

Vazões de referência para gestão de bacias hidrográficas rurais e urbanas sem monitoramento

Reference streamflow values for the management of unmonitored rural and urban watersheds

Submetido: 07-04-15

Revisão: 29-05-15

Aprovado: 23-06-15

Luis Hamilton Pospissil Garbossa
Adilson Pinheiro

RESUMO: Nas diversas etapas da estimativa de vazões de referência em bacias hidrográficas são geradas incertezas, as quais podem produzir efeitos sobre a gestão de recursos hídricos. Neste contexto, este trabalho avaliou as incertezas nas estimativas das vazões de referência para as bacias situadas no entorno da baía da Ilha de Santa Catarina, a partir de medições pontuais de vazão e do estudo de regionalização de vazões. Medições de vazões foram realizadas em 26 bacias, cujas áreas de drenagem variam entre 0,91 e 532 km². A medição de vazão realizada no mês de janeiro de 2013 representa frequência de 95,36% na curva de permanência mensal e 93,57% na curva de permanência anual. Desvios entre as vazões estimadas pela equação de regionalização e àquelas medidas nas bacias foram elevados, apresentando o valor máximo de 397%. Vazões associadas a infiltração de águas residuárias e de abastecimento em bacias urbanizadas constituem-se importante elemento na incerteza da estimativa de vazões. A minimização das incertezas pode ser obtida com o desenvolvimento de monitoramento fluviométrico adequado para pequenas bacias hidrográficas.

PALAVRAS-CHAVE: gestão de recursos hídricos, incerteza, infiltração, regionalização de vazão.

ABSTRACT: Uncertainty is generated at all stages of the streamflow reference value estimation and it may affect water resources management. This paper evaluates the uncertainties in the streamflow estimation for watersheds surrounding the Santa Catarina Island Bay. This was done based on punctual measurements and the existing streamflow regionalization study. Streamflow measurements were performed in 26 watersheds with a drainage area varying from 0.91 to 532 km². The streamflow measurement performed in January 2013 corresponds to a frequency of 95.36% in the monthly duration curve and 93.57% in the annual duration curve. Major deviations were identified comparing the estimated streamflow values from the regionalization curve to those measured in the watersheds, with maximum values of 397%. The infiltration from wastewater discharges and the water supply loss to the drainage network are important elements influencing the uncertainties in flow estimation. To minimize uncertainty, small watersheds should be continuously monitored in association with adequate methodologies for those drainage areas.

KEYWORDS: water resources management, infiltration, uncertainty, streamflow regionalization.

INTRODUÇÃO

A aplicação dos instrumentos constantes na Política Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos superficiais requer o conhecimento de valores das vazões de referências nas seções fluviométricas nas quais é realizado o uso múltiplo das águas (ANA, 2013; SARMENTO, 2007). A outorga requer o conhecimento da disponibilidade hídrica, baseada nas vazões mínimas ou regularizadas (JORGE SANTOS; CUNHA, 2013). O enquadramento dos

corpos hídricos deve ser realizado para a condição de vazão mínima obtida com a curva de permanência ou com vazões médias mínimas para diferentes durações (ZUCCO et al., 2012).

Séries temporais contínuas de vazões são utilizadas para estabelecimento dos valores de referências nas seções fluviométricas nas quais se tem monitoramento. No entanto, o monitoramento contínuo, principalmente de pequenas bacias, pode se tornar inviável devido aos custos e estrutura associados. Assim, a obtenção de valores de vazão de referência em bacias

não monitoradas tem sido determinada de três maneiras principais: métodos empíricos, modelos estatísticos e modelos chuva-vazão (WMO, 2008). Um dos métodos mais empregados consiste na regionalização de vazões, onde dados pontuais são especializados, tendo-se por base características físicas ou geomorfológicas homogêneas (TUCCI, 2000). Contudo, essas estimativas podem resultar em erros importantes em bacias de pequeno porte sem histórico de monitoramento (SOARES et al., 2010). Hrachowitz et al. (2013) destacam a importância do aprimoramento na compreensão dos processos envolvidos permitindo o desenvolvimento de técnicas sofisticadas de regionalização de vazão em bacias não monitoradas.

O Estado de Santa Catarina dispõe de estudo de regionalização de vazões das bacias hidrográficas estaduais (SANTA CATARINA, 2006). O estudo apresenta a regionalização de vazões com diferentes permanências e vazões médias mínimas para diferentes durações e períodos de retorno, visando à estimativa da disponibilidade hídrica em seções fluviométricas de interesse. A regionalização foi desenvolvida a partir das séries históricas diárias da rede nacional de monitoramento hidrológico da ANA (Agência Nacional de Águas), disponíveis no sistema Hidroweb (<http://hidroweb.ana.gov.br>), cujas áreas de drenagem das bacias monitoradas variam de centenas a milhares de quilômetros quadrados. Os estudos de regionalização hidrológica não devem ser aplicados fora dos limites estabelecidos pelas equações regionais e, principalmente, para as bacias hidrográficas com pequenas áreas de drenagem (SILVEIRA; TUCCI, 1998).

