

AVALIAÇÃO DO MÉTODO MÉDIAS MÓVEIS PARA SEPARAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL BASEADO EM SÉRIES DE VAZÃO DE ALTA FREQUÊNCIA

David Bispo Ferreira^{1}, Cristóvão V. Scapulatempo Fernandes² & Sérgio Michellotto Braga³*

Resumo – A automatização do processo de monitoramento hidrometeorológico em alta resolução representa grande evolução para o estudo hidrológico de bacias urbanas com destaque especial para as de pequeno porte, que além de, em maioria, drenam áreas de grande concentração populacional, possuem respostas rápidas a alterações em seu ciclo hidrológico e são melhor compreendidas através do monitoramento instantâneo de seus fenômenos. O surgimento de equipamentos de monitoramento automático possibilitou sistematizar o monitoramento e realizá-lo com alta discretização temporal. Estes equipamentos são de elevada sensibilidade, com presença de ruído, uma vez que perturbações hidráulicas, ondas e até material particulado contribuem para leituras acima da tolerância do equipamento e que não refletem a situação real do rio. Esse resíduo nos dados dificulta a interpretação e aplicação dos resultados em modelos de gestão de recursos hídricos. Este estudo propõe um algoritmo para suavização de medições de vazões e um segundo para separação de escoamento superficial aplicado a informações de vazões com alta resolução, utilizando séries de médias móveis. Os resultados obtidos são promissores considerando as diferenças com os métodos tradicionais da literatura.

Palavras-Chave – Monitoramento, sensores automáticos, escoamento superficial.

MOVING AVERAGE METHOD FOR RUNNOFF ESTIMATE BASED UPON HIGH FREQUENCY OBSERVED FLOWS

Abstract – The hydrometeorologic monitoring through electronic sensors represents great evolution regarding the impact on hydrologic studies, especially in urban watersheds. The small ones, which besides draining largely occupied areas, respond quickly due to changes in its hydrological cycle and require real-time and more detailed monitoring with high temporal discretization. These equipments are highly-sensitive, and susceptible to signal noises, once hydraulic disturbance, waves and particulate material provide readings above the sensor tolerance which do not reflect the real river conditions. These electronic noise is difficult to interpret and to apply in water resources management systems. This study proposes an algorithm to smooth discharge measures aiming to separate base flow conditions applied to high-resolution data, using moving average series. The results are promising, considering the differences with the methods offered by traditional literature.

Keywords – monitoring, automatic sensors, runoff

INTRODUÇÃO

A distribuição temporal da vazão é resultado da interação de todos os componentes do ciclo hidrológico entre a ocorrência da precipitação e a vazão na bacia hidrográfica (TUCCI, 2007). A

¹ Aluno de graduação, curso de Engenharia civil – Universidade Federal do Paraná, davidbferreira@ufpr.br

² Professor, DHS/PPGERHA – Universidade Federal do Paraná, cris.dhs@ufpr.br

³ Professor, DHS – Universidade Federal do Paraná, sergio.dhs@ufpr.br

definição de volumes escoados superficialmente, como consequência, é necessária para diversas aplicações, como por exemplo, determinação quantitativa estudos sobre o transporte de sedimentos ao longo do rio, estudos de cheias e análise de poluição difusa.

A utilização de sensores de níveis e chuvas, para monitoramento hidrológico meteorológico trouxe grande avanço à compreensão do comportamento da interação entre parâmetros em bacias de drenagem, sendo possível gerar hidrogramas de mais alta discretização espacial e temporal e com um grau maior de precisão, tornando o processo mais cientificamente adequado retirando caráter empírico e subjetivo do sistema.

A transferência da tecnologia desenvolvida para uso no ambiente controlado das indústrias para uma utilização em ambiente aberto, sem supervisão humana, apesar da popularização crescente, ainda é um desafio (BRAGA, 2005). Neste trabalho, é apresentada a filtragem por séries de médias móveis como solução para a definição de separação do escoamento superficial a partir de séries históricas de alta frequência.

