicitada, expressando, portanto, a vazão remanescente para futuras outorgas.

A obtenção da vazão mínima de referência (Q_{mr}) é feita conforme o procedimento descrito para a estimativa das vazões mínimas e média, devendo o usuário proceder apenas a identificação da vazão a ser utilizada ($Q_{7,10}$, Q_{90} , Q_{95} ou Q_{mld}) e do método de regionalização de vazões.

O percentual da Q_{mr} passível de ser outorgada (x) é definido pelo órgão gestor da bacia, sendo xQ_{mr} , a máxima vazão passível de ser outorgada na seção de interesse.

Considerando que o procedimento de outorga em condições ideais deve ser realizado em uma base mensal, o software permite que a vazão solicitada (Q_{sol}) seja fixa ou variável ao longo do período de concessão da outorga. Para isso foi disponibilizado um quadro em que constam os anos e os meses, o qual é ajustado de acordo com o período escolhido.

Para o cálculo das vazões outorgadas a montante (Q_{mt}) da seção em análise, o software

consulta os cadastros de usuários de água da bacia, disponibilizados pelos órgãos gestores estadual e federal atuantes na bacia e, a partir desse banco de dados, é verificado para cada outorga se ela está localizada a montante ou a jusante da seção de interesse.

Para facilitar a visualização das vazões ainda permissíveis de serem outorgadas, foi adicionado ao software um quadro de base mensal, no qual constam os anos e meses ajustados de acordo com o período de vigência da outorga a ser efetuada, sendo suas células preenchidas de acordo com os critérios apresentados no Quadro 1.

A fim de permitir o agrupamento das informações relativas à seção de interesse e a impressão destas informações para documentação e posterior análise dos aspectos envolvidos no processo de outorga desenvolveu-se um módulo para geração de relatórios.

Para a apresentação dos resultados que podem ser obtidos com a utilização do sistema desenvolvido, tomou-se como exemplo a seção de interesse de latitude $16^{\circ} 17' 35''$ e longitude $46^{\circ} 57' 06''$ e a solicitação de uma outorga hipotética de zero $L s^{-1}$, para o período de janeiro de 2006 a dezembro de 2010, a fim de verificar a situação atual da bacia. Esta seção está localizada no rio Preto, sendo pertencente à bacia do rio Paracatu, a qual é a principal contribuinte para a formação das vazões do rio São Francisco (PEREIRA, 2004), já tendo sido evidenciadas nesta bacia vazões de retirada superiores à máxima permissível para outorga (RODRIGUEZ, 2003).

Quadro 1. Escala de cores para a caracterização das faixas de vazões permissíveis de serem outorga

Cor	Critério
Verde (v) 	Vazão ainda permissível para ser outorgada superior a 30% da vazão máxima passível de outorga
Amarelo (a) 	Vazão ainda permissível para ser outorgada inferior a 30% e superior a 10% da vazão máxima passível de outorga
Laranja (l) 	Vazão ainda permissível para ser outorgada inferior a 10% da vazão máxima passível de outorga
Vermelho (o) 	Condição em que as vazões outorgadas superaram a vazão máxima passível de outorga

Os símbolos (v), (a), (l) e (o) foram inseridos nas figuras em que aparecem as cores verde, amarelo, laranja e vermelho a fim de facilitar as suas respectivas identificações, já que este trabalho em sua versão impressa é apresentado em tons de cinza. No sistema desenvolvido estes símbolos não são apresentados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O software desenvolvido para obter a disponibilidade hídrica para qualquer seção de interesse ao longo da rede hidrográfica de uma bacia e quantificar o impacto da concessão de uma nova outorga nesta disponibilidade foi denominado Sistema Integrado para a Gestão de Recursos Hídricos (SINGERH), sendo a Figura 4 ilustrativa de sua tela de apresentação, constando nesta o seu nome, sua finalidade, as instituições envolvidas e o grupo responsável pelo seu desenvolvimento. Nesta tela também estão apresentadas as funcionalidades contempladas no software, as quais são descritas na seqüência.

Na Figura 5 apresenta-se a tela “Localização”, sendo esta utilizada para a identificação por parte do usuário da seção de interesse para a análise da disponibilidade de água e concessão de outorga. Nesta tela o usuário escolhe a seção de interesse, podendo este procedimento ser realizado de duas formas (campo 1): a primeira a partir do clique do *mouse* sobre a seção de interesse (opção Mapa), e a segunda (opção Coordenadas geográficas) a partir da entrada dos valores de latitude e longitude da seção de interesse.