As características físicas e geomorfológicas e, o uso e ocupação do solo apresentam forte influência nos processos hidrológicos produzidos nas bacias hidrográficas (JARSJÖ et al., 2012; MAO; CHERKAUER, 2009). Bacias com uso urbano apresentam escoamentos superficiais superiores às aquelas com uso natural, tendo como consequência a redução da recarga dos lençóis freáticos. O armazenamento de água no solo alimenta os corpos hídricos em períodos de estiagem, onde a condição de extremo mínimo apresenta interesse para a gestão de recursos hídricos. A homogeneidade e o tempo resposta são aspectos importantes para bacias com pequenas áreas de drenagem, sobretudo em regiões urbanas, onde os cursos de águas são utilizados para despejos de efluentes líquidos. Neste contexto, a incerteza da estimativa das vazões mínimas pode constituir fator extremamente importante nos valores a serem adotados. Soares et al. (2010) obtiveram desvios nas vazões

de permanência observada em relação aquelas obtidas através da regionalização variando entre 0,7 e 94,1%.

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar os desvios entre a estimativa das vazões de referência para as bacias de pequeno porte situadas no entorno da Ilha de Santa Catarina, a partir de medições pontuais de vazão e do estudo de regionalização de vazões.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo compreende bacias que deságuam nas Baías da Ilha de Santa Catarina (BISC). As bacias estão localizadas nos municípios de Florianópolis, Águas Mornas, Santo Amaro da Imperatriz, São Pedro de Alcântara, Palhoça, São José, Biguaçu e Governador Celso Ramos. A área total de drenagem para a BISC corresponde a 1.875 km². As bacias estudadas somam área de drenagem a montante dos pontos de medição de vazão de 825 km² e apenas uma das bacias, a do rio Cubatão do Sul (ETA CASAN montante, código 84150100, área de drenagem de 532 km²) dispõe de monitoramento contínuo a mais de 12 anos. Na bacia do rio Cubatão do Sul existe a estação fluviométrica Poço Fundo (código 84100000, área de drenagem de 425 km²), com registro de vazão medida a mais de 60 anos. Ela foi utilizada no estudo de regionalização de vazões realizado por Santa Catarina (2006). A área de estudo está apresentada na Figura 1 sendo composta de 26 bacias, cujas áreas de drenagem variam entre 0,91 e 532,49 km².

Para cada bacia foi determinada a taxa de urbanização, através de classificação supervisionada, dados do IBGE e imagens aerofotogramétricas (SDS, 2013), a partir da transformação dos arquivos de imagem para arquivos shape(.shp). Nas bacias as taxas de ocupação urbana variam entre 0 e 99 % de sua área de drenagem. Com as taxas de urbanização, as bacias foram divididas em bacias de baixa densidade urbana (BBD), onde as taxas de urbanização são inferiores a 50 % e, alta densidade urbana (BAD), com taxas superiores a 50 % a montante do local de medição de descarga líquida.

Medição de vazão

A seleção da localização dos pontos de medição de vazão das bacias foi feita através da avaliação de mapas digitais e, posteriormente, com visitas a campo. As seções de medição de descarga líquida selecionadas deveriam estar livres da influência de maré. A influência da maré foi identificada através de

inspeções visuais da declividade, vegetação do entorno e medições de salinidade. Consequentemente, em áreas inadequadas, os locais de medição tiveram de ser realocados à montante.

Em cada bacia foram realizadas 4 medições de descarga líquida com o uso de micro molinete hidrométrico, com exceção do rio Cubatão, no qual foi usado molinete hidrométrico. As medições foram realizadas tanto em períodos com volumes de precipitação mais elevados como em períodos com menor volume de precipitação. As medições ocorreram nos meses de agosto e outubro de 2012 e janeiro e abril de 2013. Cadacampanha de medição de descarga líquida foi programada para ocorrer, preferencialmente, em períodos correspondentes aos ramos de recessão do hidrograma, buscando alcançar frequência de permanência elevada. A primeira medição foi realizada 18 dias após a ocorrência de altura de precipitação expressiva (cerca de 20 mm) com total de 8 mm no

decêndio anterior a campanha; A segunda teve 31 mm de precipitação 3 dias antes da medição com total de 33 mm no decêndio anterior a campanha. Previamente a terceira campanha ocorreubaixa precipitação nos 3 dias antecedentes (7mm) com um total de 39 mm para o decêndio. A quartacampanha apresentou precipitação de 79 mm no primeiro dia do decêndio, seguido por período sem registro de precipitação nos 9 dias seguintes, até a data da campanha.

Regionalização de vazões

A regionalização de vazão tem como premissa que a região hidrológica pode ser considerada homogênea quando suas características fisiográficas e hidrometeorológicas são similares. No estudo de Santa Catarina (2006) foram considerados os seguintes parâmetros hidrológicos: vazão, característica hidrometeorológica, total precipitado no ano, área de drenagem,