ASPECTOS CONCEITUAIS

Em medições automatizadas de níveis, perturbações hidráulicas e ondulatórias geram ruídos e registrados na série histórica. A razão está ligada ao fato dos equipamentos trabalharem majoritariamente com precisão de 1 cm. A presença desse tipo de erro potencial devido à sensibilidade do registro da informação, conforme ilustrado na Figura 1 a seguir, pode interferir, por exemplo, na análise do escoamento superficial. Esta situação impõe dificuldades computacionais que torna difícil a análise através dos algoritmos tradicionais, como os apresentados por Tucci (2007).

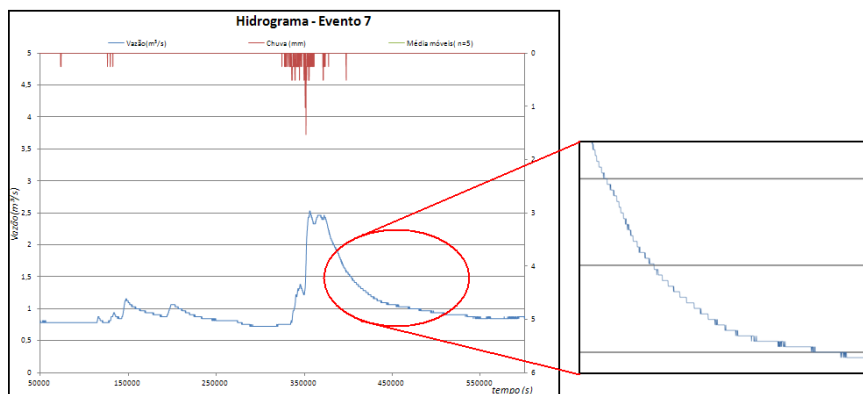


Figura 1. Hidrograma do evento 7. Erros decorrentes da utilização dos sensores automatizados.

ÁREA DE ESTUDO

A bacia em estudo é a do rio Barigui, localiza-se no estado do Paraná, na região do primeiro planalto, entre as coordenadas 25°13'24" e 25°38'23". Faz divisa com os municípios de Rio Branco do Sul, Almirante Tamandaré, Campo Largo, Curitiba, Araucária, Fazenda Rio Grande, São José dos Pinhais, Pinhais e Colombo (figura 2).

Possui comprimento de talvegue de 59,294 km, desnível de 97m com declividade média de 20% e área de 279,11 km². A Estação **P1**, utilizada neste estudo localiza-se em Almirante Tamandaré, com coordenadas -25.312855,-49.295762, e é operada pelo Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal do Paraná. Está localizada nas proximidades de

solo de formação metacalcária dolomítica, formada durante o período proterozóico, de características cársticas, que acelera a infiltração da água escoada superficialmente para dentro do solo, conforme apresentado na figura 3, a seguir.

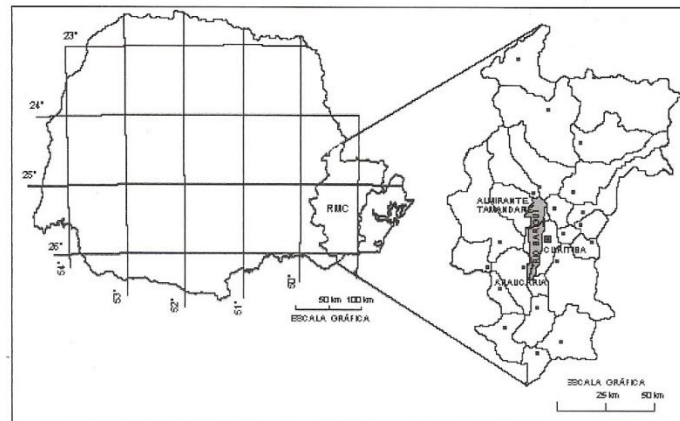


Figura 2. Localização da bacia do rio Barigui no estado do Paraná. Fonte: Fill et al, 2007

