

SIGA Velhas

PLATAFORMA SIGA RIO DAS VELHAS

RELATÓRIO DO MÓDULO SAO

**ATO CONVOCATÓRIO Nº 006/2016
CONTRATO DE GESTÃO IGAM Nº 002/IGAM/2012
07/2017**





PLATAFORMA SIGA RIO DAS VELHAS

RELATÓRIO DO MÓDULO SAO

**ATO CONVOCATÓRIO Nº 006/2016
CONTRATO DE GESTÃO IGAM Nº 002/IGAM/2012
07/2017**





1.0	12/07/2017	Versão Inicial
2.0	10/08/2017	Inclusão das metodologias
3.0	21/08/2017	Ajustes proposto pelo Thiago

Revisão	Data	Descrição Breve	Ass. do Autor	Ass. do Superior	Ass. de Aprovação
---------	------	-----------------	---------------	------------------	-------------------

PLATAFORMA SIGA RIO DAS VELHAS

RELATÓRIO DO MÓDULO SAO

Elaborado por: K2 Sistemas	Supervisionado por:		
Aprovado por:	Revisão	Finalidade	Data
	1	3	21/08/2017
Legenda Finalidade [1] Para Informação [2] Para Comentário [3] Para Aprovação			



K2FS Sistemas e Projetos Ltda.

Av. Rio Branco 26, Sobreloja 20090-001, Centro

Rio de Janeiro, RJ

Telefone: 21-2239-1190 – k2@k2sistemas.com.br



Apresentação do Trabalho

O presente documento “RELATÓRIO DO MÓDULO SAO” contém as informações relacionadas às entregas do oitavo mês, referente ao desenvolvimento e publicação do módulo SAO de acordo com a especificação dos requisitos elaborados para esse módulo.

O módulo SAO – Sistema de Acompanhamento de Outorgas será responsável pelo acompanhamento e controle das informações referentes às outorgas presentes ao longo da bacia.



Introdução

O módulo SAO – Sistema de Acompanhamento de Outorgas será responsável pelo acompanhamento e controle das informações referentes às outorgas concedidas na bacia.

O processo de análise de concessão de outorgas, conforme metodologia definida pela SEMAD e constante do Manual de Outorga, (Lei Delegada nº 180 e 181 de 2011, a operacionalização da outorga ficou a cargo da Subsecretaria de Gestão e Regularização Ambiental Integrada da SEMAD), apresenta um conjunto de exigências, documentos e informações necessários à avaliação técnica do pedido, cujo deferimento ocorrerá em função da disponibilidade hídrica e de outros fatores analisados no contexto da bacia hidrográfica conforme critérios previamente estabelecidos.

No contexto definido pelo projeto, o SIGA Rio das Velhas terá um importante papel não só nas preliminares do processo, apoiando a identificação e visualização geográfica da localização das intervenções, como também em etapas posteriores, referentes à demonstração dos usos dos recursos hídricos na bacia, às projeções de usos de recursos hídricos e a vazão de referência, visando garantir os usos múltiplos e as diretrizes estabelecidas nos Planos Diretores de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas e a classe em que o corpo de água estiver enquadrado, além da disponibilidade para os diversos usos, conforme respectivas prioridades.

A análise da disponibilidade hídrica para fins da concessão da outorga parte do ponto da intervenção devidamente localizado na respectiva bacia hidrográfica, com a utilização das informações geográficas incluídas no SIGA.

Conforme as informações registradas, podem ser identificadas áreas de restrição de uso (área de conflito declarada pelo IGAM, área de restrição definida em Plano Diretor de Recursos Hídricos da respectiva bacia hidrográfica, áreas de preservação permanente, rios ou ainda trechos de rios decretados corpos de água de preservação permanente) devidamente cadastradas no SAO, a prioridade de uso de recursos hídricos estabelecida no Plano Diretor de Recursos Hídricos (PDRH) da bacia hidrográfica, a classe em que o corpo de água estiver enquadrado de acordo com a legislação ambiental, as metas progressivas, intermediárias e final de qualidade e quantidade de água do corpo hídrico, a preservação dos usos múltiplos previstos e a manutenção das condições adequadas ao transporte aquaviário, quando couberem.

Uma vez determinada a área de drenagem relativa à seção considerada do curso de água, e obtida a vazão outorgável, deve ser realizada a contabilidade da vazão disponível para outorga, subtraída da somatória das outorgas relativas a usos



consuntivos já concedidas (incluídas as outorgas vencidas e ainda não suspensas em definitivo, com processo de renovação formalizado) e da somatória dos usos considerados insignificantes contabilizados por meio das certidões de uso insignificante. Verifica-se a vazão remanescente disponível para a nova outorga (mantendo-se o fluxo residual para a manutenção do meio biótico).

O Manual de Outorga do IGAM estabelece que a decisão sobre o deferimento dos pedidos de outorga, condições de uso da água e prazos de validade das outorgas deverão ser definidas com base em três fatores.

- a racionalidade no uso da água, avaliada de acordo com procedimentos e critérios definidos, para cada finalidade de uso;
- a magnitude do conflito pelo uso da água na bacia, avaliada pela relação entre as demandas totais existentes e as vazões de referência consideradas (poderão ser a vazão $Q_{7,10}$, as vazões com alta probabilidade de ocorrência ou as vazões regularizadas a jusante de um barramento); e
- a magnitude da participação individual do usuário no comprometimento dos recursos hídricos, avaliada pela relação entre a demanda individual do usuário e as vazões de referência.

Podem ser identificadas no processo de concessão de outorgas duas características bastante diferenciadas. A primeira delas corresponde ao fornecimento das documentações e informações de caráter administrativo e a segunda, objetivo primordial do processo de outorga, a aderência da concessão aos critérios e estudos técnicos que garantam a disponibilidade dos recursos aos usuários em suas diferentes classes de demanda.

O SIGA, em geral, e o módulo SAO, Sistema de Acompanhamento de Outorgas, em particular, representam ferramentas de apoio ao processo de grande valia, já que permitirão a realização de estudos e simulações das condições da Bacia, minimizando o conflito pelo uso da água pela disponibilização de informações e de resultados de avaliações técnicas, de forma tempestiva e de alta confiabilidade.

Deverão ser definidas, na etapa de levantamento de requisitos, as condições de integração e internalização das informações de outorga levantadas e controladas pela ANA e pela SEMAD, de forma a evitar divergência entre as informações contidas nos dois cadastros. Em princípio, a convergência das informações deve ser garantida através de um processo de consulta e atualização dos dados do SAO junto aos sistemas do IGAM e da ANA.



O módulo SAO deverá incorporar as equações de regionalização de vazões, aliadas aos cadastros de outorga da ANA e do IGAM, permitindo, com a agregação de informações ambientais, tais como a população, pontos de lançamento de efluentes, perdas, condições de esgotamento sanitário, deflúvios, entre outras, a resposta aos impactos decorrentes da inclusão de uma nova outorga concedida em determinado ponto da bacia, na região a jusante da região tratada.

Desta forma, é possível identificar a existência de stress hídrico e impactos severos, permitindo aos órgãos gestores avaliarem a conveniência e a possibilidade da concessão da outorga, avaliarem alternativas de localização ou de condições da concessão, e identificarem alterações na quantidade e qualidade da água conforme parâmetros atinentes a funções já conhecidas e que dependam de variáveis determináveis, como população ou área cultivada, por exemplo.

Todas essas análises e tomadas de decisão serão baseadas no resultado de balanços hídricos superficiais por trechos/segmentos de cursos d'água que o módulo SAO será capaz de calcular. O resultado do balanço hídrico será armazenado indicando a criticidade hídrica em cada um dos trechos analisados.

Vencidas estas etapas de definição e implementação das análises para as tomadas de decisão, o Módulo SAO apresenta um potencial extraordinário no processo de controle e gestão da Bacia, já que a partir das outorgas concedidas é possível a realização das análises de dinâmica do uso dos recursos hídricos e definição das políticas públicas, estudos e planos de manejo, com a avaliação do comprometimento da disponibilidade hídrica da bacia, sub-bacias ou ottobacias, pautando a requisição de uso da água por usuários.

O módulo incorpora a modelagem hidrológica a partir da qual é possível calcular vários índices para a bacia do Rio das Velhas.



Índice Analítico

1) Desenvolvimento.....	10
2) Publicação.....	10
2.1) Cadastro de Outorgas.....	10
3) Módulo SAO – Plug-in.....	12
3.1) Regionalização de vazões (IGAM, 2012).....	14
3.1.1) Metodologia utilizada e resultados gerados no “Estudo de regionalização de vazão para o aprimoramento do Processo de outorga no Estado de Minas Gerais”	14
3.1.2) Particularizações para a bacia do Rio São Francisco.....	22
3.1.3) Resultados aplicados à bacia do Rio das Velhas (UPGRH SF5)	24
3.1.4) Regionalização de vazões para a bacia do rio das Velhas - SF5	24
3.2) Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais (SOUZA , 1993)	26
3.3) Regionalização de vazões pelo Método da Interpolação Linear.....	29
3.4) Atributo de Vazão	34
3.5) Análise de pareceres técnicos	34
4) Módulo SAO – Cadastro de Outorgas.....	37
4.1) Concessão e Renovação	37
4.2) Cancelamento.....	39
4.3) Retificação	40
4.4) Shapefile.....	40
Referências	41
ANEXO.....	43
Análise da metodologia de Regionalização de Vazões.....	44



Lista de Figuras

Figura 1 – Página principal SIGA Rio das Velhas – Acesso a Área Restrita.....	10
Figura 2 – Página de login do Gerenciador de Conteúdo	11
Figura 3 – Página do Cadastro das Outorgas	11
Figura 4 – Janela da lista de Complementos (plug-in)	12
Figura 5 – Execução do plug-in para a metodologia de Regionalização de Vazões .	13
Figura 6 – Mapa de precipitação	23
Figura 7 - Tabela das estações fluviométricas Fonte: IGAM (2012), p. 126.	24
Figura 8 - Estimativa da vazão em um ponto y a montante (1) ou a jusante (2) de um posto fluviométrico com vazão conhecida x, em uma bacia hipotética. Fonte: Chaves et al. (2002).	30
Figura 9 - Estimativa de vazão em um ponto z situado entre dois pontos (x e y) com vazão conhecida (Caso 3) e em um ponto z situado em um canal afluente, cuja foz está localizada entre dois postos de vazão conhecida (x e y) em um canal de ordem superior (Caso 4).....	31
Figura 10 – Menu de opções do Cadastro de Outorgas.....	37
Figura 11 – Página de importação das portarias.....	38
Figura 12 – Página do Cadastro das Outorgas	38
Figura 13 – Página com os dados de uma portaria.....	39
Figura 14 – Página de Cancelamentos	39
Figura 15 – Página de Retificações.....	40
Figura 16 – Exportação para Shapefile	41
Figura 17 - Tabela das estações fluviométricas Fonte: IGAM (2012), p. 126.	45
Figura 18 - Gráfico da regressão $Q_{7,10}$	46
Figura 19 - Gráfico de regressão da $Q_{7,10}$, ressaltando as menores bacias.....	48

Módulo SAO

1) Desenvolvimento

Na sequência do desenvolvimento do projeto de construção da plataforma SIGA Rio das Velhas, a oitava etapa consistiu no desenvolvimento e publicação do “Módulo SAO” como um plugin para o QGIS e no ambiente da nuvem, conforme previsto no cronograma físico-financeiro, sendo este módulo e sua publicação entregues correspondentes ao oitavo mês, conforme item 6.8.3 do Termo de Referência.

2) Publicação

2.1) Cadastro de Outorgas

A plataforma SIGA Rio das Velhas foi publicada no domínio de internet <http://sig.a.cbhvelhas.org.br>, sendo o Módulo SAO um dos componentes da aplicação. O mesmo pode ser acessado através do item “Área Restrita”, conforme as figuras abaixo, onde apenas usuários com permissão de acesso poderão fazer a gestão do cadastro de outorgas. Esse cadastro não está relacionado diretamente com a camada de Outorgas do módulo AGBMap.

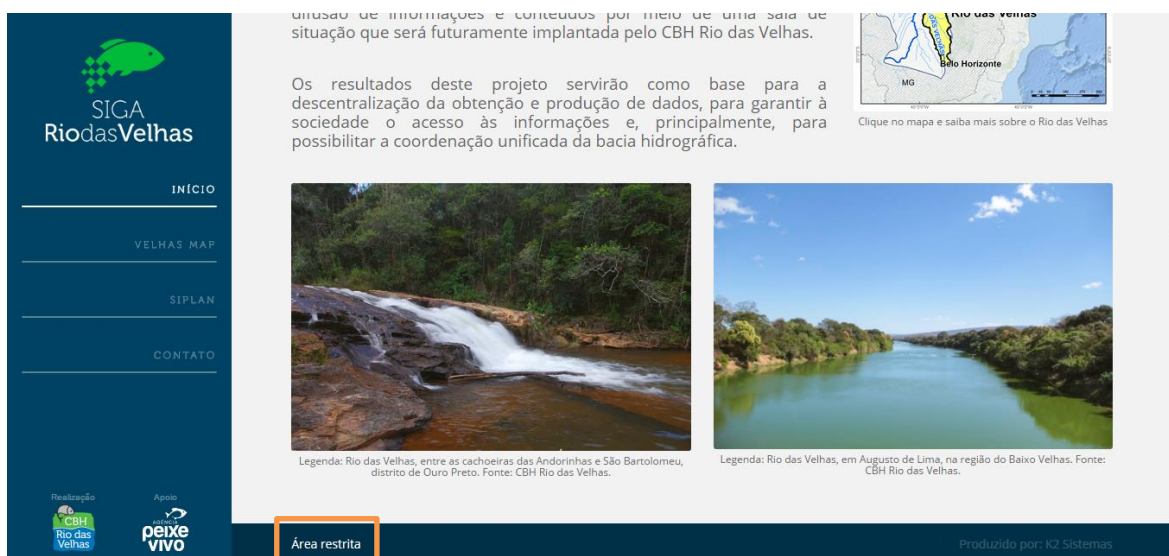
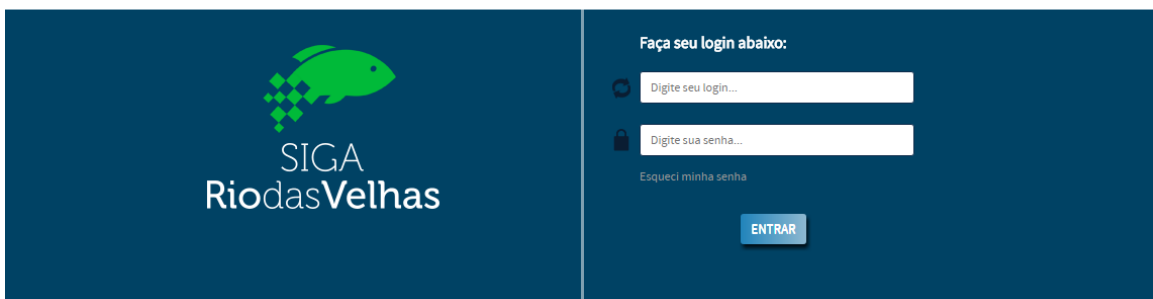


Figura 1 – Página principal SIGA Rio das Velhas – Acesso a Área Restrita



© Copyright K2 Sistemas - 2017 - Todos os direitos reservados | CONTATO

Figura 2 – Página de login do Gerenciador de Conteúdo

Na figura 3 é apresentado como realizar a gestão do cadastro de outorgas. Para realizar a gestão das outorgas selecione no menu (destacado), para apresentar a lista de outorgas já cadastradas no sistema.