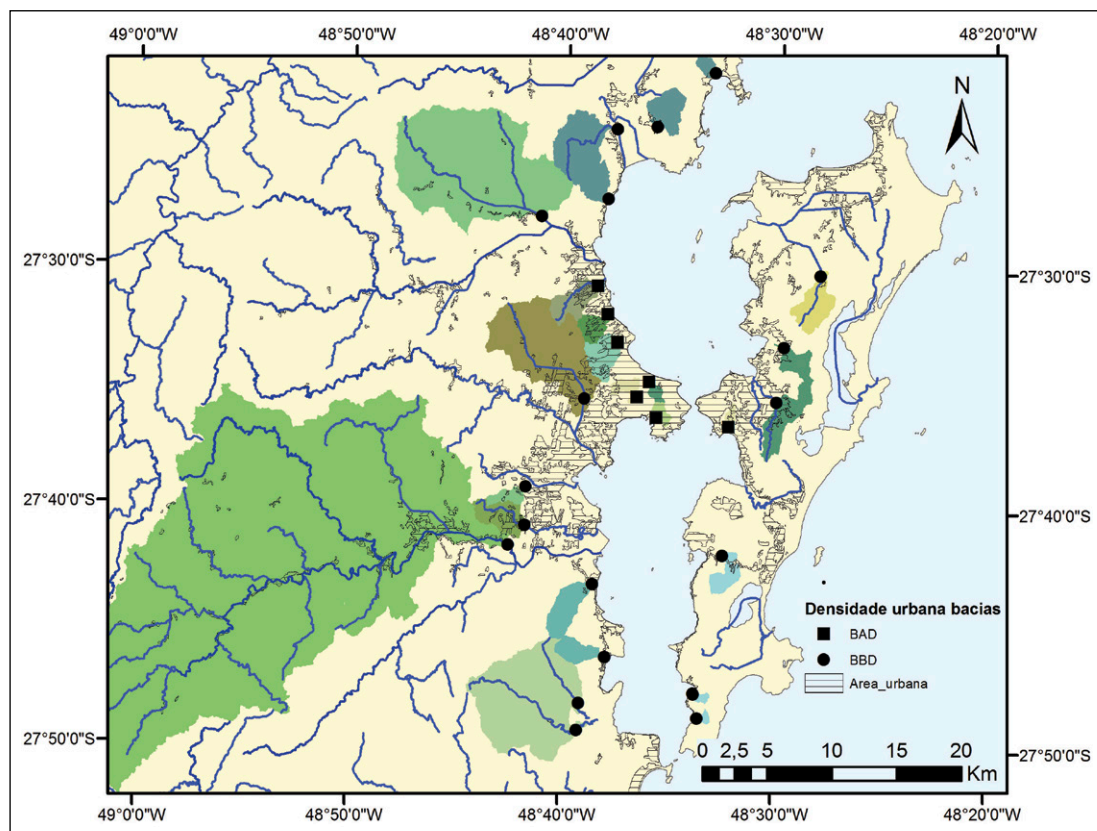


FIGURA 1. Área de drenagem, área urbana e locais de medição de vazão das bacias de contribuição para BISC.

comprimento do talvegue e declividade média até o posto fluviométrico. O estudo resultou em 5 regiões homogêneas, sendo que as bacias adjacentes as BISC pertencem a região M4. Para as vazões sazonais, o Estado foi dividido em 10 regiões homogêneas, sendo que a área deste estudo está integralmente abrangida pela região S9. O Estado foi subdividido em 13 regiões homogêneas para o cálculo das curvas de permanência, sendo que a área em estudo está integralmente abrangida pela área XI. Estas regiões podem ser identificadas nos mapas temáticos apresentados por Santa Catarina (2006).

O estudo de regionalização de vazões do estado de Santa Catarina apresenta as equações das regiões homogêneas para determinação do valor médio de longo período (Q_{MLT}), para a seção de controle. As bacias das baías da Ilha de Santa Catarina, pertencem a região homogênea M4, onde a Q_{MLT} é determinada pela expressão (SANTA CATARINA, 2006):

$$Q_{MLT} = 0,9393P^{0,362}AB^{0,092} \quad (1)$$

onde Q_{MLT} é a vazão específica média de longo termo ($L/s/km^2$), P é a precipitação anual média na bacia contribuinte (mm) e AB é a área de drenagem da bacia contribuinte (km^2).

A vazão com determinada frequência de permanência (F em %) é obtida pelo produto do valor médio de longo período pelo fator k_p apresentado na tabela 1.

TABELA 1
Fatores de determinação da vazão $QF\% = Q_{MLT} \cdot K_p$.

F (%)	Kp	F (%)	Kp
5	2,06	55	0,81
10	1,70	60	0,75
15	1,48	65	0,71
20	1,34	70	0,66
25	1,22	75	0,62
30	1,13	80	0,58
35	1,05	85	0,53
40	0,98	90	0,48
45	0,92	95	0,40
50	0,86	98	0,33

Fonte: Adaptado de Santa Catarina (2006)

A curva de permanência anual pode ser transformada de modo a obter-se a frequência mensal ($Q_{MLT-mês} = Q_{MLT} \cdot Km$). Os fatores de conversão (Km) para os meses de medição de vazão são os seguintes: janeiro 1,08, abril 0,95, agosto 0,85 e outubro 1,07. Para a região homogênea as curvas de permanência dos meses de janeiro e de outubro são similares.

As vazões com frequência de permanência elevada são produzidas pelo escoamento subterrâneo, devido a alimentação do aquífero freático. Nesta condição, os cursos de água de uma região homogênea possuem valores similares. Este princípio foi adotado para comparar as vazões medidas nas bacias hidrográficas e aquelas determinadas no estudo de regionalização.

A estação fluviométrica ETA-CasanMontantedo rio Cubatão do Sul que dispõe de uma série histórica de vazões diárias foi utilizada para determinação das frequências de permanência das vazões medidas. A partir dela foram determinadas as frequências de permanência das demais bacias.

Desvios entre as vazões específicas medidas e regionalizadas para cada bacia foram determinadas e sobre o conjunto de valores foram calculadas variáveis estatísticas. Além disto, são avaliados os valores em termos do grau de urbanização da bacia analisada. Os desvios foram expressos em termos percentuais por:

$$D_{\%} = \frac{Q_r - Q_{m-t}}{Q_r} 100 \quad (2)$$

onde Q_r é a vazão calculada com a equação de regionalização (eq. 1) e Q_{m-t} é a vazão medida, para cada instante de tempo t .