Na opção “Mapa” o usuário fica habilitado a identificar a seção de interesse pelo clique em um mapa (campo 2). Conforme o usuário movimenta o cursor sobre o mapa é apresentada na barra de *status* do software (campo 3) a posição X e Y no sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), *datum* Córrego Alegre e elipsóide Hayford 1909 da posição corrente.



Figura 4. Tela de apresentação do SINGERH.

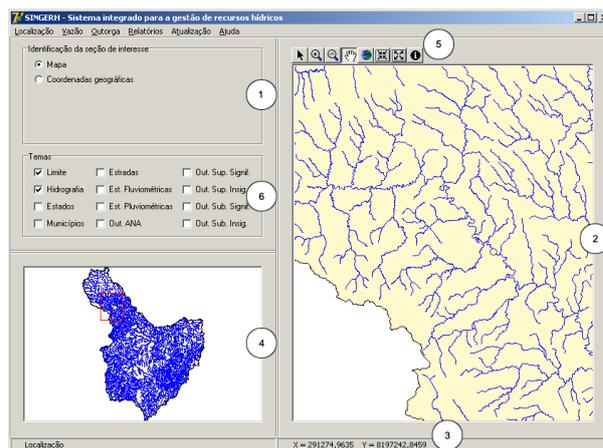


Figura 5. Tela Localização do SINGERH.

Na opção “Coordenadas geográficas” o usuário fornece os valores de latitude e longitude no sistema de coordenadas geográficas, *datum* Córrego Alegre e elipsóide Hayford 1909. No caso das coordenadas geográficas não estarem contidas na bacia em estudo é emitida uma mensagem de erro alertando para tal fato.

Considerando que o SINGERH foi desenvolvido para condições de outorga a fio d’água, caso o usuário não escolha uma seção sobre um curso d’água é criado um ponto de cor amarela e emitida uma mensagem pedindo o ajuste da coordenada identificada para uma posição coincidente com um curso d’água. Uma vez obtida a coincidência da seção de interesse com a hidrografia, a coloração do ponto muda para branco.

Visando facilitar a identificação da seção de interesse, a tela “Localização” possui dois mapas, apresentando no primeiro (campo 4) o limite e a hidrografia da bacia em estudo, bem como a delimitação, por um retângulo vermelho, da área para a qual é feito o detalhamento da hidrografia apresentada no mapa do campo 2. Para a manipulação deste mapa são disponibilizadas ferramentas (campo 5) comumente encontradas em softwares de sistemas de informações geográficas.

O SINGERH permite a adição e, ou, exclusão de novos temas (campo 6), sendo disponibilizados, além do limite e da hidrografia da bacia, outros temas como o limite dos estados e municípios, as estradas de rodagem, as estações fluviométricas e pluviométricas e as outorgas emitidas pelo(s) órgão(s) gestor(es) de recursos

hídricos responsável(is) pela emissão de outorgas na bacia. Em relação às outorgas emitidas, o SINGERH faz a discretização em outorgas emitidas pela ANA e outorgas emitidas pelo órgão Estadual da bacia, sendo estas discriminadas em superficiais significantes e insignificantes e subterrâneas significantes e insignificantes.

Uma vez feita a identificação da seção de interesse o software procede, automaticamente, a obtenção dos dados necessários para a aplicação dos métodos de regionalização, a estimativa das vazões mínimas e média e o cálculo das vazões outorgadas a montante da seção de interesse.

Na Figura 6 apresenta-se a tela Vazão do SINGERH, constando nesta, para a seção de interesse, as vazões mínimas ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}) e média (Q_{mld}) obtidas pelos três métodos de regionalização de vazões contemplados pelo software.

Para fins de caracterização da vazão mínima o SINGERH disponibiliza tanto a $Q_{7,10}$ como a Q_{90} e a Q_{95} , que constituem as principais formas de quantificação da vazão mínima utilizadas pelos órgãos gestores de recursos hídricos para a concessão da outorga.