Portaria	Data	Número processo	Autorização	Texto completo
00001/2017	03/01/2017	06623/2014	Sim	Portaria nº. 00001/2017 de 03/01/2017. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc. 06623/2014. Outorgante/Autorizante: Superintendente
00002/2017	03/01/2017	27062/2016 - Renovação da Portaria nº 02659/2011	Sim	Portaria nº. 00002/2017 de 03/01/2017. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc. 27062/2016 - Renovação da Portaria nº. 02659/2011.
00003/2017	03/01/2017	16312/2015	Sim	Portaria nº 00003/2017 de 03/01/2017. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc. 16312/2015. Outorgante/Autorizante: Superintendente
00004/2017	03/01/2017	10731/2013	Sim	Portaria nº 00004/2017 de 03/01/2017. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc. 10731/2013. Outorgante/Autorizante: Superintendente
00005/2017	03/01/2017	8292/2016	Sim	Portaria nº 00005/2017 de 03/01/2017. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc. 18292/2016. Outorgante/Autorizante: Superintendente
00006/2017	03/01/2017	8293/2016	Sim	Portaria nº 00006/2017 de 03/01/2017. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc. 18293/2016. Outorgante/Autorizante: Superintendente
00007/2017	03/01/2017	3917/2016	Sim	Portaria nº 00007/2017 de 03/01/2017. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc. 03917/2016. Outorgante/Autorizante: Superintendente
00008/2017	03/01/2017	3918/2016	Sim	Portaria nº 00008/2017 de 03/01/2017. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc. 03918/2016. Outorgante/Autorizante: Superintendente
00009/2017	03/01/2017	8843/2015	Sim	Portaria nº 00009/2017 de 03/01/2017. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc. 28843/2015. Outorgante/Autorizante: Superintendente
00010/2017	03/01/2017	3968/2016	Sim	Portaria nº 00010/2017 de 03/01/2017. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc. 03968/2016. Outorgante/Autorizante: Superintendente
00011/2017	03/01/2017	0975/2016	Sim	Portaria nº 00011/2017 de 03/01/2017. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc. 20975/2016. Outorgante/Autorizante: Superintendente
00012/2017	03/01/2017	7244/2014	Sim	Portaria nº 00012/2017 de 03/01/2017. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc. 07244/2014. Outorgante/Autorizante: Superintendente
00013/2017	03/01/2017	0658/2015	Sim	Portaria nº 00013/2017 de 03/01/2017. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc. 00658/2015. Outorgante/Autorizante: Superintendente
00014/2017	03/01/2017	3419/2016	Sim	Portaria nº 00014/2017 de 03/01/2017. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc. 03419/2016. Outorgante/Autorizante: Superintendente
00015/2017	03/01/2017	24780/2014	Sim	Portaria nº. 00015/2017 de 03/01/2017. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc. 24780/2014. Outorgante/Autorizante: Superintendente
00016/2017	03/01/2017	00824/2015	Sim	Portaria nº. 00016/2017 de 03/01/2017. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc. 00824/2015. Outorgante/Autorizante: Superintendente
00017/2017	03/01/2017	00825/2015	Sim	Portaria nº. 00017/2017 de 03/01/2017. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc. 00825/2015. Outorgante/Autorizante: Superintendente
00018/2017	03/01/2017	3716/2014	Sim	Portaria nº 00018/2017 de 03/01/2017. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc. 3716/2014. Outorgante/Autorizante: Superintendente

Figura 3 – Página do Cadastro das Outorgas



3) Módulo SAO – Plug-in

O plug-in é uma das partes do módulo SAO, responsável por realizar análises hídricas baseadas em diferentes metodologias para obtenção do balanço hídrico entre disponibilidades e demandas em uma bacia ou sub-bacia desejada.

Para realizar a instalação do plug-in, basta copiar o conteúdo do arquivo “ModuloSAO.zip” no diretório de plug-ins do QGIS, normalmente em “C:\[Instalação QGIS]\apps\qgis\python\plugins”, exemplo “C:\Program Files\QGIS 2.18\apps\qgis\python\plugins”.

Após executar o QGIS deve-se habilitar o plug-in na janela de Gerenciamento e Instalação de Complementos, conforme a figura a seguir.

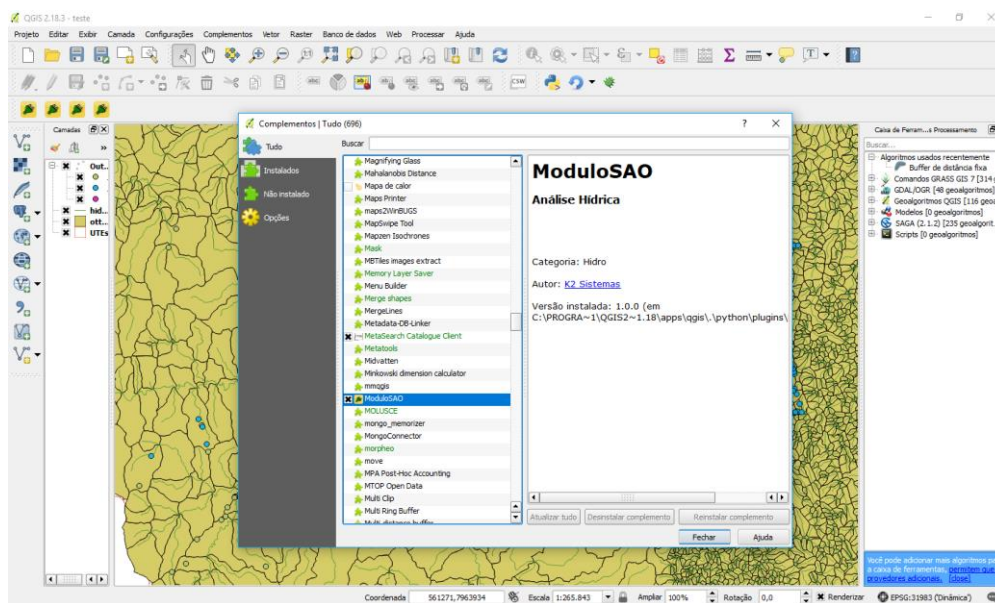


Figura 4 – Janela da lista de Complementos (plug-in)

Após habilitar o plug-in, o mesmo será apresentado na barra de ferramentas como novas funcionalidades. Cada nova funcionalidade tem seu ícone e metodologias diferentes.

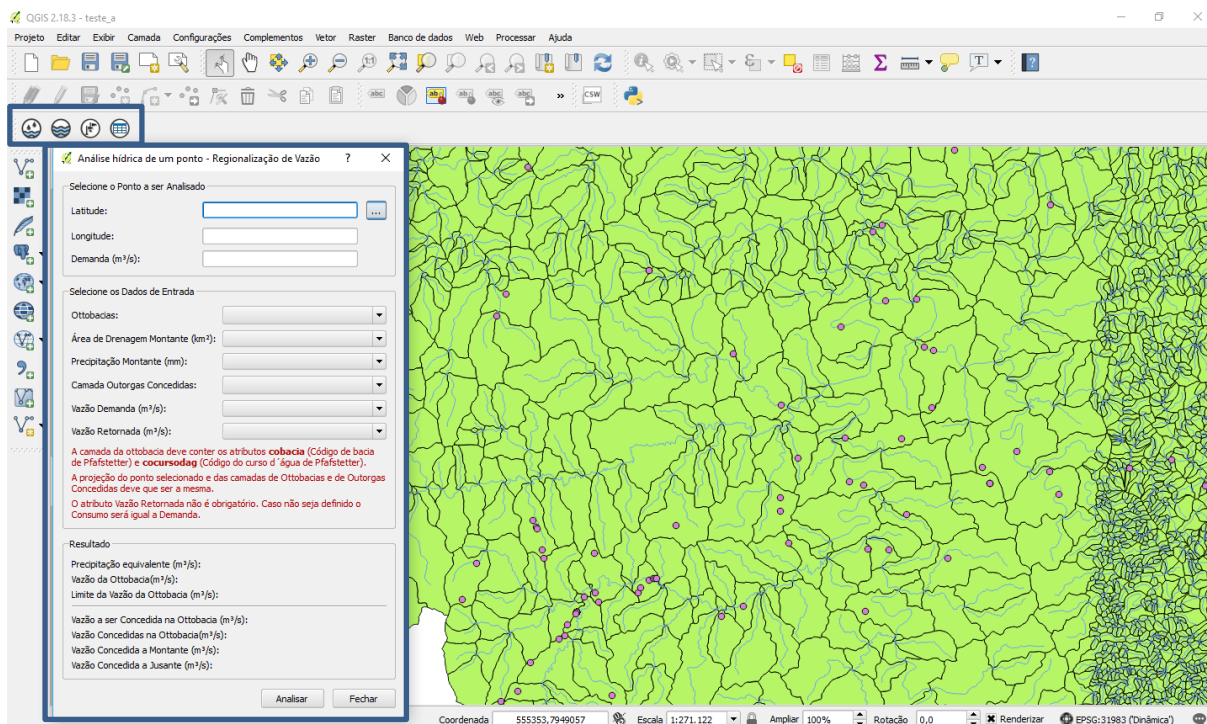


Figura 5 – Execução do plug-in para a metodologia de Regionalização de Vazões

Junto com o plug-in, foi disponibilizado um manual indicando como realizar a instalação do mesmo no software QGIS e como operar cada uma das metodologias de análise hídrica.

O plug-in possibilita realizar o balanço hídrico na seção considerada de uma bacia hidrográfica, e verificar a possibilidade de extração de água (via processo de outorga), tomando por base a vazão de referência adotada no estado de Minas Gerais, a $Q_{7,10}$ (vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência). A Portaria IGAM nº 49/2010 determina o percentual de 30% da $Q_{7,10}$ como o limite máximo da vazão passível de outorga em cada seção de bacia hidrográfica.

Para calcular a disponibilidade hídrica, ou seja, a vazão do curso d'água disponível para atender às demandas de outorga solicitadas, há necessidade de se fazer o balanço hídrico, computando-se as outorgas já emitidas e as vazões já comprometidas em determinada região hidrográfica. Para tanto, deverão ser somadas as vazões outorgadas na área de drenagem a montante da seção considerada e consideradas as vazões outorgadas até o ponto de captação imediatamente a jusante do pleito em análise, obtendo-se o resultado da expressão, conforme indicado a seguir (Portaria IGAM 49/2010).

$$\Sigma Q \text{ montante} + Q \text{ solicitada} + \Sigma Q \text{ jusante} \leq 30\% Q_{7,10}$$



Para realizar esse balanço hídrico, faz-se necessário conhecer a $Q_{7,10}$ na seção de interesse do curso d'água. Para obtenção dos valores de $Q_{7,10}$, até o ano de 2012 o IGAM recomendava a metodologia de regionalização de vazões mínimas contida no trabalho realizado por Souza (1993), para a Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA/MG (Método dos Deflúvios Superficiais). A partir de 2012, o IGAM recomenda o “Estudo de regionalização de vazão para o aprimoramento do processo de outorga no Estado de Minas Gerais”, realizado pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos da UFV (IGAM, 2012). Pode-se, também, estimar a $Q_{7,10}$ em determinado ponto a partir de dados estatísticos obtidos com uma série histórica de vazões; mas, como na grande maioria dos casos não existem dados de vazão medidos, a regionalização de vazão tem sido a técnica mais utilizada.

A seguir são descritas as metodologias implementadas no plug-in:

3.1) Regionalização de vazões (IGAM, 2012)

A regionalização de vazões é um método que visa conhecer a disponibilidade hídrica dos cursos d'água presentes em uma bacia hidrográfica, por meio da interpolação dos dados da rede fluviométrica existente na região. É uma ferramenta de suma importância principalmente para subsidiar a análise técnica para concessão de outorgas, visto que há uma carência de informações hidrológicas que não estão disponíveis ou estão restritas aos locais onde existem estações fluviométricas.

O “Estudo de regionalização de vazão para o aprimoramento do Processo de outorga no Estado de Minas Gerais” foi realizado pelo IGAM em parceria com a equipe do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (GPRH-UFV). Este estudo desenvolveu um sistema informatizado capaz de fornecer, para qualquer seção fluvial, as vazões características Q_{mld} ; $Q_{7,10}$; Q_{90} e Q_{95} e a área de drenagem correspondente para todas as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) de Minas Gerais. Este documento apresenta a metodologia utilizada para regionalização de vazões e os resultados gerados para a bacia do rio das Velhas.