Estimativa de infiltração

Para as bacias hidrográficas BAD foram determinados os aportes devido a infiltração (água de abastecimento e esgoto sanitário) para períodos de estiagem, durante os quais há contribuição líquida afluente a rede de drenagem municipal.

A estimativa foi realizada considerando a população atendida por rede de abastecimento de água, baseado em informações populacionais obtidas a partir do site do IBGE (2012). O percentual da população atendida pela rede de esgoto foi determinado em função da área atendida com informações obtidas no site da Prefeitura Municipal de Florianópolis. Os dados de população, cobertura de rede de abastecimento de água e cobertura de rede coletora de esgoto foram espacializadas, organizadas em arquivos shape(.shp)

e sobrepostas. Através de classificação supervisionada foi realizada a quantificação da população atendida em cada bacia.

O cálculo para estimativa da vazão de infiltração (Q_{INF}) de água de abastecimento considerou que o consumo médio de água potável, sem perdas, é de 200 L.hab⁻¹.d⁻¹ (METCALF; EDDY, 2002). Ademais, segundo Berg e Danilenko (2011) a maior parte das companhias de abastecimento tem perdas reais médias na rede de abastecimento de água da ordem de 35%, valor que foi considerado como referência da perda real de água para o estudo.

Para o cálculo do aporte de esgoto foi considerado que 80% da água de abastecimento que chega nas unidades consumidoras retorna como esgoto para as redes coletoras (METCALF; EDDY, 2002). Durante períodos com precipitação, a ocorrência de infiltração de parcela de água pluvial para a rede de esgoto é comum na grande maioria dos sistemas de esgoto e quantificada em diversos trabalhos (TSUTIA; BUENO, 2004). Contudo, durante períodos sem precipitação ocorre o efeito inverso e os vazamentos da rede de esgoto sanitário passam a alimentar os aquíferos e os sistemas de drenagem urbana. A contribuição irregular de esgoto para rede de drenagem devido a ligações clandestinas e problemas de vazamento na rede coletora é extremamente variável para cada bacia e pouco quantificado.

Portanto, para efeito de cálculo nas regiões com cobertura de rede coletora de esgoto foi considerado que há perda semelhante à da rede de água, igual a 35%. Para a parcela de esgotona qual não há rede de esgoto foi considerado que o esgoto é tratado em sistemas de tratamento individuais e lançado no sistema de drenagem ou diretamente nos córregos da região com taxa de retorno de 80%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As medições realizadas no mês de janeiro de 2013 apresentaram as menores vazões, com total de 9.668 L.s⁻¹ para as 26 bacias, enquanto o maior valor ocorreu no mês de outubro de 2012, com total de 19.772 L.s⁻¹. Foi observada variação nas vazões medidas, com evoluções diferentes entre as bacias (Figura 2). Destacam-se as vazões obtidas nas bacias com área de drenagem de até 10 km².

A mediana das vazões específicas (Q_E) foi igual a 16,9 L.s⁻¹.km⁻² (média de 16,3 L.s⁻¹.km⁻² e desvio padrão de 8,2 L.s⁻¹.km⁻²) para as bacias com baixa densidade urbana e 32,7 L.s⁻¹.km⁻² (média de 30,5 L.s⁻¹.km⁻² e desvio padrão de 8,9 L.s⁻¹.km⁻²) para as bacias com alta densidade urbana.

Nas medições realizadas em janeiro de 2013, a mediana das vazões específicas nas bacias com baixa densidade urbana foi de 8,6 L.s⁻¹.km⁻² e o desvio

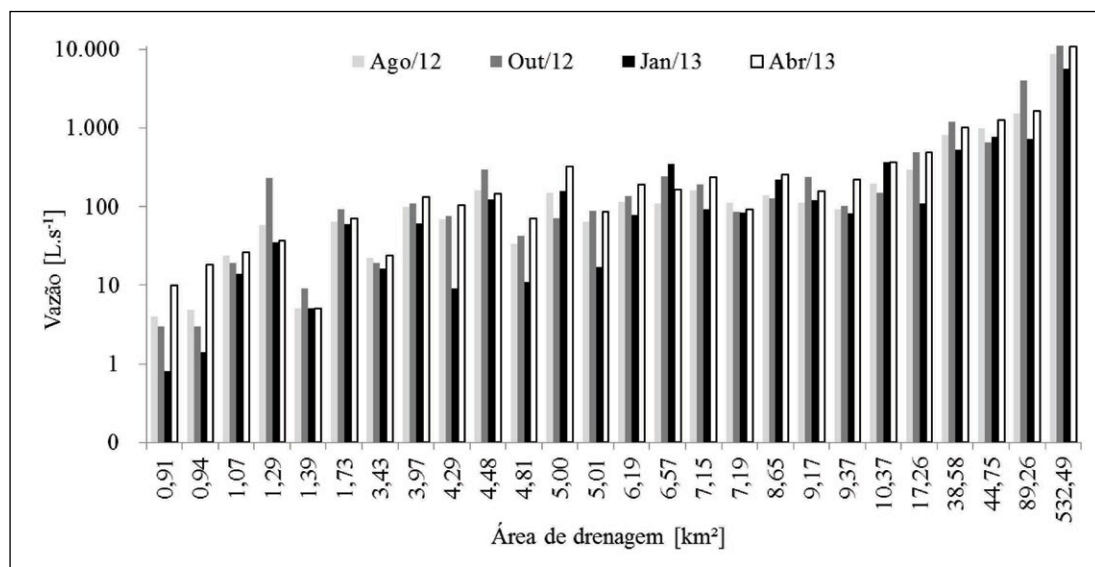


FIGURA 2. Vazões medidas nas bacias das baías da Ilha de Santa Catarina.

padrão de $10,0 \text{ L.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$. Nas bacias de alta densidade urbana os valores foram 27,1 e $14,4 \text{ L.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$, respectivamente.