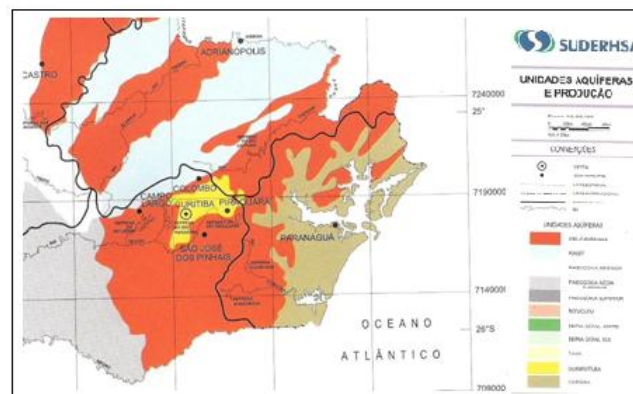


Figura 3. Unidades aquíferas de produção da região metropolitana de Curitiba. Fonte: SUDERHSA, 1998

MÉTODOS EMPREGADOS

As séries de chuvas e níveis foram registradas durante o ano de 2012 utilizando sensor de nível Druck PTX-1830, e registradas em um logger Waterlog H500-XL, calibrados com régua instaladas no leito do rio, com a precisão de 1 centímetro. As séries foram submetidas a filtros de médias móveis. A fundamentação metodológica consistiu da geração de novas séries utilizando médias móveis para suavização dessas curvas para 5 períodos distintos. Além disso, as médias móveis fornecem outra evidência importante, que é a convergência em pontos onde as taxas de variação mudam bruscamente, indicando o final do escoamento superficial.

Médias Móveis

As médias móveis sem peso, de frequência “n”, representam uma ferramenta para a suavização de curvas, consistindo na geração, a partir de uma série (Q,t) de termos, de uma nova série Q't', baseada na média aritmética dos n termos anteriores. Cada termo da série Q' da série é calculado como:

$$Q'_{n,t} = \frac{(Q_n + Q_{n-1} + Q_{n-2} + \dots + Q_{n+t-1})}{n} \quad (1)$$

Nesta pesquisa, analisou-se 12 eventos de precipitação do ano de 2012. As medições possuem intervalo de 2 minutos e 30 segundos de intervalo. A partir desses hidrogramas, novas séries de médias móveis foram elaboradas para períodos de 10, 25, 50, 125 e 250 minutos. Cabe destacar que nenhum dos eventos apresentou decaimento exponencial, fornecendo curvas com coeficientes pearson (R^2) baixos, como a apresentado na figura 4, como consequência das características geológicas da região.

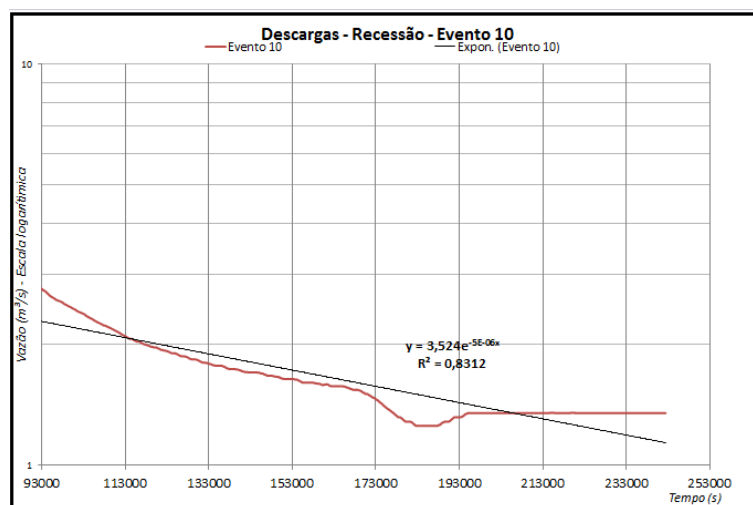


Figura 4:Fluviograma de evento típico da bacia em escala mono-log com curva interpolada.