3.1.1) Metodologia utilizada e resultados gerados no “Estudo de regionalização de vazão para o aprimoramento do Processo de outorga no Estado de Minas Gerais”

I. Variáveis dependentes

As variáveis dependentes foram obtidas a partir dos dados de séries históricas das estações fluviométricas estudadas. São elas: vazões médias anuais de longa duração (Q_{mld}), vazões mínimas associadas à permanência de 95% (Q_{95}) e 90% (Q_{90}) e vazões mínimas com 7 dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$).



Para obtenção dessas vazões foi utilizado o programa SisCAH 1.0 (Sistema Computacional para Análises Hidrológicas - www.ufv.br/dea/gprh). Foram descartados os anos da série histórica de vazões que apresentaram mais de 5% de falhas.

Para o cálculo das vazões Q_{95} e Q_{90} , foi obtida uma curva de permanência, através dos seguintes procedimentos:

Seleção da série de dados de vazões diárias utilizada para a obtenção da curva;

Definição de 50 intervalos de classe das vazões diárias;

Subdivisão dos intervalos de classe com base na escala logarítmica;

Cálculo do intervalo de classe (ΔX) pela equação:

$$\Delta X = [\ln(Q_{\text{máx}}) - \ln(Q_{\text{mín}})]$$

Em que:

$Q_{\text{máx}}$ = vazão máxima da série;

$Q_{\text{mín}}$ = vazão mínima da série.

Cálculo dos limites dos intervalos, a partir de $Q_{\text{mín}}$, adicionando o intervalo calculado anteriormente, o que resulta na vazão do limite superior do intervalo i :

$$Q_{i+1} = \exp[\ln(Q_i) + \Delta X]$$

Determinação, com base nos dados de vazão da série histórica de cada estação fluviométrica, do número de vazões classificadas em cada intervalo;

Determinação da frequência (f_i) associada ao limite inferior de cada intervalo:

$$f_i = \frac{N_{qi}}{NT} 100$$

Em que:



N_{qi} = número de vazões de cada intervalo;
NT = número total de vazões.

Obtenção da curva de permanência plotando-se na ordenada os limites inferiores dos intervalos de classe de vazão e na abscissa a frequência de ocorrência.

As vazões Q_{95} e Q_{90} foram, então, obtidas pela interpolação dos limites dos intervalos de classes.

As vazões $Q_{7,10}$ em cada série histórica foram estimadas utilizando-se cinco distribuições de densidade de probabilidade: Logpearson 3, Pearson 3, Normal, Lognormal 2 e Weibull.

Para tais distribuições a estimativa da magnitude de um evento com determinado período de retorno é dada pela equação:

$$M = \mu + k \sigma$$

Em que:

M = magnitude do evento para o período de retorno estabelecido;

μ = média dos eventos;

k = fator de frequência, conforme Kite (1988);

σ = desvio padrão dos eventos.

Para isso, os dados de vazão utilizados foram as menores médias de sete dias consecutivos (Q_7) estimadas em cada ano. Adotando o período de retorno de 10 anos foi possível estimar, utilizando os valores de Q_7 de cada ano, a variável de interesse ($Q_{7,10}$).

Dentre as cinco distribuições de densidade de probabilidade analisadas, foi selecionada aquela que apresentou uma menor amplitude do intervalo de confiança. Esse procedimento é realizado no SisCAH 1.0, e indica automaticamente a distribuição de probabilidade que apresenta o melhor ajuste estatístico.

As estações fluviométricas que apresentaram comportamento inconsistente foram excluídas, utilizando-se um recurso da estatística descritiva que identifica outliers em uma distribuição de dados, o Box Plot. Essa técnica utiliza a mediana e a amplitude interquartílica para analisar a dispersão dos dados. A identificação dos valores discrepantes do conjunto de dados é feita pelo cálculo dos limites inferior (L_{inf}) e superior (L_{sup}). Aqueles dados que se localizam fora do intervalo definido por esses limites, são chamados de outliers.



$$L_{inf} = Q1 - 1,5(Q3 - Q1)$$

$$L_{sup} = Q3 + 1,5(Q3 - Q1)$$

Em que:

L_{inf} = limite inferior do Box Plot para identificação de outliers;

L_{sup} = limite superior do Box Plot para identificação de outliers;

Q1 = quartil 1 e Q3 = quartil 3;

1,5 = valor obtido por meio da comparação com uma distribuição normal.

II. Variáveis independentes

As variáveis independentes consideradas foram as características físicas e climáticas da bacia. A característica física considerada foi a área de drenagem, obtida na rede hidrometeorológica do Hidroweb (Sistema de Informações Hidrológicas). A variável climática foi a precipitação média de longa duração, que é uma variável explicativa das vazões (a variação da precipitação nas bacias se reflete diretamente no comportamento das vazões específicas). Utilizou-se uma única variável para representar essas duas variáveis, a vazão equivalente ao volume precipitado (P_{eq}). Esse procedimento permitiu uma representação bidimensional da relação entre as variáveis dependentes e independentes e um ganho de grau de liberdade na análise estatística.

$$P_{eq} = \frac{P A}{k}$$

Em que:

P_{eq} = vazão equivalente ao volume precipitado, $m^3.s^{-1}$;

P = precipitação média anual na área de drenagem considerada, mm;

A = área de drenagem, km^2 ;

k = 31.536 (fator de conversão).

Embora a precipitação média anual seja uma variável explicativa do processo de formação das vazões mínimas e médias, considera-se que esta não reflete efetivamente a contribuição para a formação destas vazões.



Para que ocorra o escoamento do leito do rio advindo da contribuição subterrânea, é necessário que, primeiramente, a precipitação supra o déficit de água existente ao longo da zona de aeração. Isso depende das características do solo, cobertura vegetal e da demanda evapotranspirométrica. Foi proposto por Novaes (2005), então, o conceito de inércia hídrica.

O valor de inércia hídrica é específico para cada bacia e é tanto maior, quanto maiores forem a evapotranspiração, a capacidade de retenção de água no solo e da interceptação pela cobertura vegetal.

Novaes (2005) estimou para a bacia do Paracatu que, para precipitações médias anuais inferiores a 750 mm, a vazão deve se tornar nula no início do período de recessão. Assim, para a consideração da inércia hídrica foi subtraído um valor correspondente a 750 mm para cada pixel do mapa referente à precipitação média anual.

Para a consideração da precipitação menos a inércia hídrica de 750 mm também se utilizou uma única variável, representada pela equação:

$$P_{eq750} = \frac{(P - 750) A}{k}$$

Em que:

P_{eq750} = vazão equivalente ao volume precipitado considerando uma diminuição da inércia hídrica igual a 750 mm, $m^3.s^{-1}$.

Desta forma, as variáveis independentes utilizadas foram a área de drenagem (A), a vazão equivalente ao volume precipitado (P_{eq}) e a vazão equivalente ao volume precipitado considerando uma diminuição da inércia hídrica igual a 750 mm (P_{eq750}).

III. Modelos de regressão analisados

A metodologia de regionalização de vazões usada foi o Método Tradicional, fundamentada na análise do ajuste de diferentes modelos de regressão.

Foi feita uma definição prévia das regiões hidrologicamente homogêneas, depois foram obtidas as equações que permitem associar a vazão com variáveis topológicas e climáticas. A análise de regressão foi feita através dos modelos de regressão: linear, potencial, exponencial, logarítmico e recíproco.



A aplicação do método tradicional foi realizada através do software Sistema Computacional para a Regionalização de Vazões (SisCoRV 1.0), disponível em <www.ufv.br/dea/gprh>.

IV. Critérios para seleção do modelo de regionalização

A partir das equações obtidas pelo método tradicional, foi escolhida a equação que condiz à condição mais representativa das vazões para a bacia, analisando-se os melhores ajustes (com base no maior coeficiente de determinação – R^2 , menor erro padrão e menores valores dos resíduos).

A partir dos resultados das vazões estimadas (Q_{mid} , Q_{95} , Q_{90} e $Q_{7,10}$) pelo Método Tradicional para as estações fluviométricas e os valores das vazões estimadas com base nos dados observados para as mesmas seções foi avaliada a precisão das vazões estimadas pela análise do erro relativo percentual. O erro relativo entre o valor observado e o estimado foi calculado pela equação:

$$ER = \left(\frac{Q_{obs} - Q_{reg}}{Q_{obs}} \right) 100$$

Em que:

ER = erro relativo, %;

Q_{obs} = vazão estimada com base nos dados observados na est. fluviométrica, $m^3 s^{-1}$;

Q_{reg} = vazão estimada pelo modelo de regionalização, $m^3 s^{-1}$.

V. Espacialização das vazões regionalizadas

A espacialização e compatibilização das vazões regionalizadas para cada trecho de curso d'água foi possível através do cruzamento dos dados de precipitação com o banco de dados da Base Hidrográfica Topologicamente Consistente Ottocodificada do Estado de Minas Gerais (BHTCOMG), o mapa de ottobacias. Este mapa consiste no traçado dos limites das bacias de contribuição associadas a cada trecho de curso de água, contendo para cada delimitação do trecho o seu respectivo código Otto Pfafstetter (ANA, 2006). Essa base utiliza-se das escalas de 1:50.000 e 1:100.000.

Houve a necessidade de inserção das variáveis independentes (P_{eq} e P_{eq750}) no banco de dados da Ottocodificada para posterior cálculo das vazões em cada trecho da hidrografia. A entrada destas variáveis foi realizada por meio de um sistema de informações geográficas com o qual obteve-se o volume precipitado em cada



ottobacia pelo cruzamento do mapa referente à precipitação com o mapa de ottobacias.

Posteriormente acumularam-se as precipitações equivalentes de contribuição de cada trecho, para que a precipitação equivalente fosse representativa de toda área de drenagem a montante de cada trecho contemplado na BHTCOMG.

No cálculo das vazões nos trechos selecionou-se, por meio do código Otto Pfafstetter, em um sistema de informação geográfica, os trechos de uma região ou rio que possuíssem a mesma equação. Em seguida foi estimada a vazão no local selecionado através de um aplicativo que permite a inserção da equação em função de um campo da tabela de atributos referente à variável independente utilizada.

VI. Propostas para minimizar o uso da extrapolação das equações de regionalização obtidas

Visando uma análise mais criteriosa do comportamento físico das vazões obtidas pelos modelos de regionalização aplicados utilizou-se o Coeficiente de escoamento (relação entre o volume que escoou na seção de deságue considerada e o volume total precipitado na área de drenagem), para a análise das vazões médias de longa duração – Q_{mld} , e a Vazão Específica, para a análise das vazões mínimas – Q_{95} , Q_{90} e $Q_{7,10}$.

$$CE = \frac{V_{T(\text{escoado})}}{V_{T(\text{precipitado})}}$$

Em que:

CE = coeficiente de escoamento superficial, adimensional;

$V_{T(\text{escoado})}$ = volume médio anual que escoou na seção de deságue, m^3 ; e

$V_{T(\text{precipitado})}$ = volume médio anual que precipita na área de drenagem, m^3 .

O $V_{T(\text{escoado})}$ foi calculado pelo produto da Q_{mip} pelo número de segundos no ano. Foram gerados mapas da vazão específica e do coeficiente de escoamento ao longo da hidrografia da bacia.

Considerando que o coeficiente de escoamento apresenta uma faixa de variação que em geral é de zero a um, e que as equações de regionalização tendem normalmente a apresentar uma grande amplitude de variação destes valores nas regiões de



montante em que a extrapolação é feita, procedeu-se a análise do coeficiente de escoamento ao longo de toda a hidrografia a fim de impor um limite para a extrapolação destas equações referentes à vazão média de longa duração.

Portanto, considerou-se um determinado valor de coeficiente de escoamento superficial para cada região como um limitador para as estimativas das vazões médias, sendo este valor limite obtido pelos dados observados nas estações fluviométricas.

Caso o coeficiente de escoamento estimado no trecho da base hidrográfica fosse maior que o valor limite, a vazão média de longa duração seria estimada pela equação:

$$Q_{mld_ajust} = CE_{lim} P_{eq}$$

Em que:

Q_{mld_ajust} = Q_{mld} ajustada com base no coeficiente de escoamento limite, $m^3.s^{-1}$;

CE_{lim} = coeficiente de escoamento utilizado como limite para a extrapolação da equação de regionalização, adimensional.

Considerou-se como valor limite do coeficiente de escoamento superficial o maior valor evidenciado nas estações fluviométricas na região homogênea correspondente.

Procedimento similar foi utilizado para as vazões mínimas, entretanto tendo como variável de análise a vazão específica mínima (q_{95} , q_{90} ou $q_{7,10}$). Se a vazão específica mínima estimada pela equação de regionalização no trecho fosse maior que o valor de vazão específica selecionado para a área, a vazão mínima em questão (Q_{95} , Q_{90} ou $Q_{7,10}$) seria estimada pela equação:

$$Q_{mín_ajust} = A q_{mín_lim}$$

Em que:

$Q_{mín_ajust}$ = Q_{95} , Q_{90} ou $Q_{7,10}$ ajustada com base na vazão específica limite, $m^3.s^{-1}$;

$q_{mín_lim}$ = vazão específica mínima (q_{95} , q_{90} ou $q_{7,10}$) utilizada como limite para a extrapolação da equação de regionalização, $m^3.s^{-1}. km^{-2}$;

A = área de drenagem à montante, km^2 .



3.1.2) Particularizações para a bacia do Rio São Francisco

Os dados fluviométricos foram adquiridos em 2 de março de 2010 (91 estações) e os pluviométricos em 15 de maio de 2010 (145 Estações), através do portal Hidroweb (ANA).

O período-base considerado foi de no mínimo 20 anos de dados e série histórica com mais de 95% dos dados, entre os anos de 1968 a 2005. A tabela com as Estações Pluviométricas utilizadas no estudo encontra-se em Anexo.

O mapa de precipitação da bacia do Rio São Francisco (parcela contida no Estado de Minas Gerais) foi construído a partir da interpolação dos dados relativos à precipitação média anual, obtido utilizando o período de 1968 a 2005. Para tanto foram utilizados os dados das 145 estações pluviométricas e interpolados por IDW. Com base neste mapa foi calculada a precipitação média nas áreas de drenagem a montante das estações fluviométricas estudadas (Anexo).