A vazão média de longo termo (Q_{MLT}) calculada pela equação de regionalização para a estação fluviométrica ETA-CASAN Montante é igual a $25,08 \text{ L.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ enquanto que o valor observado é de $27,54 \text{ L.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$, representando uma diferença de 9,8%. As vazões observadas são mais elevadas para as frequências de permanência baixas, passando a serem iguais para frequência da ordem de 80% da curva anual construída para a Q_{MLT} . A partir desta frequência, elas são menores, sendo as diferenças ampliadas com o aumento da permanência (Figura 3). Diferenças entre as curvas de permanência observadas e regionalizadas também foram obtidas por Soares et al. (2010). O comportamento foi similar ao obtido nas bacias da BISC.

As vazões medidas na bacia do rio Cubatão do Sul foram analisadas quanto a sua frequência de permanência mensal e anual (Figura 3) em relação a curva regionalizada da bacia do rio Cubatão. A vazão medida em janeiro de 2013 possui a frequência de permanência de 95,36% na curva mensal e 93,57% na curva anual (Tabela 2). A vazão com frequência de permanência de 95% tem sido adotada como valor de referência para aplicação da outorga do direito de uso da água superficial (ANA, 2013, JORGE SANTOS; CUNHA, 2013) e para estabelecimento da condição de preservação e conservação ambiental do corpo de água através de métodos hidrológicos (SARMENTO, 2007).

TABELA 2
Frequência de permanência
das vazões específicas medidas

Mês	Q_E [$\text{L.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$]	Perm. mensal (%)	Perm.anual (%)
Ago/2012	16,20	59,18	71,77
Out/2012	20,96	57,39	52,40
Jan/2013	10,60	95,36	93,57
Abr/2013	20,01	52,00	56,00

A análise dos desvios considera todas as vazões medidas, com destaque para asérie mensal. Os desvios médios entre as vazões regionalizadas e as vazões medidas variaram entre -13e - 45 % (Figura 4). Ressalta-se que o sinal negativo representa que o valor médio é maior do que o valor obtido pela equação de regionalização. Isto demonstra que a regionalização subestimou as vazões escoadas, principalmente nas pequenas bacias urbanas. Resultado similar foi observado com a curva de permanência observada e estimada pelo estudo de regionalização para a estação de monitoramento fluviométrico, com área de drenagem de $532,49 \text{ km}^2$ para a frequência de 0 a 80%. Entretanto, para frequências de permanência elevadas a regionalização superestima as vazões escoadas nas grandes bacias com cobertura predominante vegetal.

Incertezas associadas aos equipamentos hidrométricos são encontradas na determinação das descargas

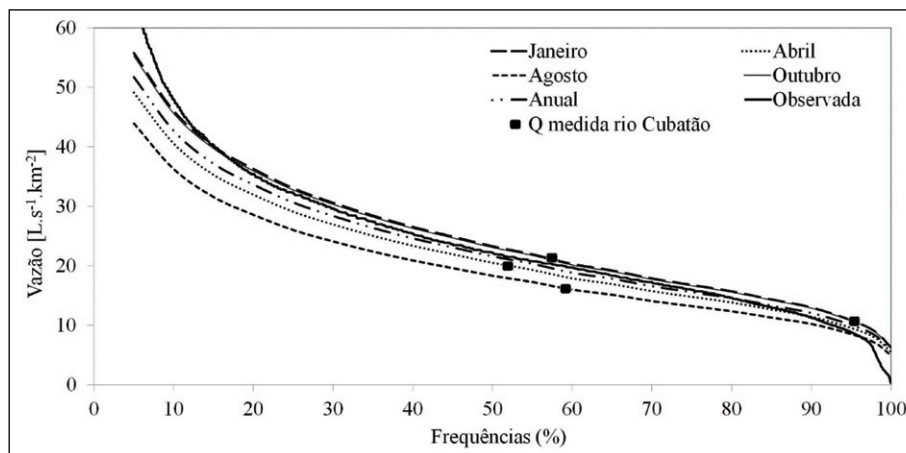


FIGURA 3.
Curvas de
permanência
de vazão
específica
para estação
fluviométrica da ETA
- CASAN
Montante.

líquidas tanto para vazões com reduzida quanto para elevada frequência de permanência. Os equipamentos apresentam grau de precisão estabelecido pelo fabricante e relacionado ao processo empregado na obtenção das curvas de calibração. Além disso, a integração dos pontos de velocidades medidas na seção transversal de escoamento gera incerteza em função do número de verticais usadas e em relação ao número de medições feitas em uma mesma vertical no canal (BACK, 2006).