Como medida dos erros contidos nas novas séries em relação às séries originais, apresenta-se como parâmetros o erro padrão de estimativa (S_x), e a somatória dos quadrados dos resíduos (ϕ^2). Seguindo a mesma linha do filtro das médias móveis, observou-se a propriedade de convergência das médias móveis para valores próximos à série original em pontos de inflexão. Istuposto, sugere-se um algoritmo para avaliação de pontos do fim do escoamento superficial.

RESULTADOS

Dada a impossibilidade de demonstrar os 12 eventos, amostar-se-à o evento, aqui denominado “Evento 1”, ocorrido entre 31/12/2012 às 02:45(t0) e 02/01/2012 às 23:25 como exemplo dos resultados obtidos com o filtro de médias e aplicação do algoritmo proposto.

A região destacada na figura 5 é parte do hidrograma de recessão, na qual evidência de que cessa o escoamento superficial. Vale destacar que o trecho contém as flutuações indesejadas descritas anteriormente, em função das características da discretização temporal, (figura 6). Após a aplicação do filtro de médias móveis, a as curvas ganham a suavidade mostrada a seguir, como mostram as figuras 7 e 8.

A curva produto do filtro de médias móveis apresenta notadamente maior suavidade, posto que as alterações bruscas causadas por interferências decorrentes do equipamento são amortecidas, fornecendo maiores subsídios à compreensão do decaimento do que a própria curva original.