Este mapa de precipitação foi reproduzido através dos dados de precipitação obtidos por IGAM (2012), utilizando-se a mesma metodologia (interpolação por IDW, no *software Arcgis 10.2.2*).

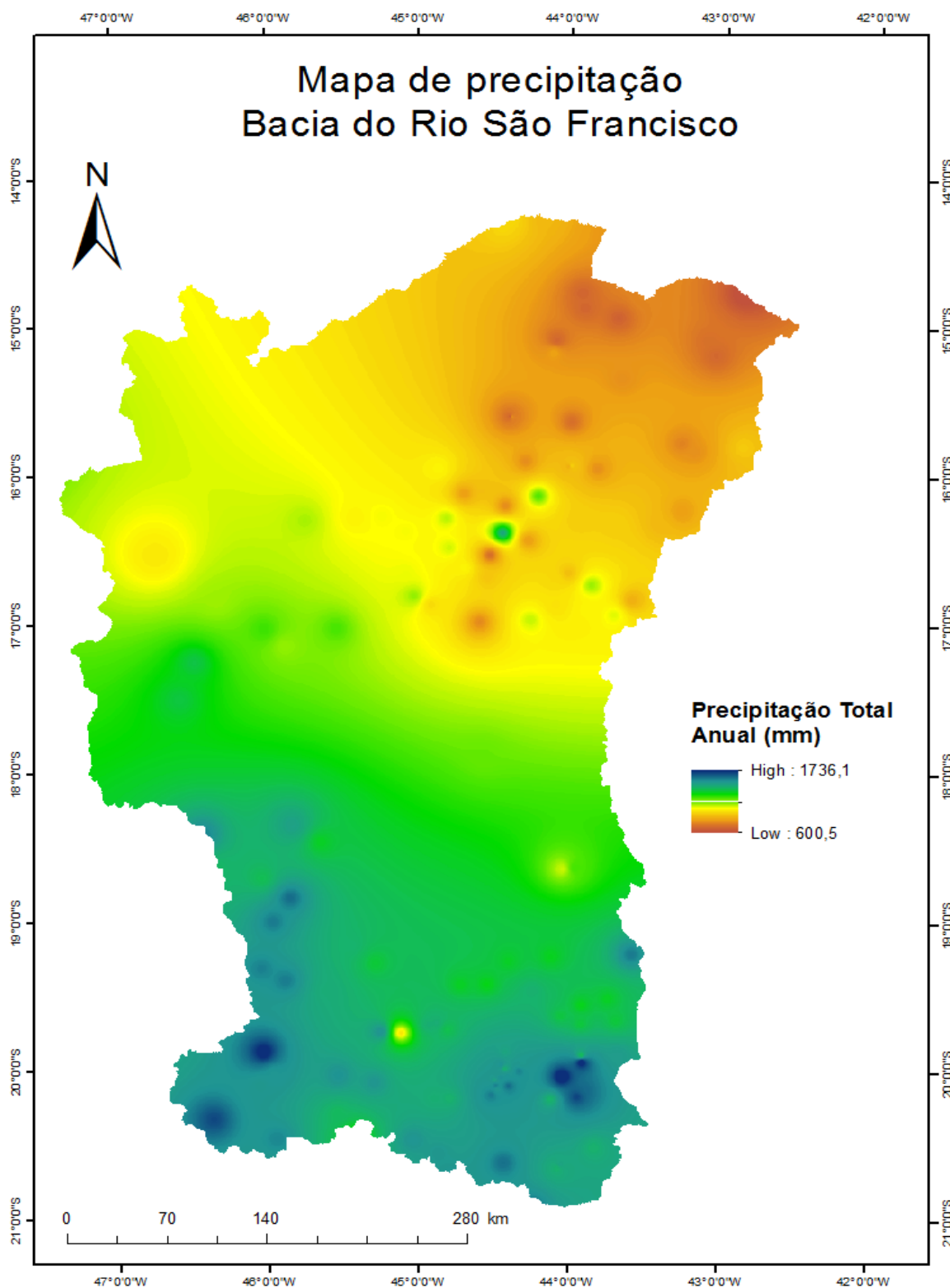


Figura 6 – Mapa de precipitação



3.1.3) Resultados aplicados à bacia do Rio das Velhas (UPGRH SF5)

No cálculo das vazões mínimas e médias foram analisadas 18 estações fluviométricas. Através da análise do *Box-plot*, as Estações 41180000, 41685000, 41700001 e 41780002 consistiram “*outliers*”, restando 14 estações efetivamente utilizadas no estudo.

A tabela abaixo contem os códigos e nomes das **estações fluviométricas** utilizadas em IGAM (2012) e valores das variáveis dependentes e independentes associadas a estas estações situadas na UPGRH – SF5:

Tabela 50 – Códigos e nomes das estações fluviométricas utilizadas no estudo e valores das variáveis dependentes e independentes associadas a estas estações situadas na UPGRH – SF5

Estação	Nome da estação	Área (km ²)	Q _{md} (m ³ /s)	Q ₉₀ (m ³ /s)	Q ₉₅ (m ³ /s)	Q _{7,10} (m ³ /s)	Peq (m ³ /s)	Peq750 (m ³ /s)
41410000	JEQUITIBA	7080	92,886	33,060	28,946	23,307	316,318	147,642
41440005	REPRESA - JUSANTE	238	3,010	1,138	0,976	0,705	10,053	4,388
41600000	PIRAPAMA	8050	107,720	38,675	33,142	26,816	353,919	162,222
41650002	PONTE DO LICÍNIO - JUSANTE	10700	134,714	47,485	42,294	32,334	452,032	198,198
41818000	SANTO HIPÓLITO (ANA/CEMIG)	16600	194,142	55,709	49,692	37,841	682,847	286,775
41890000	ESTAÇÃO DE CURIMATAI	1420	17,500	1,495	1,238	0,869	50,913	16,978
41940000	PONTE DO BICUDO	2080	18,674	1,011	0,657	0,163	76,994	27,502
41990000	VÁRZEA DA PALMA	26500	298,647	66,337	57,875	41,379	1040,731	409,392
41199998	HONÓRIO BICALHO - MONTANTE	1550	30,428	14,038	12,748	10,866	76,988	40,189
41250000	VESPASIANO	708	7,648	2,161	1,790	1,264	31,010	13,638
41260000	PINHÕES	3730	62,282	24,964	21,622	17,311	176,676	87,379
41300000	TAQUARAÇU	618	9,097	2,432	1,966	1,366	27,678	12,912
41340000	PONTE RAUL SOARES	4860	70,961	27,307	24,127	19,970	225,918	109,691
41380000	PONTE PRETA	563	6,814	1,522	1,310	0,875	23,323	9,909

Figura 7 - Tabela das estações fluviométricas Fonte: IGAM (2012), p. 126.

3.1.4) Regionalização de vazões para a bacia do rio das Velhas - SF5

I. Vazão Média de longa duração – Q_{md}

Analisando os valores do coeficiente de determinação, do erro padrão e da amplitude de resíduos evidenciou-se que a variável explicativa que possibilitou o melhor ajuste estatístico foi a **precipitação equivalente total (P_{eq})**.

O modelo potencial apresentou os melhores ajustes estatísticos e a equação obtida foi:

$$Q_{md} = 0,307604860305774 P_{eq}^{0,997174342939632}$$



O valor do Coeficiente de Escoamento - CE de imposição foi de 0,39524, porém não houve necessidade de imposição deste, pois o CE ao longo de todos os trechos da hidrografia foi menor que o valor imposto como restrição.

II. Vazão Mínima de 7 dias de duração e período de retorno de 10 anos – $Q_{7,10}$

Analisando os valores do coeficiente de determinação, do erro padrão e da amplitude de resíduos evidenciou-se que a variável explicativa que possibilitou o melhor ajuste estatístico foi a **precipitação equivalente menos a inércia hídrica de 750 mm (P_{eq750})**.

O modelo potencial apresentou os melhores ajustes estatísticos e a equação obtida foi:

$$Q_{7,10} = 0,0555669210531267 P_{eq750}^{1,16500862320019}$$

O valor de $Q_{7,10}$ específica de imposição foi de 0,00701 e não houve necessidade de imposição desta, pois a $Q_{7,10}$ específica ao longo de todos os trechos da hidrografia foi menor que o valor imposto como restrição.

III. Vazão mínima associada a uma permanência de 95%

Analisando os valores do coeficiente de determinação, do erro padrão e da amplitude de resíduos evidenciou-se que a variável explicativa que possibilitou o melhor ajuste estatístico foi a **precipitação equivalente menos a inércia hídrica de 750 mm (P_{eq750})**.

O modelo potencial apresentou os melhores ajustes estatísticos e a equação obtida foi:

$$Q_{95} = 0,0984218716224848 P_{eq750}^{1,11157758041233}$$

O valor de Q_{95} específica de imposição foi de 0,00822 e não houve necessidade de imposição desta, pois a Q_{95} específica ao longo de todos os trechos da hidrografia foi menor que o valor imposto como restrição.

IV. Vazão mínima associada a uma permanência de 90%



Analisando os valores do coeficiente de determinação, do erro padrão e da amplitude de resíduos evidenciou-se que a variável explicativa que possibilitou o melhor ajuste estatístico foi a **precipitação equivalente menos a inércia hídrica de 750 mm (P_{eq750})**.

O modelo potencial apresentou os melhores ajustes estatísticos e a equação obtida foi:

$$Q_{90} = 0,125686691205892 P_{eq750}^{1,09191485748321}$$

O valor de Q_{90} específica de imposição foi de 0,00905 e não houve necessidade de imposição deste, pois a Q_{90} específica ao longo de todos os trechos da hidrografia foi menor que o valor imposto como restrição.

3.2) Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais (SOUZA , 1993)

No estado de Minas Gerais, para estimar a $Q_{7,10}$ e a Q_{mld} , um dos métodos desenvolvidos e recomendado, até 2012, pelo IGAM, segundo o Manual de Outorga (IGAM, 2010), consiste em utilizar o trabalho Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais (SOUZA, 1993), o qual foi desenvolvido pela empresa HIDROSISTEMAS – Engenharia de Recursos Hídricos Ltda., com o apoio da COPASA.

O referido estudo representa uma primeira abordagem sistematizada sobre os recursos hídricos superficiais, em uma abrangência estadual, possibilitando estimar as vazões superficiais médias e extremas para qualquer ponto do por Estado de Minas Gerais, bem como estimar o potencial de regularização dos cursos d'água por meio de reservatórios.

O método proposto por Souza (1993) utiliza mapas temáticos das tipologias regionais homogêneas e do rendimento hídrico específico médio mensal (referente às contribuições unitárias mínimas com 10 anos de recorrência) para quantificar a $Q_{7,10}$.

Para estimar as vazões de interesse na bacia do Rio das Velhas, utilizando-se esse método, é necessário digitalizar os mapas temáticos das tipologias regionais homogêneas (Figura 7) e do rendimento específico médio mensal, referente às contribuições unitárias mínimas com 10 anos de recorrência (Figura 8).

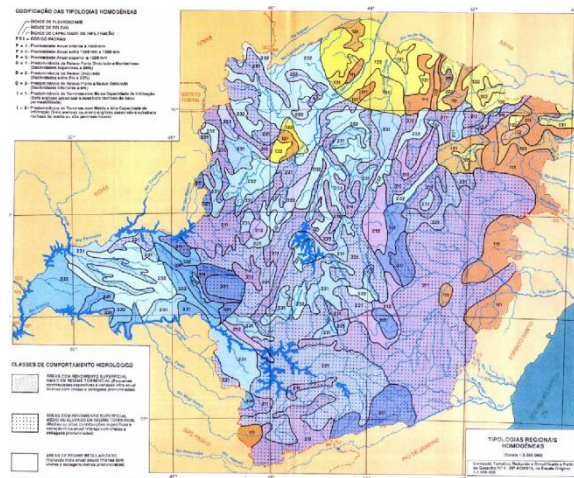


Figura 7 - Mapa das tipologias regionais homogêneas do estado de Minas Gerais. Fonte: Souza (1993)

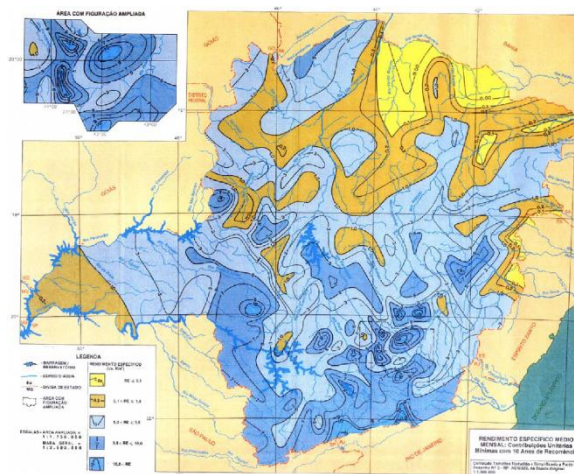


Figura 8 - Mapa do rendimento específico médio mensal, referente às contribuições unitárias mínimas com 10 anos de recorrência no estado de Minas Gerais. Fonte: Souza (1993)

Como este estudo permite estimar variáveis hidrológicas na forma de rendimentos específicos médios mensais e período de retorno de 10 anos, para estimar a vazão $Q_{7,10}$ foi necessário obter o rendimento característico equivalente ($Re_{m,10}$) da área de contribuição de cada estação fluviométrica. Esse trabalho foi previamente realizado por Silva (2015), tendo disponibilizado um arquivo em formato *raster*, referente ao $Re_{m,10}$ na bacia do Rio das Velhas.

Dessa forma, a conversão do $Re_{m,10}$ na respectiva vazão característica, relativa à seção fluvial de interesse, foi efetuada com a equação:

$$Q_{m,10} = 0,001 \cdot Re_{m,10} \cdot A_d$$



em que:

$Q_{m,10}$ = vazão mínima de duração mensal e recorrência de 10 anos (m^3/s);

Ad = área de drenagem a montante do ponto de interesse (km^2).