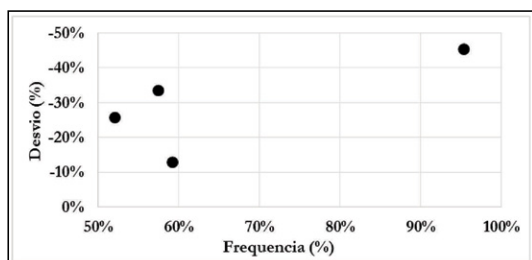


FIGURA 4. Desvio médio para as frequências das vazões medidas.

Lowe et al. (2009) avaliaram 14 estações limnimétricas e a faixa de incerteza para as estações variou de 4 até 41%. Ozbey et al. (2008), utilizando o mesmo método para quantificar as incertezas associadas a medição de vazão em 71 locais, determinaram incerteza variando de 2 a 24% nas medições de descarga líquida.

A medição de descargas líquidas de elevada frequência de permanência em pequenas bacias (< 10 km²) constituem-se em desafio técnico importante. O uso de equipamentos hidrométricos fica prejudicado devido a reduzida lâmina de água e a irregularidade da seção transversal o que é fator agravante nas incertezas. Contudo, a bacia produz vazão muito elevada para utilizar medição de vazão direta ou por capacidade.

A regionalização hidrológica é uma técnica amplamente utilizada na estimativa de vazões para atender a necessidade de gestão de recursos hídricos em bacias desprovidas de monitoramento fluviométrico. Diferentes métodos são empregados para regionalização de vazões em grandes bacias ou regiões administrativas. Cada método apresenta suas vantagens e desvantagens e, portanto, com diferentes graus de precisão (RIBEIRO et al., 2005; SILVA et al., 2009; LOWE, 2006).

A definição das regiões homogêneas implica em simplificações que geram imprecisões aos métodos. Diferenças podem ser obtidas na regionalização, mesmo para bacias próximas (HRACHOWITZ, 2013). As equações ajustadas para as regiões homogêneas procuram representar a médias dos valores medidos. Isto significa que a dispersão dos valores medidos nas diferentes seções fluviométricas consiste em incertezas do processo de regionalização. Além disto, o ajuste da equação deve considerar toda a variação de frequência de permanência sendo, em geral, observados desvios significativos nos valores extremos conforme observado na figura 4. Têm-se ainda as variações temporais nas curvas de permanência, onde a informação sazonal ou mensal constitui-se elemento de incerteza do processo de regionalização de vazão.

Estas incertezas, em atuação conjunta podem amplificar o erro dependendo do sentido de seus efeitos. A transferência de informação por regionalização de grandes para pequenas bacias, onde a ocupação urbana torna-se expressiva, também gera incertezas significativas.

Contudo, conforme apresentado anteriormente ao comparar a vazão específica média de longo termo da regionalização com a medida em estação fluviométrica distinta resultou em diferença inferior a 10% para bacias com área acima de 10,3 km².

Neste contexto, as vazões medidas nas bacias das BISC no mês de janeiro de 2013 representam valores considerados de referência para o processo de gestão de recursos hídricos e foram analisados mais detalhadamente neste trabalho. Ressalta-se que o maior desvio por bacia foi obtido justamente para as vazões medidas com maior frequência de permanência, próximo a 95%. Este pode ser um forte indício da influência das vazões provenientes de infiltração em bacias urbanas. No mês de janeiro, os desvios para as bacias com área de drenagem reduzida e com desvios positivos estão totalmente compreendidas na faixa de desvio de 0 a 100%, sendo a de menor valor uma bacia BAD, com 18% de desvio e pouco mais de 55% de sua área com ocupação urbana. As outras bacias são BBD com média de desvio de 66%. Esses resultados indicam a superestimação da vazão pela equação de regionalização para essas bacias (Figura 5).

A maior parte das bacias BBD, quinze ao todo, apresentaram desvio entre +100 e -100%. As únicas bacias BBD que tiveram seu desvio entre -100 e -250% são três bacias similares com área de drenagem de até 10,3 km². As características comuns entre elas são: a localização, no extremo sudoeste da baía de

Florianópolis (Figura 1) e a declividade significativa, com média aproximada de 20%, devido a desnível de 1.000 m de altitude.

Para as bacias com desvio negativo, uma bacia apresentou valor máximo de -397 %, o qual é significativo quando comparado com a média de todas as bacias de -116%. As maiores diferenças foram obtidas para as bacias com alta densidade urbana (BAD) as quais coincidem com bacias de menor área de drenagem.

Durante a ocorrência de precipitação, as bacias impermeabilizadas geram maiores taxas de escoamento superficial, com consequente redução da recarga do aquífero freático. Neste sentido são esperadas vazões inferiores para as bacias BAD em relação as BBD em período sem precipitação. Isto resultaria em desvios positivos para estas bacias no mês de janeiro de 2013.

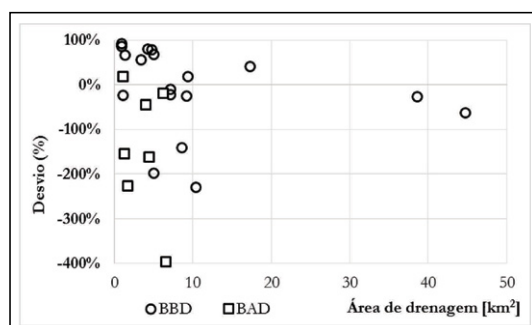


FIGURA 5. Desvios entre as vazões medidas e regionalização para o mês de janeiro de 2013.