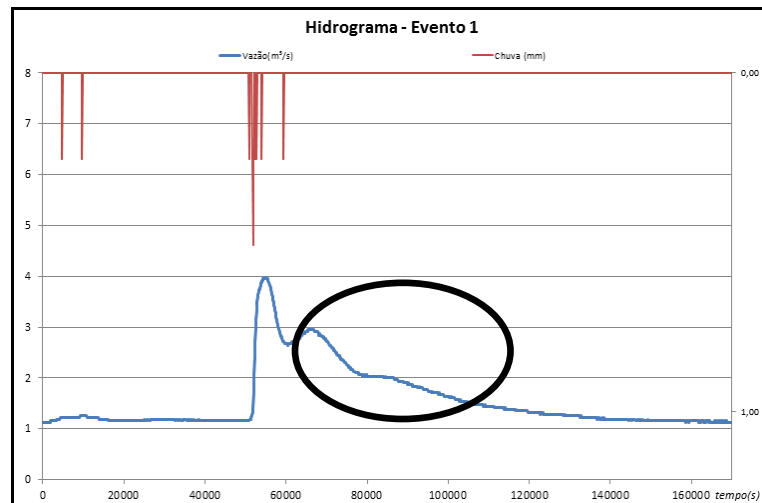


Figura 5. Hidrograma do evento 1

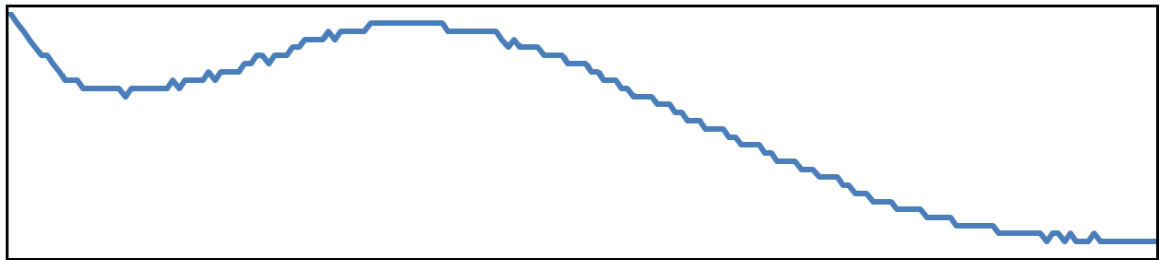


Figura 6. Erros indesejados no hidrograma

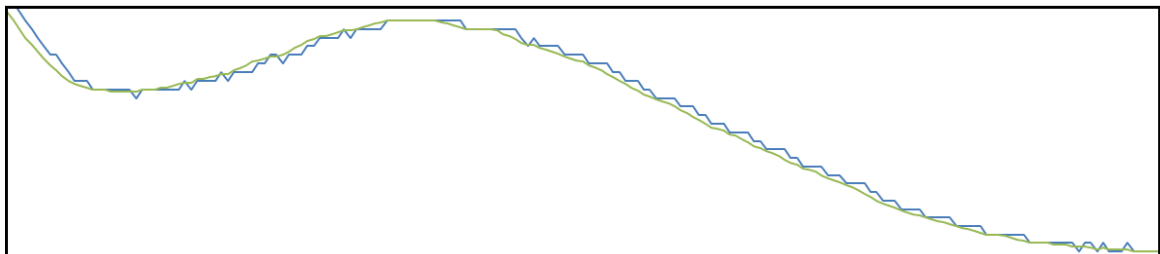


Figura 7. Filtro de médias móveis com período $(n) = 5$

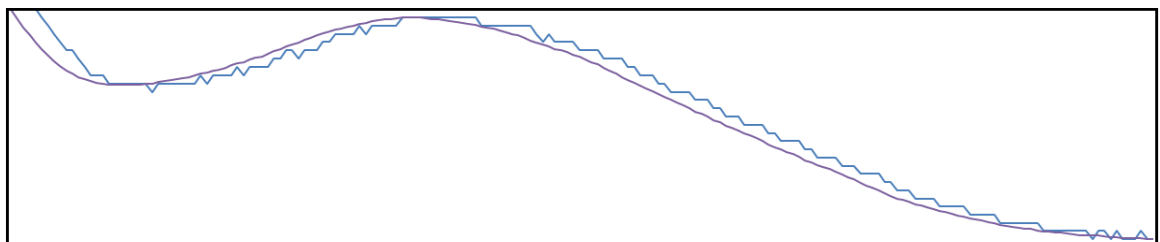


Figura 8. Filtro de médias móveis com período $(n) = 10$

Ainda tratando das propriedades série submetida ao filtro é importante destacar a convergência em pontos nos quais há mudança na concavidade da curva. Como se pode observar em ①, ② e ③, na figura 9. Por conseguinte, sugere-se como critério de decisão do algoritmo, que o ponto onde há cruzamento das médias móveis de períodos curtos, após o último pico de chuva, seja o ponto onde cessa o escoamento superficial.

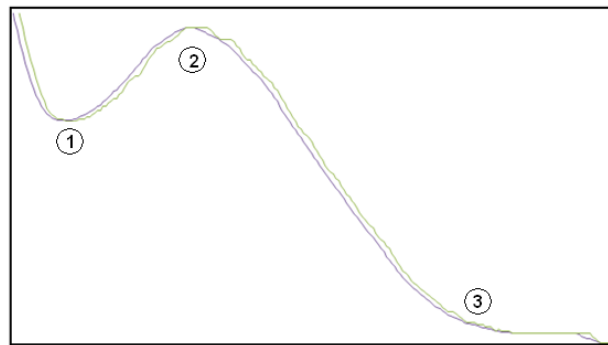


Figura 9. Pontos de convergência nas curvas.

O Algoritmo pode ser sintetizado a seguir: (i) A partir do último pico causado pelo último registro de chuva, definir o hidrograma de recessão; (ii) Elaborar séries de médias móveis para períodos de até 10 medições neste hidrograma; (iii) O primeiro ponto onde há convergência das séries de médias móveis fornece evidencia de mudança do regime hidráulico, e é o ponto onde tem fim o escoamento superficial; (iv) Utilizar qualquer dos métodos indicados na literatura para separação do escoamento.

Erros nas médias móveis

As séries de médias móveis são naturalmente deslocadas com destaque para a convergência para os trechos de recessão, como indicado na figura 10, a seguir.