Tendo em vista que as funções de inferência apresentam formas diferenciadas para cada uma das tipologias regionais homogêneas (Figura 7), determinou-se a tipologia homogênea dominante da área de contribuição de cada seção, sobrepondo-se a área de drenagem da seção no mapa de tipologias homogêneas.

Desse modo, a $Q_{7,10}$ para cada seção de interesse pode ser obtida pela Equação:

$$Q_{7,10} = F_{7,10} \cdot Q_{m,10}$$

em que:

$F_{7,10}$ = fator de proporção fornecido pela função de inferência regionalizada, obtida pela tipologia homogênea.

Os valores de $F_{7,10}$ a serem utilizados na bacia do Rio das Velhas também foram previamente obtidos no trabalho realizado por Silva (2015), tendo disponibilizado também um arquivo em formato *raster*, referente ao $F_{7,10}$ na bacia.

3.2.1) Análise Crítica do Método dos Deflúvios Superficiais

O método supracitado, baseado no estudo de deflúvios mensais, deve ser utilizado com cautela, pois existe na literatura relatos de erros expressivos. Por exemplo, Moreira e Silva (2014) realizaram um estudo comparativo entre a $Q_{7,10}$ medida na bacia do Rio Paraopeba e a $Q_{7,10}$ estimada utilizando diversos métodos de regionalização. Os referidos autores constataram que o estudo dos deflúvios apresentou os piores resultados, sendo que a sua utilização pode comprometer a gestão e planejamento de recursos hídricos da região estudada, devendo, por este motivo, ser avaliada a substituição por outro método mais eficiente de regionalização.



Moreira e Silva (2014), bem como outros autores, verificaram que os métodos dos deflúvios tende a superestimar a $Q_{7,10}$, acarretando erros expressivos nos valores de vazão passíveis de serem outorgados.

Esses resultados relatados na literatura indicam que os níveis de incertezas e erros envolvidos no referido método são expressivos, podendo vir a comprometer a instalação de empreendimentos que utilizam água em seus processos produtivos, além da possibilidade de gerar conflitos referentes ao uso da água.

3.3) Regionalização de vazões pelo Método da Interpolação Linear

O Método de Interpolação Linear, proposto por ELETROBRAS (1985), parte do princípio de que a vazão mínima na seção de interesse (neste caso, a $Q_{7,10}$), pode ser estimada por uma relação de proporcionalidade entre as vazões e as áreas de drenagem dos postos fluviométricos mais próximos, tendo como base a vazão específica.

Este método não exige a divisão da área de estudo em regiões homogêneas, podendo ser aplicado em seções de rios de uma mesma bacia hidrográfica, desde que possuam estações com séries históricas de vazão. O cálculo deve ser considerado válido somente se as áreas de drenagem dos locais de interesse não forem excessivamente diferentes. ELETROBRAS (1985) recomenda que esta metodologia deve aplicada somente quando a diferença das áreas de drenagem das duas seções analisadas é inferior a três vezes uma em relação a outra.

Sendo assim, para as ottobacias dos cursos d'água que possuem estações fluviométricas na bacia do Rio das Velhas, a $Q_{7,10}$ pode ser estimada a partir de vazões de referência já medidas, dependendo da posição relativa do ponto de interesse em relação a esses postos. Os postos fluviométricos de referência utilizados são os mesmos selecionados para a elaboração do Plano Diretor de Recursos Hídricos do Rio das Velhas (PDRH, 2015), apresentado no quadro seguinte.

Código	Nome	Ad (km ²)	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)	Curso d'água
41180000	Itabirito - Linígrafo	315	2,09	Rio Itabirito
41780002	Presidente Juscelino - Jusante	3980	8,33	Rio Paraúna
41685000	Ponte do Picão	820	0,08	Ribeirão do Picão
41199998	Honório Bicalho - Montante	1550	9,58	Rio das Velhas
41260000	Pinhões	3730	15,87	Rio das Velhas
41250000	Vespasiano	708	1,41	Ribeirão da Mata
41300000	Taquaraçu	618	1,55	Rio Taquaraçu

41340000	Ponte Raul Soares	4860	19,29	Rio das Velhas
41380000	Ponte Preta	563	0,98	Rio Jaboticatubas
41440005	Represa - Jusante	238	0,45	Ribeirão Jequitibá
41410000	Jequitiba	7080	23,03	Rio das Velhas
41600000	Pirapama	8050	26,21	Rio das Velhas
41650002	Ponte do Licínio - Jusante	10700	29,47	Rio das Velhas
41818000	Santo Hipólito (ANA/CEMIG)	16600	38,74	Rio das Velhas
41940000	Ponte do Bicudo	2080	0,1	Rio Bicudo
41890000	Estação de Curimatai	1420	1,01	Rio Curimataí
41990000	Várzea da Palma	26500	45,97	Rio das Velhas

Este método apresenta quatro casos diferentes, dependendo da localização do ponto de interesse em relação aos pontos de vazão conhecida (estações fluviométricas).

Casos 1 e 2: ponto de interesse localizado a montante (caso 1) ou a jusante (caso 2) de um ponto com vazão conhecida (estação fluviométrica).

Utilizando o método da razão de áreas de drenagem, pode-se calcular a vazão mínima de referência, em um ponto de vazão desconhecida (Q_y), dentro da área de influência de um ponto de vazão conhecida (Q_x). Quanto maior a proximidade dos pontos, maior a robustez do resultado (CHAVES et al., 2002).

Uma ilustração dos casos 1 e 2 é apresentada na Figura 8.

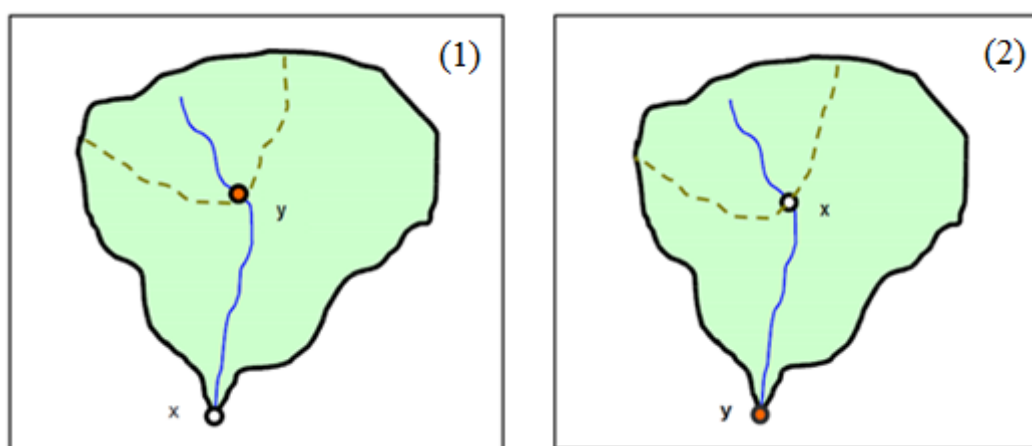


Figura 8 - Estimativa da vazão em um ponto y a montante (1) ou a jusante (2) de um posto fluviométrico com vazão conhecida x, em uma bacia hipotética. Fonte: Chaves et al. (2002).

Desta forma, estando o ponto de interesse a montante (caso 1) ou a jusante (caso 2) da estação fluviométrica, a vazão deve ser estimada pela equação:

$$Q_y = \frac{A_y}{A_x} Q_x$$

Em que:

Q_y = vazão na seção de interesse, m^3/s ;

Q_x = vazão em uma estação fluviométrica, m^3/s ;

A_x e A_y = áreas de drenagem dos pontos x e y , respectivamente, km^2 .

Caso 3: ponto de interesse localizado entre dois pontos de vazão conhecida.

Se o ponto de interesse z estiver localizado entre duas estações fluviométricas, x e y , com vazão de referência conhecida (Figura 9-3), a vazão de referência incógnita (Q_z) deve ser estimada por:

$$Q_z = Q_x + \left(\frac{A_z - A_x}{A_y - A_x} \right) (Q_y - Q_x)$$

Em que:

Q_z = vazão na seção de interesse, m^3/s ;

Q_x e Q_y = vazão no posto de montante (x) ou de jusante (y), m^3/s ;

A_x e A_y = áreas de drenagem dos postos x e y , respectivamente, km^2 ;

A_z = área de drenagem do ponto de interesse z , km^2 .

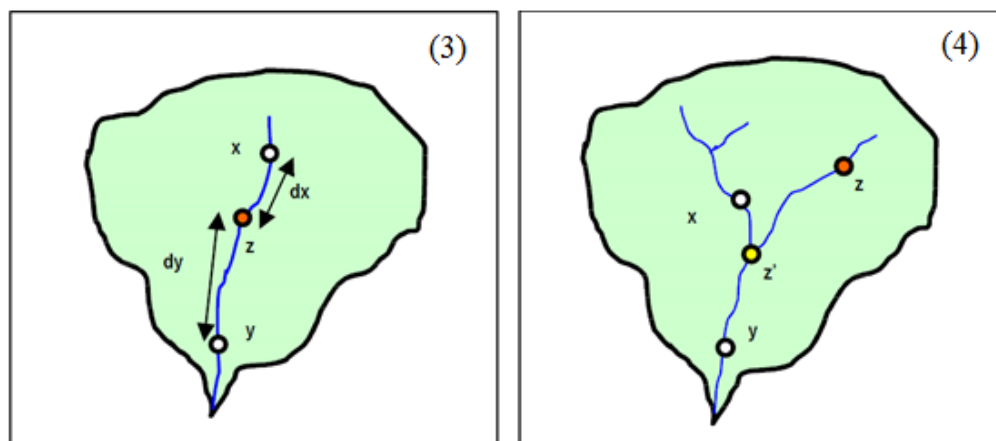


Figura 9 - Estimativa de vazão em um ponto z situado entre dois pontos (x e y) com vazão conhecida (Caso 3) e em um ponto z situado em um canal afluente, cuja foz está localizada entre dois postos de vazão conhecida (x e y) em um canal de ordem superior (Caso 4)

Caso 4: ponto de interesse localizado em um afluente cuja foz localiza-se entre dois postos fluviométricos de um rio de ordem superior (Figura 9-4).



Neste caso, deve-se aplicar uma combinação das situações anteriores. Primeiramente, calcula-se o Caso 3 entre os postos x e y para encontrar a vazão no ponto de confluência. Em seguida, aplica-se o procedimento referente ao Caso 1.

Para a bacia do Rio das Velhas, foram considerados apenas os casos de 1 a 3. No banco de dados do plug-in Módulo SAO existe uma informação de entrada única referente às vazões $Q_{7,10}$ das ottobacias. Para as ottobacias dos cursos d'água que possuem estações fluviométricas, os valores das duas colunas de vazão foram substituídos pelos valores estimados pela metodologia de Interpolação Linear (ELETROBRÁS, 1985).

Na Figura 11 são apresentados os cursos d'água nos quais esta substituição foi feita e o seu enquadramento nos três casos considerados, além das estações fluviométricas usadas como referência.

O arquivo *shapfile* possui, ainda, uma coluna com os valores de vazão estimados pelo método de Regionalização de Vazões (IGAM 2012) e outra coluna com os valores estimados pelo método dos Deflúvios (SOUZA, 1993).

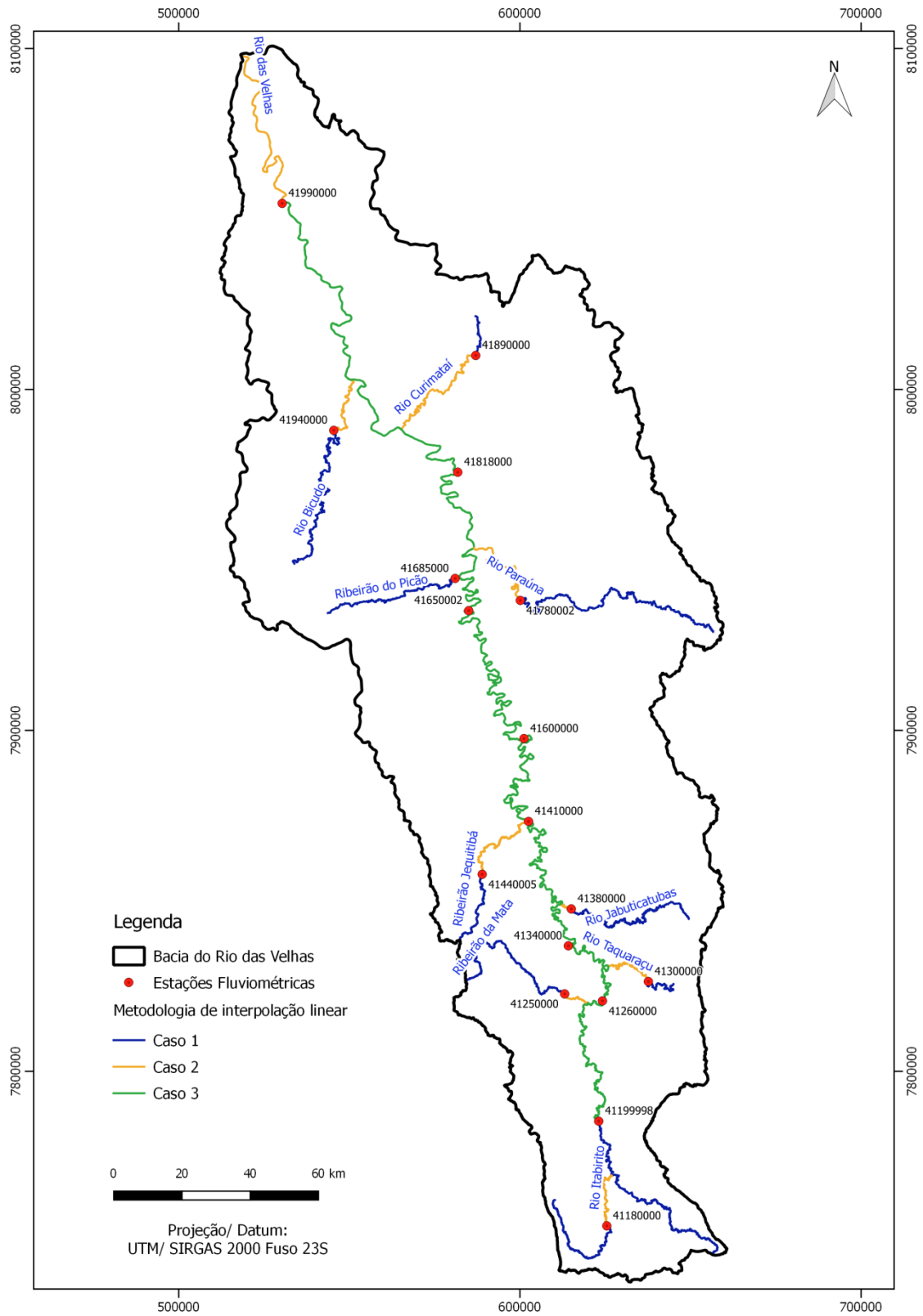


Figura 11 - Estações fluviométricas localizadas nos cursos d'água da bacia do Rio das Velhas.