Contudo, as medições mostram que na média os escoamentos fluviais são cerca de duas vezes superiores justamente nas bacias BAD. A amplitude dos desvios tem boa correlação com a densidade de urbanização da bacia. Nas bacias com baixa densidade, o desvio médio foi de -5%, enquanto nas bacias com alta densidade o desvio foi de -147%. Ademais, as bacias da área de estudo com maior taxa de ocupação urbana estão entre as que possuem pequenas áreas de drenagem, de modo que o volume de perdas da rede de água e da rede de esgoto é expressivo quando analisado em termos da vazão total.

É provável que parcela expressiva das unidades geradoras de esgoto não esteja adequadamente ligada ou a estanqueidade do sistema de esgotamento

sanitário apresente deficiências. As perdas de água no sistema de abastecimento podem se aproximar a 35 % (BERG; DANILENKO, 2011).

Os valores significativamente maiores são oriundos da infiltração proveniente da rede de abastecimento de água e coleta de águas residuárias, sobretudo de origem doméstica e comercial, visto que atividades industriais são pouco desenvolvidas na região. Dentre as bacias deste estudo, sete bacias são consideradas BAD. Para estas bacias foi realizado o cálculo para estimativa do aporte por infiltração de água proveniente da rede de abastecimento de água e da rede de coleta de esgoto, o qual é importante devido a alta densidade populacional e a reduzida área de drenagem.

O valor da vazão específica denominado de $Q_{E\text{CALC}}$ (tabela 3) desconsidera a contribuição Q_{INF} devido a infiltração proveniente das contribuições urbanas. A Tabela 3 apresenta a $Q_{E\text{CALC}}$ e a Q_E medida em janeiro para as bacias.

TABELA 3
Vazões específicas calculadas sem infiltração para bacias BAD

Área BAD [km²]	$Q_{E\text{CALC}}$ [L.s ⁻¹ .km ⁻²]	Q_E janeiro [L.s ⁻¹ .km ⁻²]	Percentual de redução de Q
1,07	8,4	13,0	36 %
1,29	17,5	27,1	35 %
1,73	13,3	34,7	62 %
3,97	11,6	15,4	25 %
4,48	13,6	27,7	51 %
6,19	9,7	12,6	23 %
6,57	10,8	52,7	79 %

Após descartar as Q_{INF} calculadas, os valores das $Q_{E\text{CALC}}$ se aproximaram da vazão de referência utilizada. A diferença inicial representada por desvio de -147% foi reduzida para -32 %. Ademais, conforme apresentado anteriormente, incertezas nas vazões medidas podem ocorrer. O elevado valor de 52,7 L.s⁻¹.km⁻² observado na bacia com 6,57 km² é, provavelmente, um valor pouco representativo pois nas outras três campanhas, em períodos com maior volume precipitado, a vazão específica média foi de 26 L.s⁻¹.km⁻². Ao desconsiderar esta bacia, a média dos

desvios resulta em + 11 %, ou seja, ainda mais próximo ao valor de referência previsto pela regionalização.

Nas pequenas bacias hidrográficas não existem redes de monitoramento sistemático e para áreas urbanas elas são extremamente importantes, sobretudo, para a outorga do uso da água para diluição de efluentes. Assim, a minimização das incertezas na estimativa das vazões de referências pela regionalização de pequenas bacias pode ser obtida com a ampliação do monitoramento fluviométrico ou a adoção de metodologias adaptadas para esta situação, como aquela apresentada por Silveira e Tucci (1998).

Neste trabalho fica evidenciada as diferenças e a importância do monitoramento em pequenas bacias urbanas. É possível, também, avaliar o desvio entre o estudo de regionalização e as vazões individuais obtidas para cada uma das bacias.

CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou os desvios entre a vazão real e a regionalização foram mais importantes para as vazões com frequência de permanência elevada (Q_{95}), com desvio médio de - 45% enquanto para

frequências próximas a Q_{50} o desvio médio foi de apenas -24%. Foi constatado que a taxa de urbanização da bacia contribui significativamente para a incerteza na estimativa da vazão de referência. Este resultado aponta para a existência de grandes problemas de infiltração da rede de abastecimento de água e de coleta de esgoto. O desvio médio foi reduzido de -147% para -32% ao retirar a vazão de contribuição devido a redes de abastecimento de água e coleta de esgoto.

Areal minimização de incertezas e erros pode ser conseguida com o monitoramento fluviométrico contínuo de pequenas bacias hidrográficas ou a adoção de metodologias de estimativas apropriadas para estas bacias.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq/CT-Hidro/MPA, projeto intitulado “Estudo ambiental para o ordenamento de parques aquícolas destinados ao cultivo de moluscos bivalves de acordo com padrões internacionais” financiado através do processo 561506/2010-8 e ao CNPq processo 302022/2011-2, pela bolsa de produtividade de pesquisa.