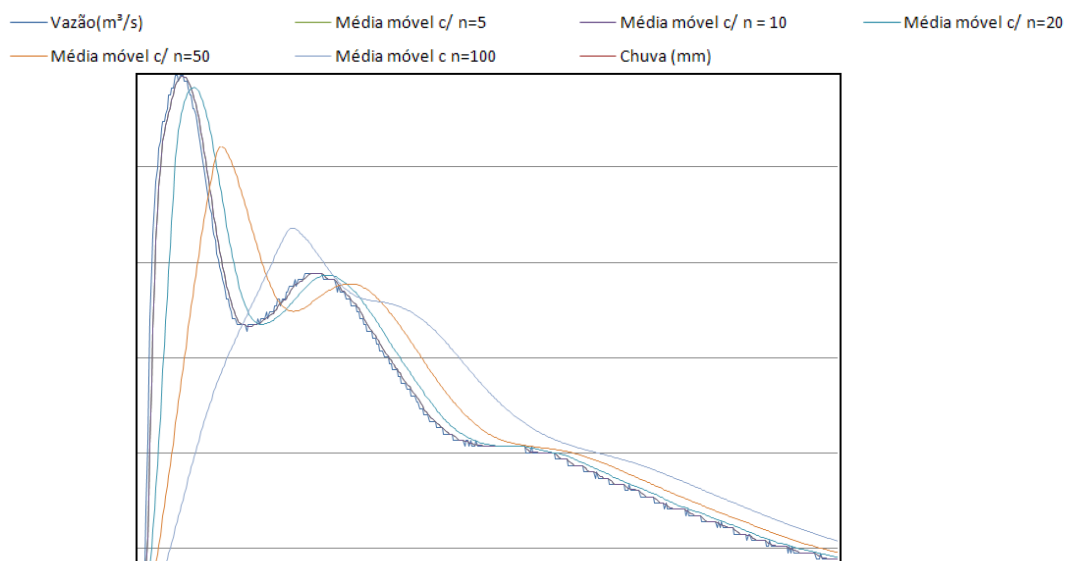


Figura 10. Comportamento do filtro para diferentes períodos

Ao mesmo tempo, os valores apresentam-se tendendo à média, uma vez quanto maior a quantidade de argumentos em uma média aritmética em relação a um conjunto fechado, maior é o ajuste à média de todos os elementos. Para todos os eventos foram testados os erros médios de estimativa (S_x) e a somatória dos quadrados dos resíduos (ϕ^2), com os resultados apresentados nas figuras 9 a 12, a seguir:

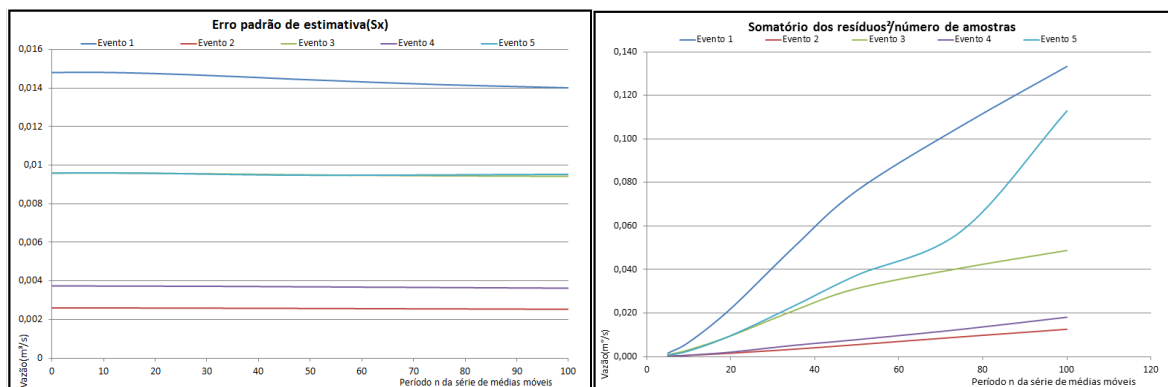


Figura 9. Erros padrão de estimativa e somatória dos quadrados dos resíduos/número de amostras (S_x) – Eventos 1 a 5