3.4) Atributo de Vazão

A operação de análise hídrica por atributo de vazão é uma forma de generalizar e não definir nenhuma metodologia para análise. Essa funcionalidade tem como objetivo realizar análises hídricas de outras metodologias, desde que a camada de ottobacia tenha um de seus atributos a vazão de referência calculado independentemente da metodologia.

A vazão de referência pode ter sido obtida através de outras metodologias, através de estudos de microclima, ou qualquer outro estudo relacionado à modelagem de dados produzindo como resultado a vazão de uma ottobacia, seja essa vazão medida ou calculada.

As vazões concedidas serão obtidas a montante e jusante da ottobacia do ponto analisado.

3.5) Análise de pareceres técnicos

Com objetivo de verificar a consistência dos resultados gerados pelo Módulo SAO (plug-in), testes foram realizados em quatro Ottobacias contidas na bacia hidrográfica do Rio das Velhas, tomando como base pareceres técnicos (Quadro 1) referentes a análises de processos de outorga realizadas pelo IGAM (MG). Esses pareceres técnicos foram elaborados pelo IGAM utilizando o método dos Deflúvios Superficiais (SOUSA, 1993) ou pelo método de interpolação pelas áreas de drenagem, a partir da vazão monitorada na estação fluviométrica (Vespasiano - cód. 41250000) para determinar a $Q_{7,10}$. Assim, o Módulo SAO foi utilizado para estimar a $Q_{7,10}$ nas mesmas bacias, para comparação e avaliação dos resultados.

Quadro 1 – Dados de pareceres técnicos referentes a análises de processos de outorga realizadas pelo IGAM, MG. $Q_{7,10}$ obtida pelo método dos deflúvios ou pela interpolação de dados monitorados da estação fluviométrica.

Parecer	Processo	Curso d'água	Coord. UTM / SAD-69		Área de drenagem (km ²)	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)
			E (m)	N (m)		
1	13362/2011	Ribeirão das Tabocas	581.361	7.868.356	97,25	0,521
2	17168/2011	Córrego do Britos	617.489	7.799.93	2,23	0,010
3	58/1993	Córrego dos Pintos	581.401	7.864.298	4,22	0,022
4	12.781/2009	Ribeirão da Mata	613.749	7.821.662	700,50	1,660



No banco de dados utilizado pelo Módulo SAO, as coordenadas estão projetadas no Datum SIRGAS-2000. Portanto, as coordenadas contidas no Quadro 1 (SAD-69) foram transformadas para SIRGAS-2000 e, em seguida, o plug-in foi utilizado no programa QGIS para determinar a $Q_{7,10}$ em todas as bacias, pelo método dos Deflúvios Superficiais (SOUSA, 1993), também, pelo método da regionalização de vazões (IGAM, 2012) e pela interpolação de dados obtidos pelo monitoramento da estação fluviométrica (Vespasiano - cód. 41250000). No Quadro 2 são apresentados os resultados gerados pelo plug-in Módulo SAO.

Quadro 2 – Resultados gerados utilizando o plug-in Módulo SAO.

Parecer	Curso d'água	UTM / SIRGAS-2000		Área de drenagem (km ²)	Q _{7,10} (m ³ /s)	
		E (m)	N (m)		Deflúvios	IGAM (2012)
1	Ribeirão das Tabocas	581.316	7.868.311	92,82	0,441	0,099
2	Córrego do Britos	617.443	7.799.895	2,63	0,012	0,002
3	Córrego dos Pintos	581.356	7.864.254	5,93	0,027	0,004
4	Ribeirão da Mata	613.703	7.821.617	702,62	3,066	1,023

Analisando-se os resultados, percebem-se algumas diferenças entre as áreas de drenagem das bacias dos pareceres técnicos e do banco de dados do Módulo SAO. Essas diferenças de áreas são provavelmente resultantes de diferentes métodos e, ou, diferentes bases cartográficas, utilizados para delimitar as bacias. Consequentemente, como as áreas são relativamente diferentes, as vazões estimadas também serão diferentes, embora sejam esperados resultados próximos.

Conforme esperado, os valores de $Q_{7,10}$ calculados pelo plug-in, pelo método dos deflúvios, foram próximos daqueles contidos nos pareceres técnicos, indicando que o plug-in está gerando resultados coerentes.

Apenas no parecer técnico nº 4 houve uma divergência nos resultados. Nesse caso, para essa bacia, consta no banco de dados do plug-in um rendimento específico ($Re_{m,10}$) de 4,74 L/s.km², enquanto no parecer técnico o rendimento específico informado foi de 2,37 L/s.km². Essa divergência de informação foi o provável motivo das $Q_{7,10}$ estimativas terem sido diferentes (1,660 e 3,066 m³/s). O fator de proporção



($F_{7,10}$) utilizado no parecer técnico não foi informado. No banco de dados utilizado pelo plug-in, o valor de $F_{7,10}$ utilizado foi 0,92. Ressalta-se que essa divergência de informação não representa uma falha do plug-in. Trata-se apenas de uma divergência de informação de banco de dados, sendo que a conferência (e correção, se necessário) dessa informação no banco de dados é suficiente para que a vazão seja determinada corretamente.

No Quadro 2 são apresentados também os valores de $Q_{7,10}$ determinados pelo plug-in, de forma coerente, utilizando o método da regionalização de vazões (IGAM, 2012). Observa-se que todos os valores de $Q_{7,10}$ determinados por este método foram inferiores aos determinados pelo método dos deflúvios superficiais. Ressalta-se que a regionalização de vazões (IGAM, 2012) é o método atualmente recomendado e utilizado pelo IGAM no estado de Minas Gerais.

A partir dos testes realizados, em comparação com os valores contidos em pareceres técnicos do IGAM, pode-se concluir que o plug-in Módulo SAO está funcionando corretamente, possibilitando a determinação coerente da $Q_{7,10}$ na bacia hidrográfica do Rio das Velhas, desde que suprido com um banco de dados hidrológicos consistente.



4) Módulo SAO – Cadastro de Outorgas

O cadastro das outorgas do módulo SAO contém o cadastro atualizado das outorgas para a Bacia do Rio das Velhas, tendo a carga inicial do cadastro acontecido da seguinte forma:

1. Importação das portarias, arquivos em Microsoft Word, contendo as atualizações (concessões, retificações e cancelamentos) das outorgas desde 2001 até 2017
 - a. Separação dos textos do que é uma concessão ou renovação de uma portaria, dos textos de retificação e cancelamentos.

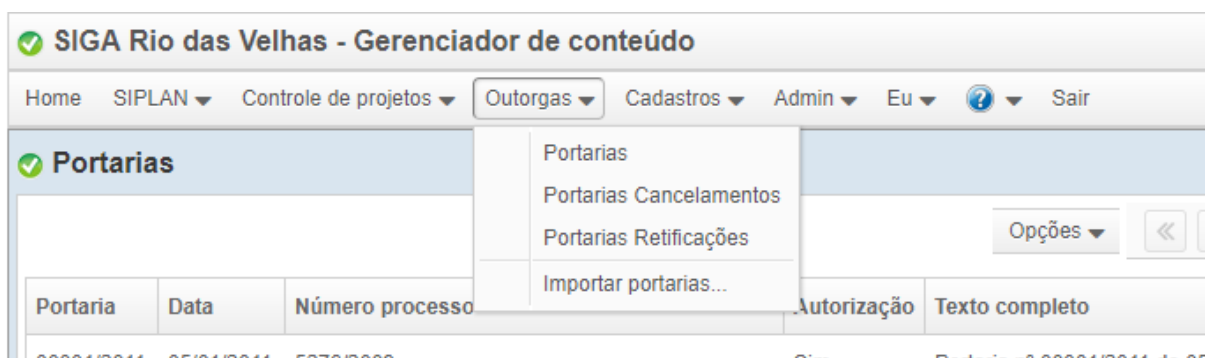


Figura 10 – Menu de opções do Cadastro de Outorgas

4.1) Concessão e Renovação

Foi criada uma estratégia para a realização da atualização das portarias, o menu de operações sobre as portarias tem uma funcionalidade de upload e processamento dos arquivos.

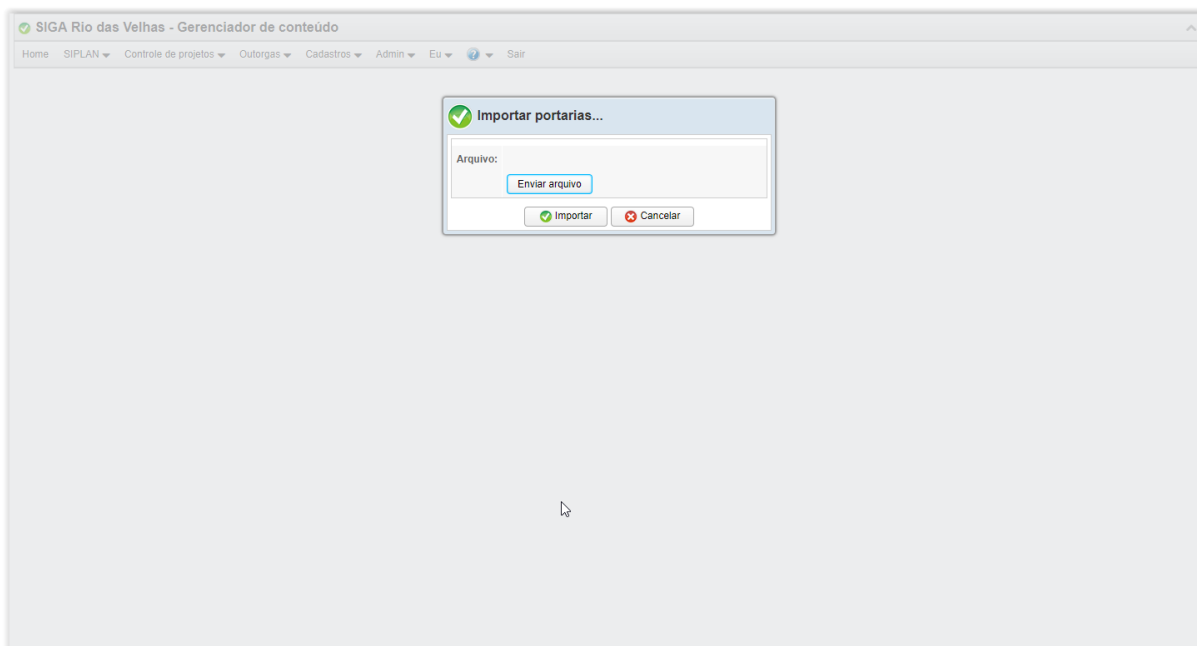


Figura 11 – Página de importação das portarias

O importador tratará todo o conteúdo do texto das portarias, colocando uma observação quando não for possível tratar o texto. Além disso, será possível realizar a gestão manual das informações ou até mesmo uma correção em algum dado discutível na importação. As retificações e cancelamentos são tratadas de outra forma, indicando se as mesmas foram analisadas e processadas.

Portaria	Data	Número processo	Autorização	Texto completo
00001/2011	05/01/2011	5276/2009	Sim	Portaria nº 00001/2011 de 05/01/2011. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc.05276/2009. Outorgante/Autorizante: Instituto Mineiro de Gest
00001/2012	02/01/2012	4870/2009	Sim	Portaria nº 00001/2012 de 02/01/2012. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc.04870/2009. Outorgante/Autorizante: Instituto Mineiro de Ges
00003/2012	02/01/2012	6062/2009	Sim	Portaria nº 00003/2012 de 02/01/2012. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc.06062/2009. Outorgante/Autorizante: Instituto Mineiro de Ges
00003/2013	07/01/2013	9527/2010 - Renovação da Portaria nº 01378/2005	Sim	Portaria nº 00003/2013 de 07/01/2013. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc.09527/2010 - Renovação da Portaria nº 01378/2005. Outorga
00003/2017	03/01/2017	16312/2015	Sim	Portaria nº 00003/2017 de 03/01/2017. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc. 16312/2015. Outorgante/Autorizante: Superintendente Regio
00004/2009	05/01/2009	4493/2008	Sim	Portaria nº 00004/2009 de 05/01/2009. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc.04493/2008. Outorgante/Autorizante: Instituto Mineiro de Ges
00004/2013	07/01/2013	6717/2010 - Renovação da Portaria 01201/2005	Sim	Portaria nº 00004/2013 de 07/01/2013. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc.06717/2010 - Renovação da Portaria 01201/2005. Outorgante
00004/2017	03/01/2017	10731/2013	Sim	Portaria nº 00004/2017 de 03/01/2017. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc. 10731/2013. Outorgante/Autorizante: Superintendente Regio
00005/2010	04/01/2010	0324/2007	Sim	Portaria nº 00005/2010 de 04/01/2010. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc.00324/2007. Outorgante/Autorizante: Instituto Mineiro de Ges
00005/2012	02/01/2012	8347/2009	Sim	Portaria nº 00005/2012 de 02/01/2012. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc.08347/2009. Outorgante/Autorizante: Instituto Mineiro de Ges
00005/2013	07/01/2013	6142/2009	Sim	Portaria nº 00005/2013 de 07/01/2013. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc.16142/2009. Outorgante/Autorizante: Instituto Mineiro de Ges
00005/2014	13/01/2014	7738/2011	Sim	Portaria nº 00005/2014 de 13/01/2014. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc.17738/2011. Outorgante/Autorizante: Superintendente de Reç
00006/2009	05/01/2009	9221/2008	Sim	Portaria nº 00006/2009 de 05/01/2009. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc.09221/2008. Outorgante/Autorizante: Instituto Mineiro de Ges
00006/2012	02/01/2012	8348/2009	Sim	Portaria nº 00006/2012 de 02/01/2012. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc.08348/2009. Outorgante/Autorizante: Instituto Mineiro de Ges
00006/2013	07/01/2013	6143/2009	Sim	Portaria nº 00006/2013 de 07/01/2013. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc.16143/2009. Outorgante/Autorizante: Instituto Mineiro de Ges
00006/2014	13/01/2014	4556/2011	Sim	Portaria nº 00006/2014 de 13/01/2014. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc.14556/2011. Outorgante/Autorizante: Superintendente de Reç
00007/2009	05/01/2009	9222/2008	Sim	Portaria nº 00007/2009 de 05/01/2009. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc.09222/2008. Outorgante/Autorizante: Instituto Mineiro de Ges
00007/2013	07/01/2013	6140/2009	Sim	Portaria nº 00007/2013 de 07/01/2013. Autorização de direito de uso de águas públicas estaduais. Prc.08140/2009. Outorgante/Autorizante: Instituto Mineiro de Ges