Referências

- ANA – Agência Nacional de Águas. *Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos da Agência Nacional de Águas*. ANA, Brasília, 2013, 249 p.
- BACK, A. J. *Hidráulica e hidrometria aplicada*. Florianópolis: Ed. Epagri, 2006, 299 p.
- BERG, C.V.D.; DANILENKO, A. *The IBNET Water Supply and Sanitation Performance Blue Book*. The International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities Databook. The World Bank, Washington, D.C., 2011, 152 p.
- HRACHOWITZ, M.; SAVENIJE, H.H.G.; BLÖSCHL, G.; MCDONNELL, J.J.; SIVAPALAN, M.; POMEROY, J.W.; ARHEIMER, B.; BLUME, T.; CLARK, M.P.; EHRET, U.; FENICIA, F.; FREER, J.E.; GELFAN, A.; GUPTA, H.V.; HUGHES, D.A.; HUT, R.W.; MONTANARI, A.; PANDE, S.; TETZLAFF, D.; TROCH, P.A.; UHLENBROOK, S.; WAGENER, T.; WINSEMIUS, H.C.; WOODS, R.A.; ZEHE, E.; CUDENNEC, C. A decade of Predictions in Ungauged Basins – a review. *Hydrological Sciences Journal*, v. 58, n. 6, p. 1198-1255, 2013.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Malhas digitais dos setores censitários do censo 2010*. 2012. Disponível em ftp://geoftp.ibge.gov.br/malhas_digitais/censo_2010/setores_censitarios/. Acesso em 03 de fevereiro de 2015.
- JARSJÖ, J.; ASOKAN, S. M.; PRIETO, C.; BRING, A.; DESTOUNI, G. Hydrological responses to climate change conditioned by historic alterations of land-use and water-use. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 16, 1335–1347, 2012.
- JORGE SANTOS, P.V.C.; CUNHA, A.C. Outorga de Recursos Hídricos e Vazão Ambiental no Brasil: Perspectivas Metodológicas Frente ao Desenvolvimento do Setor Hidrelétrico na Amazônia. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.18, n.3, p. 81-95, 2013.
- LOWE, L.; NATHAN, R. Use of Similarity Criteria for Transposing Gauged Streamflows to Ungauged Locations. *Australian Journal of Water Resources*, v.10, n.2, p. 161-170, 2006.
- LOWE, L.; ETCHHELLS, T.; MALANO, H.; NATHAN, R.; POTTER, B. Addressing uncertainties in water accounting. In: *18th World IMACS / MODSIM Congress*, Cairns, Australia 13-17 July 2009. p. 3626 – 3632
- MAO, D.; CHERKAUER, K. A. Impacts of land-use change on hydrologic responses in the Great Lakes region. *Journal of Hydrology*, v. 374, p.71–82, 2009.
- METCALF; EDDY. INC. (2002). *Wastewater Engineering – treatment and reuse*. 4 ed. New York, McGraw-Hill International edition, 1848 p.
- OZBEY, N.; SCANLON, P. *Investigating the uncertainty in flow at gauging sites in Gippsland using Australian Standard 3778.2.3*, Water Down Under, Engineers Australia and The International Centre of Excellence in Water Resources Management, Adelaide. 2008

- RIBEIRO, C.B.M.; MARQUES, F.A.; SILVA, D. D. Estimativa e regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do rio Doce. *Engenharia na agricultura*, v. 13, n. 2, p. 103-117, 2005.
- SANTA CATARINA. *Regionalização de vazões das bacias hidrográficas estaduais do estado de Santa Catarina*, volume 1 – texto. 2006. Disponível em <http://www.aguas.sc.gov.br/>. Acesso em 10 de julho de 2014.
- SARMENTO, R. *Estado da arte de vazões ecológicas no Brasil e no mundo*. Relatório UNESCO/ANA/CBHSF, 2007. 38p.
- SDS. Secretaria de Desenvolvimento Econômico Sustentável do Estado de Santa Catarina. *Levantamento Aerofotogramétrico do Estado de Santa Catarina*. Florianópolis: ENGEMAP, 2013. Documento Digital.
- SILVA, D.D.; MARQUES, F.A.; LEMOS, A.F. Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para bacia do rio São Francisco. *Engenharia na agricultura*, v. 17, n. 5, 2009.
- SILVEIRA, G.L.; TUCCI, C.E.M. Monitoramento em pequenas bacias para a estimativa de disponibilidade hídrica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v.3, n.3, p.97-110, 1998.
- SOARES, P. A.; PINHEIRO, A.; SOARES, K. H.; ZUCCO, E. Estimativa da disponibilidade hídrica em pequenas bacias hidrográficas com escassez de dados fluviométricos. *Revista de estudos ambientais*, v. 12, p. 29-38, 2010.
- TSUTIYA, M.T.; BUENO, R.C.R. Contribuição de águas pluviais em sistemas de esgoto sanitário no Brasil. *Água Latinoamérica*, v. 4, n. 4, p. 20-25, 2004.
- TUCCI, C.E.M. *Regionalização de vazões*. In: TUCCI, C. E. M. (organizador). *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2000. 573-611 p.
- WMO - World Meteorological Organization, *Manual on Low-flow Estimation and Prediction*. Operational Hydrology Report. WMO-No. 1029, Geneva, 2008, 137 p.
- ZUCCO, E. 2012 ZUCCO, E.; PINHEIRO, A.; DESCHAMPS, F. C.; SOARES, P. A. Metodologia para estimativa das concentrações em cursos de água para vazões de referência: uma ferramenta de suporte e apoio ao sistema de gestão de bacias hidrográficas. *Revista de Gestão de Águas da América Latina*, v. 9, n. 1, p. 25-37, 2012.

Luis Hamilton Pospissil Garbossa Engenheiro Civil. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - EPAGRI. Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina. E-mail: luisgarbossa@epagri.sc.gov.br.

Adilson Pinheiro Engenheiro Civil. Fundação Universidade Regional de Blumenau - FURB. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. E-mail: pinheiro@furb.br.