O SINGERH fornece os valores das vazões mínimas estimados por três métodos de regionalização, sendo estes: tradicional; baseado na proporcionalidade de vazões específicas e baseado na conservação de massas/continuidade de vazões, constituindo, dessa forma, em uma ferramenta de simulação que permite aos órgãos gestores a avaliação do método para utilização nas condições específicas do estudo realizado.

Flow Type	Method	Value (m³/s)	
Vazões mínimas estimadas	$Q_{7,10}$	Tradicional	9,79
		Proporc. de vazões	11,6
		Conser. de massas	11,3
	Q_{90}	Tradicional	19,4
		Proporc. de vazões	21,7
		Conser. de massas	21,5
	Q_{95}	Tradicional	14,6
		Proporc. de vazões	17,5
		Conser. de massas	17,4
Vazões médias estimadas	Q_{mld}	Tradicional	66,3
		Proporc. de vazões	71,2
		Conser. de massas	74,8
	Vazão		

Figura 6. Tela Vazão do SINGERH.

Tendo em vista as dificuldades associadas à aplicação dos diferentes métodos de regionalização de vazões e as restrições apresentadas por estes, sob certas condições, o SINGERH apresenta, ainda, como informação complementar no estudo de vazões, a Q_{mld} , também estimada pelos três métodos de regionalização de vazões utilizados na estimativa das vazões mínimas. A estimativa da Q_{mld} visa identificar a vazão máxima possível de ser regularizada, sendo a base de procedimentos que permitam a análise de concessão de outorga para a condição com regularização de vazões.

Pela análise dos valores apresentados na Figura 6, para a seção em análise, verifica-se a tendência do método tradicional em subestimar os valores de vazões mínimas em relação aos valores estimados pelos demais métodos. Observa-se ainda, que os valores das vazões mínimas estimadas pelos métodos baseados na proporcionalidade de vazões específicas e na conservação de massas/continuidade de vazões foram próximos.

As diferenças dos métodos na estimativa das vazões mínimas, como as evidenciadas em relação ao método tradicional, indicam a necessidade de um maior cuidado na escolha do método de regionalização de vazões para o cálculo da disponibilidade hídrica, já que a sua estimativa é a informação básica no processo de concessão de outorga, sendo que este pode vir a gerar conflitos.

Na estimativa da Q_{mld} foi observada, assim como na estimativa das vazões mínimas, uma tendência do método tradicional em subestimar os valores de vazão em relação aos demais métodos.

Na Figura 7 apresenta-se a tela Outorga do SINGERH, a qual permite verificar o impacto da concessão de uma nova outorga na disponibilidade hídrica da seção de interesse, além de possibilitar a análise do impacto de diferentes critérios de concessão de outorga na disponibilidade hídrica. Nesta tela devem ser definidos pelo usuário o período e a vazão solicitada para outorga (campo 1), bem como a vazão máxima passível de ser outorgada (campo 2). Constam também nesta tela dois quadros, sendo o primeiro referente à vazão solicitada para outorga (campo 3) e o segundo referente à disponibilidade hídrica na seção de interesse, após a concessão da outorga com a vazão solicitada (campo 4).

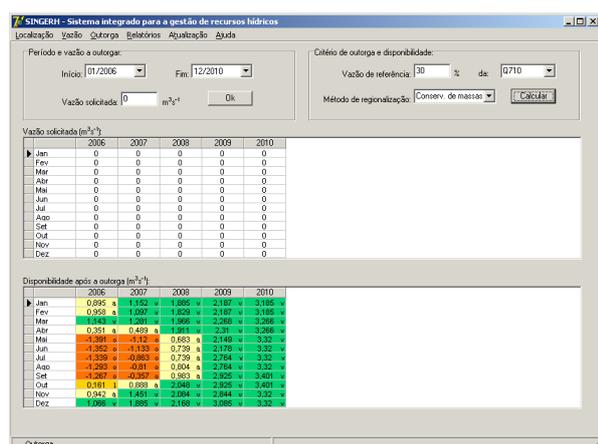


Figura 7. Tela Outorga do SINGERH.

Uma vez fornecidas as informações pertinentes aos campos 1 e 2 o usuário deve pressionar o botão “Calcular”, sendo então apresentados os valores, em uma base mensal, das vazões remanescentes permissíveis para concessão de outorga na seção de interesse, após a concessão da nova outorga (campo 4). Visando facilitar a análise dos dados apresentados no campo 4 é utilizada no SINGERH uma escala de cores (Quadro 1) para a identificação da proporção entre as outorgas já emitidas e a vazão máxima passível de ser outorgada.