Figura 12 – Página do Cadastro das Outorgas



Portaria	Data	Número processo
00001/2012	02/01/2012	4870/2009
00003/2012	02/01/2012	6062/2009
00003/2012	03/01/2017	16312/2015
00004/2017	03/01/2017	10731/2013
00005/2012	02/01/2012	8347/2009
00006/2012	02/01/2012	8348/2009
00007/2012	02/01/2012	8349/2009
00008/2012	02/01/2012	2873/2010
00029/2012	02/01/2012	0445/2010 - Renovação da Po
00030/2012	02/01/2012	0446/2010 - Renovação da Po
00033/2012	03/01/2012	1000/2011
00035/2012	03/01/2012	7557/2011
00036/2012	03/01/2012	3204/2010 - Renovação da Po

Figura 13 – Página com os dados de uma portaria

Após a realização da importação de todos os arquivos foram cadastradas 4.192 (quatro mil cento e noventa e duas) portarias. Os textos de concessão de portarias, apesar de não terem um padrão específico, foi passível tratamento e de realização da leitura dos mesmos.

Apenas as portarias correspondentes ao Rio das Velhas são importadas.

4.2) Cancelamento

Analisado	Portaria Cancelamento
Não	Obs: Todas as captações são realizadas durante 25 dias por mês, 21 horas por dia
Não	148799 1344 148799 143999 148799 143999 148799 148799 143999 148799 143999 148799
Não	53568 48384 53568 51840 53568 51840 53568 53568 51840 53568 51840 53568
Não	Anula-se o cancelamento da portaria nº 00924/2014 publicado dia 10/11/2015. Outorgado: Minerações Brasileiras Reunidas S.A. - CNPJ: 33.417.445/0014-98 - a qual fica convalidada a Portaria nº 00924, publicada dia 29/05/2014 - Município: Itabira
Não	Cancela-se a Portaria de nº 703 publicada em 24/03/2004. Outorgado: Fazenda de Lazer Canto da Siriema Ltda. Município: Jaboticatubas.
Não	Cancela-se a pedido da Requerente o processo nº 00576 de 13/02/2006. Cooperativa Central dos Produtores Rurais de Minas Gerais LTDA - CNPJ: 17.249.111/0012-91 - Poço Tubular - Município: Sete Lagoas - MG.
Não	Cancela-se a pedido da Requerente o processo nº 00577 de 13/02/2006. Cooperativa Central dos Produtores Rurais de Minas Gerais LTDA - CNPJ: 17.249.111/0012-91 - Poço Tubular - Município: Sete Lagoas - MG.
Não	Cancela-se a pedido da Requerente o processo nº 00578 de 13/02/2006. Cooperativa Central dos Produtores Rurais de Minas Gerais LTDA - CNPJ: 17.249.111/0012-91 - Poço Tubular - Município: Sete Lagoas - MG.
Não	Cancela-se a pedido da Requerente o processo nº 04716 de 16/08/2006. Perobas Ltda - CNPJ: 25.935.040/0001-56 - Curso d'água: Ribeirão das Areias - Município: São José da Lapa - MG.
Não	Cancela-se à pedido da requerente, outorgas concedidas a Granja Resende S/A, através da Portaria 344/99, publicada em 23.10.99, de coordenadas geográficas de Lat. 18°56'02" e Long. 48°23'45" com vazão de 72 m³/h; Lat. 19°19'53" e Long. 47
Não	Cancela-se a pedido da Requerente. Processo de nº 06068/2006 - Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA - MG. CNPJ: 17.281.106/0001-03 -Município:Vespasiano- MG.
Não	Cancela-se a pedido do empreendedor a portaria nº 01436 de 13/05/2011. Outorgado: Iveco Latin América Ltda. CNPJ: 01.844.555/0005-06. Curso d'água: Poço Tubular. Município: Sete Lagoas - MG.
Não	Cancela-se a pedido do empreendedor o processo nº 016031 do dia 24/10/2011. Requerente: Bull Pneus Ltda - CNPJ: 07.025.371/0001-77. Curso d'água: Perfuração de Poço tubular. Município: Sete Lagoas - MG.
Não	Cancela-se a pedido do requerente a portaria nº 00096 de 15/01/2009. Outorgado: City Car Veículos Serviços e Mineração Ltda. CNPJ: 65.287.782/0001-28. Curso d'água: Córrego Boa Vista. Município: Taquaraçu de Minas - MG.
Não	Cancela-se a pedido do Requerente a portaria nº 00467 publicada dia 12/02/2010. Outorgado: Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA-MG - CNPJ: 17.281.106/0001-03- Curso d'água: Poço Tubular - Município: Vespasiano - MG.
Não	Cancela-se a pedido do Requerente a portaria nº 00972 publicada dia 26/10/2002. Outorgada: Vale S/A - CNPJ: 33.592.183/0001-54 - Curso d'água: Poço Tubular - Município: Santa Luzia - MG.
Não	Cancela-se a pedido do Requerente a portaria nº 01330 publicada dia 05/05/2011. Outorgada: Mineração Pedro Leopoldo Ltda - CNPJ: 04.007.986/0005-06 - Curso d'água: Poço Tubular - Motivo: Encerramento das atividades e recuperação da ár
Não	Cancela-se a pedido do Requerente a portaria nº 01331 publicada dia 05/05/2011. Outorgada: Mineração Pedro Leopoldo Ltda - CNPJ: 04.007.986/0005-06 - Curso d'água: Poço Tubular - Motivo: Encerramento das atividades e recuperação da ár

Figura 14 – Página de Cancelamentos



Apenas os cancelamentos correspondentes ao Rio das Velhas são importados.

4.3) Retificação

Analisado	Portaria Retificação
Não	Portaria 695/2002. Publicada em 02.08.2002. Outorgado: Companhia Vale do Rio Doce - CVRD.- Mina de Gongo Soco. Onde se lê: Vazão Outorgada (m3/h): 250, leia-se: Vazão Outorgada (m3/h): 600 com tempo de bombeamento de 24 horas/dia.
Não	Portaria 708/04 publicada em 24.03.2004. Outorgado: FMC Química do Brasil Ltda. Onde se lê: vazão liberada: 6,0m3/h, leia-se: vazão liberada: 15 m3/h.
Não	Portaria 709/04 publicada em 24.03.2004. Outorgado: FMC Química do Brasil Ltda. Onde se lê: vazão liberada: 4,0m3/h, leia-se: vazão liberada: 4,5 m3/h.
Não	Portaria 710.2001 de 29.09.01. Outorgada: COPASA-MG. Município: Água Boa. Esta Portaria revoga a outorga concedida através da Portaria 60/93 de 01.09.93, do sistema de abastecimento de Água Boa, em virtude da mudança do ponto de capt
Não	Portaria 714/2002 publicada em 13/08/2002. Outorgada: COPASA-MG. Município de Brumadinho. Onde se lê: Ponto de Captação: Lat. 20°10'16,2"S e Long. 44°14'17,1"W, leia-se: Ponto de Captação: Lat. 20°10'7,1" S e Long. 44°12'9,8"W
Não	Portaria 739/2001 de 05.10.01. Outorgado: COPASA-MG. Onde se lê Prazo: 05 (cinco) anos, leia-se Prazo: 20 (vinte) anos.
Não	Portaria 740/2001 de 05.10.01. Outorgado: COPASA -MG. Onde se lê Prazo: 05 (cinco) anos, leia-se Prazo: 20 (vinte) anos.
Não	Portaria 771/1999 de 20/02/1999. Onde se lê Outorgada: SEMENTES AGROCERES S/A. CNPJ nº 56.783.681/0009-13, leia-se Outorgada: MONSANTO DO BRASIL LTDA. CNPJ nº 64.858.525/0078-24
Não	Portaria 818/2003 publicado em 31.07.2003. Outorgado: Laginha Agroindustrial S/A - Filial Usina Vale do Paranaíba. Onde se lê Vazão Autorizada: 50,0 l/s, leia-se Vazão Autorizada: 140,0 l/s, e cumprimento das seguintes condicionantes: Monito
Não	Portaria 915/2001 publicada dia 22/11/01. Onde se lê: Outorgado: Joaquim dos Anjos Marques. CPF: 027.184.218-00 e finalidade: irrigação. Leia-se: Jamplastic Industria e Comercio Ltda - EPP, CNPJ: 25.936.576/0004-32 e finalidade de irrigação
Não	Portaria 920/2002 de 05.10.2002 Outorgada: Mineração Engenho Ltda. Onde se lê: Curso d'água: ribeirão Engenho, leia-se: Curso d'água: ribeirão Vermelho.
Não	Portaria 934/2004, publicada em 08/04/2004. Outorgado: Ivo Rodrigues. Onde se lê: Prazo: 05 anos, leia-se: Prazo: Até dezembro de 2006. Incluindo a seguinte condicionante;
Não	Portaria 989/2004, publicada em 17.04.2004. Outorgado: Mina do Itacolomy Ltda. Inclusão de Condicionante: Monitoramento diário da vazão a jusante do barramento, manutenção de vazão mínima igual a 100% da Q7.10 (0,017m3/s) e envio dos d
Não	Portaria cancelada de nº 1402 publicada dia 21/11/2003. Outorgado: Ivani Bolina CPF: 024.806.206-97. sendo substituída pela portaria de nº 3300/2004.
Não	Portaria cancelada nº 488 de 27/05/2003. Outorgado: Clóvis Eustáquio Amaral, sendo substituída pela portaria de nº 3178.
Não	Portaria de nº 1682/2004 publicada dia 09/06/2004. Onde se lê: Requerente: São Marco Indústria e Comércio Ltda. CNPJ nº 54.022.744/0001-36, Leia-se: requerente São Marco Indústria e Comércio Ltda. CNPJ nº 54.022.744/0001-36 e São Marco Inc
Não	Portaria de nº 058 publicada dia 21/07/1993 - Requerente: COPASA / MG. Onde se lê: Vazão outorga 20 l/s e coordenadas geográficas de Latitude 22°46'00" e Longitude 46°14'00". Leia-se: Vazão outorga 24 l/s e coordenadas geográficas de Latit
Não	Portaria de nº 685 publicada dia 01/09/2003. Requerente: Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA-MG. Onde se lê: Vazão outorgada 7,0 l/s. Leia-se: Vazão outorgada 30,0 l/s.

Figura 15 – Página de Retificações

Apenas as retificações correspondentes ao Rio das Velhas são importadas.

4.4) Shapefile

Além disso, a gestão das outorgas tem uma funcionalidade de exportação dos dados para shapefile, de forma que os dados geográficos das outorgas sempre poderão estar atualizados.

A funcionalidade de exportação para shapefile exporta o filtro realizado no cadastro das portarias. Caso não haja filtro, tudo será exportado. Mas caso seja realizado o filtro de concessões superficiais apenas as superficiais serão exportadas.

Apenas concessões filtradas serão exportadas.



SIGA Rio das Velhas - Gerenciador de conteúdo

Home SIPLAN Controle de projetos Outorgas Cadastros Admin Eu Sair

Portarias

Opções << < 1 / 140 > >>

Portaria	Data	Número processo	Autorização	Texto completo
00001/2011	05/01/2011	5276/2009	Sim	Portaria nº 00001/2011 de 05/01/2011. Autorização de direito de uso de água
00001/2012	02/01/2012	4870/2009	Sim	Portaria nº 00001/2012 de 02/01/2012. Autorização de direito de uso de água
00003/2012	02/01/2012	6062/2009	Sim	Portaria nº 00003/2012 de 02/01/2012. Autorização de direito de uso de água
00003/2013	07/01/2013	9527/2010 - Renovação d		Portaria nº 00003/2013 de 07/01/2013. Autorização de direito de uso de água
00003/2017	03/01/2017	16312/2015		Portaria nº 00003/2017 de 03/01/2017. Autorização de direito de uso de água
00004/2009	05/01/2009	4493/2008		Portaria nº 00004/2009 de 05/01/2009. Autorização de direito de uso de água
00004/2013	07/01/2013	6717/2010 - Renovação d		Portaria nº 00004/2013 de 07/01/2013. Autorização de direito de uso de água
00004/2017	03/01/2017	10731/2013		Portaria nº 00004/2017 de 03/01/2017. Autorização de direito de uso de água
00005/2010	04/01/2010	0324/2007		Portaria nº 00005/2010 de 04/01/2010. Autorização de direito de uso de água
00005/2012	02/01/2012	8347/2009		Portaria nº 00005/2012 de 02/01/2012. Autorização de direito de uso de água
00005/2013	07/01/2013	6142/2009		Portaria nº 00005/2013 de 07/01/2013. Autorização de direito de uso de água
00005/2014	13/01/2014	7738/2011		Portaria nº 00005/2014 de 13/01/2014. Autorização de direito de uso de água
00006/2009	05/01/2009	9221/2008	Sim	Portaria nº 00006/2009 de 05/01/2009. Autorização de direito de uso de água
00006/2012	02/01/2012	8348/2009	Sim	Portaria nº 00006/2012 de 02/01/2012. Autorização de direito de uso de água

Figura 16 – Exportação para Shapefile

Referências

CHAVES, H. M. L. et al. Regionalização de vazões mínimas através de interpolação em Sistemas de Informação Geográfica. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, n. 3, p. 43-51, 2002.