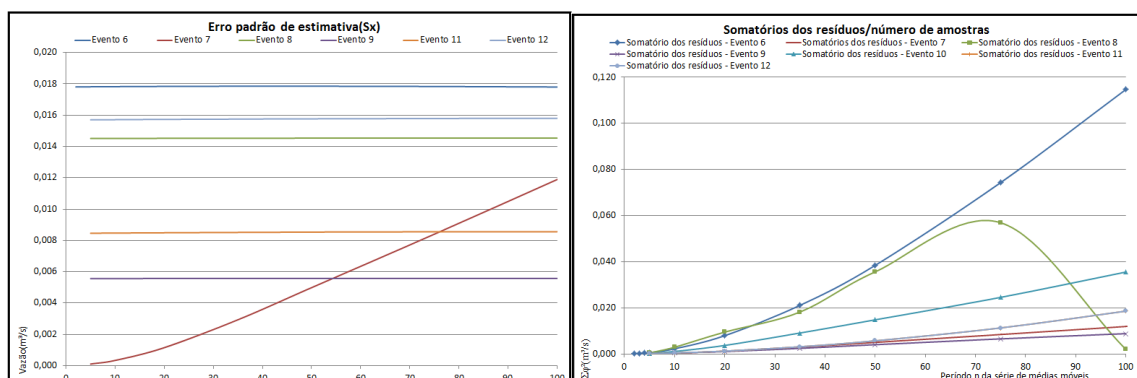


Figura 9. Erros padrão de estimativa e somatória dos quadrados dos resíduos/número de amostras(S_x) – Eventos 6 a 12.

Infere-se que a quantidade de erros gerada pelas séries filtradas também cresce com o aumento do período de tempo adotado para as mesmas, apesar de no pior caso haver aumento de 0,11 m³/s, as estimativas de vazão totais calculadas pela integração numérica das vazões não superam 1,8%. As somatórias dos quadrados dos resíduos permitem concluir que os erros obtidos pelo filtro são em média de 0,06 m³/s para uma série que contém 720 registros diários, o que não é representativo em uma série com alta discretização.

CONCLUSÃO

As séries de médias móveis representam um procedimento simples e eficiente de eliminação de ruídos em séries de dados de níveis com alta resolução temporal. Neste contexto representam um bom algoritmo para a caracterização, com certo grau de precisão, do volume escoado superficialmente, com resultados promissores. Cabe destacar, que o algoritmo permite caracterização mais adequada da realidade física de uma bacia hidrográfica e subsídios para

determinação do ponto do fim do Escoamento Superficial, otimizando o estudo do trecho de recessão de um hidrograma de bacia urbana através de algoritmo computacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRISKI, S. J.; GÓES, C. T.; KURTA, J.; JUNIOR, F. S. de J.(2009).Análise Quali-quantitativa da Bacia do Rio Barigui para verificação de seu estado Hidrológico e Ambiental. In: *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física*, Viçosa, 18p.

CHELLA, R.M.; FERNANDES, C.V.S. ; et all (2005). Avaliação do transporte de sedimentos no rio barigui. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos* v.10, n.3, pp. 105-111.

COLLISCHON, W. (2008). *Introduzindo hidrologia*, versão nº 5, Instituto de pesquisas hidráulicas, UFRGS.

MAIDMENT, D.R.(1992). *Handbook of hydrology*. McGraw-Hill – AUS – TX, pp 9.4 – 9.10

MACHADO, E.S.(1998). *Atlas de recursos hídricos do estado do Paraná*. 1. ed. Superintendencia de Desenvolvimento de Recursos hídricos e saneamento ambiental, 27p.

MAIDMENT, D.R.(1992). *Handbook of hydrology*. McGraw-Hill – AUS – TX, pp 9.4 – 9.10

RAMALHO, C. , CARVALHO, M.C. (1997). *Diagnóstico ambiental da bacia do rio Barigui*. Curitiba – PR, 146p.

TUCCI, C.E.M. (2007). *Hidrologia: Ciência e aplicação*. In *Escoamento superficial*, Editora UFRGS, Porto Alegre – RS, pp. 391-399.

ZORZAL, F.M.(ANO). Caracterização da bacia hidrográfica do rio Barigui. In *Anais do XXIII Congresso brasileiro de Engenharia Ambiental e Sanitária*, Goiânia, 9 p.