Na seção em estudo verifica-se, nos dois primeiros meses de 2006, que a vazão ainda permissível de ser outorgada é inferior a 30% e superior a 10% da vazão máxima passível de outorga (cor Amarela do Quadro 1), sendo que no mês subsequente observa-se que a vazão ainda permissível para ser outorgada é superior a 30% da vazão máxima passível de outorga (cor Verde do Quadro 1).

Nesta figura, identifica-se que, no período de maio a setembro dos anos de 2006 e 2007, o preenchimento foi feito com a cor vermelha, indicando a condição em que as vazões outorgadas superaram a vazão máxima passível de outorga, fato este que também é apontado pelo sinal negativo. Tal período coincide com a época de maior déficit hídrico na região, e sendo a outorga concedida em uma base mensal, verifica-se neste período uma maior vazão outorgada.

Percebe-se, ainda, um aumento ao longo do tempo das vazões remanescentes para concessão

de outorga, fato este explicado pela perda de validade das outorgas vigentes, as quais após seu vencimento têm suas vazões outorgadas novamente passíveis de serem outorgadas.

O SINGERH permite a geração de dois tipos de relatórios: o primeiro referente às vazões disponíveis e o segundo afeto às outorgas emitidas a montante da seção de interesse.

No relatório “Vazão disponível” (Figura 8) constam as informações básicas da seção de interesse, como sua localização em coordenadas geográficas (latitude e longitude) e projetadas (Y e X), os nomes do rio, do estado e do município e sua área de drenagem. Também são apresentados o valor da vazão máxima passível de outorga e o método de regionalização utilizado para a estimativa da disponibilidade hídrica. Na tabela referente à situação anterior à concessão da outorga em análise, são apresentadas as vazões ainda permissíveis de serem outorgadas na seção de interesse. Também, visando facilitar a análise das vazões apresentadas, nesta tabela é feita, com base nos critérios apresentados no Quadro 1, a classificação das vazões em quatro classes.

Na tabela referente à situação posterior à concessão da outorga em análise, são apresentadas as vazões ainda permissíveis de serem outorgadas na seção de interesse considerando a concessão da outorga em análise. Nesta tabela, tal como na tabela referente à situação anterior à concessão da outorga em análise, é realizada a classificação das vazões de acordo com os critérios apresentados no Quadro 1, sendo estes dispostos no final do relatório, servindo, dessa forma, como base de referência para as análises. A comparação das duas tabelas permite identificar facilmente o impacto da concessão da nova outorga nas vazões da seção de interesse, possibilitando ao órgão gestor a tomada de decisão quanto ao deferimento ou indeferimento da outorga em análise.

O relatório “Outorgas a montante” apresenta o diagnóstico das outorgas emitidas na bacia, constando, tal como no relatório “Vazão disponível”, as informações básicas a respeito da seção de interesse. Também constam neste relatório, em uma base mensal, as vazões totais

outorgadas a montante da seção de interesse por cada um dos órgãos gestores de recursos hídricos da bacia em estudo.

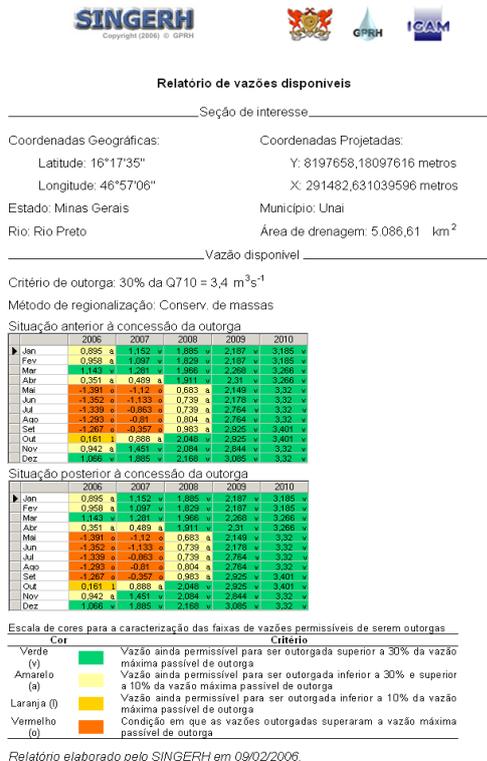


Figura 8. Relatório “Vazão disponível” gerado pelo SINGERH.