ELETROBRAS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A. Manual de mini centrais hidrelétricas. Rio de Janeiro, 1985. p. 46-48.

IGAM (2012). Estudo de regionalização de vazão para o aprimoramento do Processo de outorga no Estado de Minas Gerais. 1. ed. Belo Horizonte.



MOREIRA, M. C.; Silva, D. D. Análise de métodos para estimativa das vazões da bacia do Rio Paraopeba. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.19 n.2, p. 313-324, 2014.

PDRH - Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, 2015. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas. Belo Horizonte, 2015.

SOUZA, S. M. T. (Coord.) *Deflúvios superficiais no Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: COPASA : HIDROSISTEMAS, 1993.

SILVA, D. L. L. *Análise e quantificação das outorgas e dos cadastros de uso insignificante da água na região do Alto Rio das Velhas*. Monografia apresentada na Universidade Federal de Minas Gerais, referente ao Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, 2015.



ANEXO



Análise da metodologia de Regionalização de Vazões

INTRODUÇÃO

Na sequência do desenvolvimento do Módulo SAO pela K2 Sistemas, foi avaliada a análise da metodologia de Regionalização de Vazões para o Rio das Velhas.

Esta avaliação foi realizada pelo Prof. Sidney Sara Zanetti da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) para análise pela AGB, Comitê, IGAM e demais órgãos envolvidos na gestão dos recursos hídricos, para análise e discussões sobre sua eventual implantação no Plug-in, com vistas a aprimorar o processo.

Esse estudo, apresentado como sugestão, deve ser discutido e avaliado sobre benefícios e conveniência de sua implantação, pela AGB Peixe Vivo, em etapa posterior.

CARACTERÍSTICAS

O estudo de regionalização de vazões realizado para Minas Gerais (IGAM, 2012) apresenta diversas equações de regressão ajustadas para estimar vazões de referência (Q_{mld} , $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90}) nas diversas bacias do estado. Especificamente, na UPGRH – SF5 (bacia do Rio das Velhas), foram utilizados os dados abaixo para ajustar as referidas equações.



Tabela 50 – Códigos e nomes das estações fluviométricas utilizadas no estudo e valores das variáveis dependentes e independentes associadas a estas estações situadas na UPGRH – SF5

Estação	Nome da estação	Área (km ²)	Qmld (m ³ /s)	Q90 (m ³ /s)	Q95 (m ³ /s)	Q7,10 (m ³ /s)	Peq (m ³ /s)	Peq750 (m ³ /s)
41410000	JEQUITIBA	7080	92,886	33,060	28,946	23,307	316,318	147,642
41440005	REPRESA - JUSANTE	238	3,010	1,138	0,976	0,705	10,053	4,388
41600000	PIRAPAMA	8050	107,720	38,675	33,142	26,816	353,919	162,222
41650002	PONTE DO LICÍNIO - JUSANTE	10700	134,714	47,485	42,294	32,334	452,032	198,198
41818000	SANTO HIPÓLITO (ANA/CEMIG)	16600	194,142	55,709	49,692	37,841	682,847	286,775
41890000	ESTAÇÃO DE CURIMATAI	1420	17,500	1,495	1,238	0,869	50,913	16,978
41940000	PONTE DO BICUDO	2080	18,674	1,011	0,657	0,163	76,994	27,502
41990000	VÂRZEA DA PALMA	26500	298,647	66,337	57,875	41,379	1040,731	409,392
41199998	HONÓRIO BICALHO - MONTANTE	1550	30,428	14,038	12,748	10,866	76,988	40,189
41250000	VESPASIANO	708	7,648	2,161	1,790	1,264	31,010	13,638
41260000	PINHÕES	3730	62,282	24,964	21,622	17,311	176,676	87,379
41300000	TAQUARAÇU	618	9,097	2,432	1,966	1,366	27,678	12,912
41340000	PONTE RAUL SOARES	4860	70,961	27,307	24,127	19,970	225,918	109,691
41380000	PONTE PRETA	563	6,814	1,522	1,310	0,875	23,323	9,909

Figura 17 - Tabela das estações fluviométricas Fonte: IGAM (2012), p. 126.

Tomando como exemplo a $Q_{7,10}$, e utilizando os dados da tabela acima, a equação apresentada por IGAM (2012) (pág. 129, Eq. 42) está apresentada na figura abaixo (Equação 1). Pode-se observar que essa equação não representa adequadamente a tendência dos dados.

Tal equação se refere a um modelo de regressão não-linear (potencial), ajustada de forma aproximada, por meio de linearização com aplicação de logaritmo (Ln), conforme exposto abaixo.

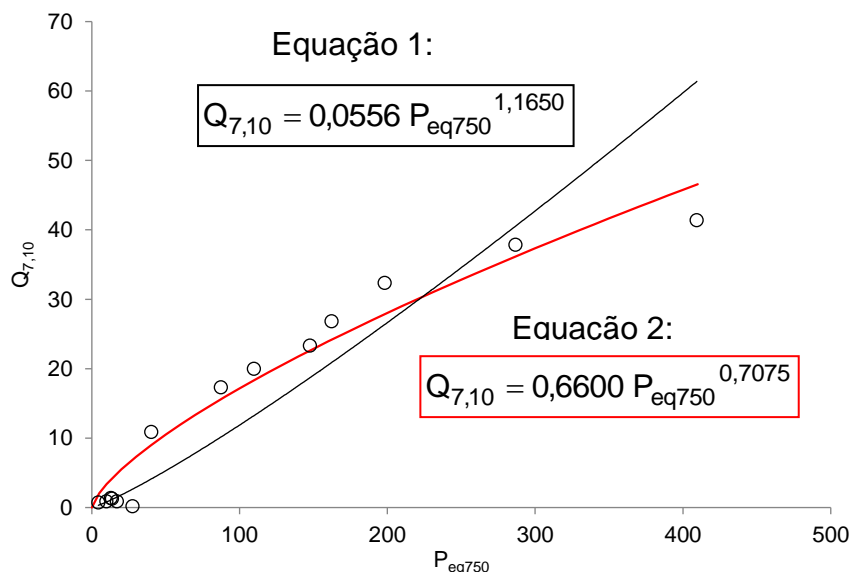


Figura 18 - Gráfico da regressão $Q_{7,10}$

Modelo de regressão potencial: $y = a x^b$ (Equação 3)

Linearização aplicando logaritmo: $\ln(y) = \ln(a) + b \ln(x)$ (Equação 4)

Essa equação linearizada representa uma equação de regressão linear simples ($y_o = a_o + b_o x_o$), sendo ajustada pelo método dos mínimos quadrados, obtendo-se os valores de a_o e b_o , considerando $y_o = \ln(y)$, $a_o = \ln(a)$, e $x_o = \ln(x)$, conforme exposto abaixo:

$$\ln(y) = \ln(a) + b \ln(x)$$

$$y_o = a_o + b_o x_o$$

A partir dessa equação de regressão linear simples ajustada, os parâmetros (a e b) da Equação 3 foram obtidos, sendo $a = \exp(a_o)$ e $b = b_o$ (RMSE = 25,46 m³/s). Dessa forma, foi obtida a Equação 1 apresentada por IGAM (2012), a qual, como já informado, não representa adequadamente a tendência dos dados, pelo fato de ter sido ajustada de forma aproximada, conforme descrito.



Como a equação de regressão potencial (Equação 3) se refere a um modelo de regressão não-linear, esta deve ser ajustada utilizando o **método dos mínimos quadrados não lineares**, o qual não possui solução analítica. Portanto, o ajuste dessa regressão não-linear deve ser realizado utilizando um método numérico iterativo, com utilização do método de Gauss-Newton ou Gauss-Newton modificado. Além do modelo de regressão potencial, todos os demais modelos de regressão não-linear devem ser ajustados dessa forma.

Logo, aplicando o método dos mínimos quadrados não lineares, obteve-se a Equação 2 apresentada na figura acima, a qual representa adequadamente a tendência dos dados (linha vermelha), com $R^2 = 0,9557$ e $RMSE = 12,27 \text{ m}^3/\text{s}$.

Portanto, a partir do exposto, propõe-se a alteração da equação de regionalização da $Q_{7,10}$ na bacia do Rio das Velhas, substituindo-se a Equação 1 (Eq. 42, pág. 129) pela Equação 2.

Considerando o valor de $Q_{7,10}$ específica de imposição de 0,00701, há necessidade de imposição deste na estação 41440005 (Represa – Jusante), pois a $Q_{7,10}$ estimada específica foi maior (0,00790) que o valor imposto como restrição.

Ressalta-se que as demais equações apresentadas em IGAM (2012) para a bacia do Rio das Velhas, para estimar a Q_{mld} , Q_{95} , e Q_{90} , apresentam o mesmo tipo de problema de ajuste estatístico, necessitando ser novamente ajustadas utilizando o método dos mínimos quadrados não lineares. Seguem abaixo as novas equações ajustadas:

$$Q_{mld} = 0,4106 P_{eq}^{0,9473} \quad \text{Substitui a Eq. 41, pág. 127}$$

$$Q_{95} = 0,6624 P_{eq750}^{0,7570} \quad \text{Substitui a Eq. 43, pág. 131}$$

$$Q_{90} = 0,7590 P_{eq750}^{0,7558} \quad \text{Substitui a Eq. 44, pág. 133}$$

Considerando o valor de Q_{mld} específica de imposição de 0,39524, não há necessidade de imposição deste nas estações, pois a Q_{mld} estimada específica foi menor que o valor imposto como restrição.



Considerando o valor de Q_{95} específica de imposição de 0,00822, há necessidade de imposição deste na estação 41440005 (Represa – Jusante), pois a Q_{95} estimada específica foi maior (0,00853) que o valor imposto como restrição.

Da mesma forma, considerando o valor de Q_{90} específica de imposição de 0,00905, há necessidade de imposição deste na estação 41440005 (Represa – Jusante), pois a Q_{90} estimada específica foi maior (0,00975) que o valor imposto como restrição.

Acredita-se que o mesmo problema também esteja ocorrendo em todas as equações de regressão não-linear ajustadas apresentadas em IGAM (2012) para o estado de Minas Gerais.

Especificamente na UPGRH – SF5 (bacia do Rio das Velhas), ao analisar o gráfico acima, foi identificado, ainda, um comportamento atípico dos pontos referentes às seis menores $Q_{7,10}$ (valores menores que $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$), comportamento esse que pode ser melhor visualizado no gráfico abaixo, correspondente às estações 41940000, 41440005, 41890000, 41380000, 41250000 e 41300000. Esse comportamento atípico também ocorre para a Q_{95} e Q_{90} .

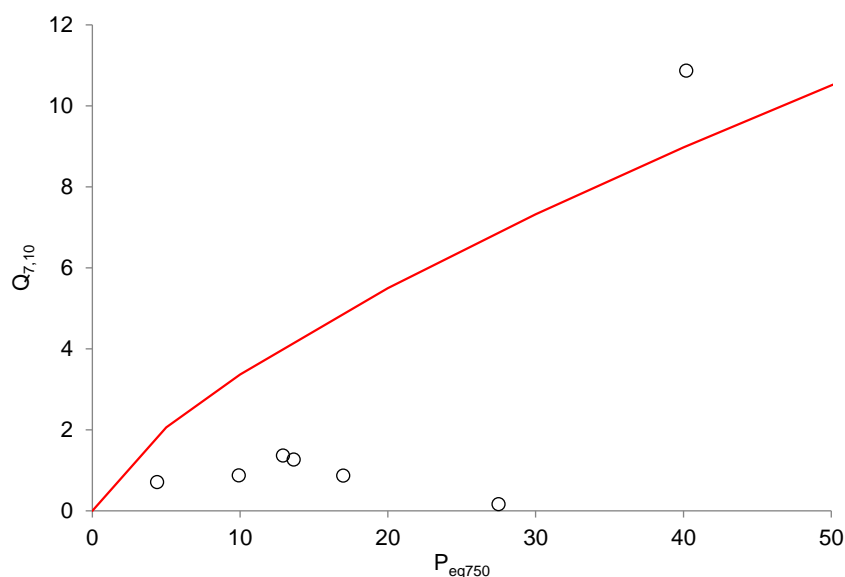


Figura 19 - Gráfico de regressão da $Q_{7,10}$, ressaltando as menores bacias

Esses pontos com comportamento atípico se referem às estações com as menores áreas de drenagem ($\leq 2080 \text{ km}^2$), onde as equações de regionalização de vazões



($Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90}) não representam bem as vazões observadas, tendendo a superestimá-las, com exceção da estação 41440005 (indicada no gráfico), cuja tendência está relativamente bem representada pela nova equação de regionalização proposta para a $Q_{7,10}$ (linha vermelha do gráfico, Equação 2).

Sabe-se que um dos maiores problemas da regionalização de vazões no Brasil se refere à extrapolação das equações em bacias menores, onde geralmente existe carência de dados medidos de vazão. Neste caso, o comportamento atípico identificado representa um agravante das incertezas relacionadas à extrapolação das equações de regionalização para as menores bacias do Rio das Velhas. Na prática, devido a essas incertezas, considera-se que não existe segurança suficiente nas vazões mínimas estimadas para a concessão de outorgas, não sendo possível, portanto, assegurar a disponibilidade das vazões assim outorgadas para os diversos empreendimentos que necessitam da utilização da água em seus processos produtivos.

Para minimizar essas incertezas, novos estudos mais aprofundados são necessários nessa região do Rio das Velhas, sobretudo com investimento em monitoramento da vazão em pequenas bacias, visando ampliar a base de dados primários a serem utilizados em novos estudos, visando uma melhor compreensão dos processos hidrológicos nessas bacias menores.