O SINGERH permite a atualização dos dados armazenados no banco de dados de forma a possibilitar alterações em seus dados conforme a dinâmica da bacia.

Um importante dado passível de atualização no SINGERH se refere aos cadastros de usuários de água da bacia. Tendo em vista a existência de diversos cadastros de usuários de água tanto em nível nacional (ANA) como estadual (órgãos gestores de recursos hídricos de cada Estado) o SINGERH possibilita o acesso e a integração das informações oriundas dos diversos órgãos gestores que estiverem envolvidos na bacia.

Acompanha o SINGERH um sistema de ajuda que permite ao usuário obter informações relativas à utilização do software e a aspectos teóricos relacionados à gestão de recursos hídricos. Na Figura 9 apresenta-se a tela pertinente ao sistema de ajuda do SINGERH.

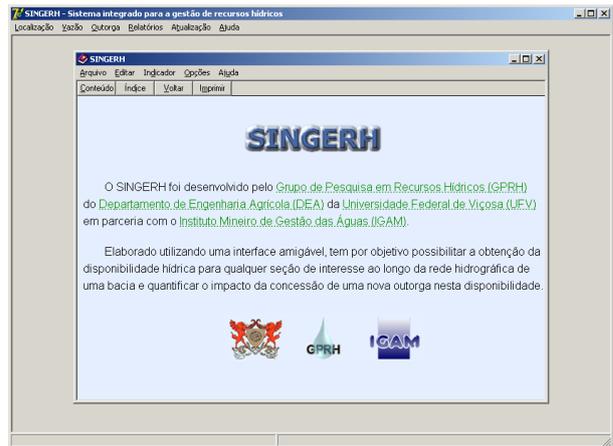


Figura 9. Sistema de ajuda do SINGERH.

CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos permitiu concluir que:

- O sistema integrado para a gestão de recursos hídricos desenvolvido, denominado SINGERH, permite: obter a disponibilidade hídrica para qualquer seção ao longo da rede hidrográfica; quantificar o impacto da concessão de uma nova outorga sobre essa disponibilidade; e quantificar as outorgas estaduais e federais emitidas a montante de qualquer seção de interesse; e
- No estudo de caso realizado para a seção localizada no rio Preto, afluente do rio Paracatu, evidenciaram-se: diferenças nas vazões estimadas pelos três métodos de regionalização estudados; e a impossibilidade de concessão de novas outorgas, no período de maio a setembro dos anos de 2006 e 2007, considerando o critério de outorga do Estado de Minas Gerais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHAVES, H.M.L.; ROSA, J.W.C.; VADAS, R.G.; OLIVEIRA, R.V.T. Regionalização de vazões mínimas em bacias através de interpolação em sistemas de informações geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.7, n.3, p.43-51, 2002.

CHAVES, M. de A. **Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a bacia Amazônica**. Viçosa, MG: UFV, 2002. 115f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

ELETROBRAS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Metodologia para regionalização de vazões**. Rio de Janeiro, 1985a. 202p.

ELETROBRAS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Manual de minicentrais hidrelétricas**. Rio de Janeiro, 1985b.

MOREIRA, M.C. **Gestão de recursos hídricos: sistema integrado para otimização da outorga de uso da água**. Viçosa, MG: UFV. 2006. 97p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)

– Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

NOVAES, L.F. **Modelo para a quantificação da disponibilidade hídrica na bacia do Paracatu**. Viçosa, MG: UFV. 2005. 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

PEREIRA, S.B. **Evaporação no lago de Sobradinho e disponibilidade hídrica no rio São Francisco**. Viçosa, MG: UFV. 2004. 105f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

RODRIGUEZ, R. del G. **Metodologia para estimativa das demandas e das disponibilidades hídricas na bacia do rio Paracatu**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

STEDINGER, J.R.; VOGEL, R.M.; FOUFOULA-GEORGIU, E. **Frequency analysis of extreme events**. In: MAIDMENT, D.R. Handbook of hidrology. New York: MacGraw Hill, Inc., 1992. cap. 18, p.18, 1-18.66.