XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável: desafios do conhecimento e da gestão
De 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília – DF

PROPOSTA PARA EXTRAÇÃO AUTOMÁTICA DE PARÂMETROS FÍSICOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

Camyla Innocente dos Santos [1]; Pedro Luiz Borges Chaffe [2]; Tássia Mattos Brighenti [3]& Nadia Bernardi Bonumá[4]*

Resumo – A bacia hidrográfica é a unidade de gestão do sistema hidrológico e é de suma importância sua caracterização para entendimento dos processos hidrológicos. O objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta para extração automática de parâmetros físicos de bacias e de suas sub-bacias, utilizando o Modelo Digital de Elevação e o *shapefile* da drenagem, gerenciados nos programas ArcGIS e MATLAB. Aplicou-se essa proposta a uma bacia hidrográfica de Florianópolis, onde o campus João David Ferreira Lima, da Universidade Federal de Santa Catarina, está localizado. Nos resultados, foi feita a comparação entre os dados obtidos através do algoritmo de extração automática e os valores obtidos manualmente pelo ArcGIS. O parâmetro que apresentou maior erro médio foi o fator de forma, com 24,4%, e o menor foi a somatória do comprimento dos rios, com 3,0%. Os erros encontrados foram inversamente proporcionais ao tamanho das bacias, sendo que o menor erro médio foi 3,9%, em relação a todos os parâmetros.

Palavras-Chave – Modelo Digital de Elevação, MATLAB, ArcGIS

PROPOSAL FOR AUTOMATIC EXTRACTION OF PHYSICAL PARAMETERS OF RIVER BASIN

Abstract – The watershed is the management unit of hydrological system and it is critically important to characterize it, in order to understand hydrological processes. The objective of this paper is to present a proposal for automatic extraction of physical parameters from watersheds and their sub-basin by using the Digital Elevation Model and the drainage shapefile managed in ArcGIS and MATLAB. This proposal was applied to a watershed in the city of Florianópolis, where João David Ferreira Lima Campus (Federal University of Santa Catarina) is located. As a result, a comparison between the data obtained through the self-extracting algorithm and the values obtained only manually by ArcGIS will be made. The parameter with the highest average error was the form factor, with 24.4%, and the lowest was the sum of the length of rivers, with 3.0%. The errors were inversely proportional to the size of the basin, the lowest average error was 3.9% in relation to all parameters.

Keywords – Digital Elevation Model, MATLAB, ArcGIS

[1] Graduanda de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina; camylainnocente@gmail.com.

[2] Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Cataria; pedro.chaffe@ufsc.br.

[3] Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina; tassiabrighenti@hotmail.com

[4] Professora do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Cataria; nadia.bonuma@ufsc.br

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitada e a saída é o volume de água escoado pela exutória (Horton, 2007). Para Rodríguez-Iturbe e Rinaldo (2001), as bacias hidrográficas são fundamentais para muitos sistemas hidrológicos, sendo que possuem dois sistemas que se relacionam: a rede de drenagem e a encosta.

Segundo Moreira *et al.(2011)*, os parâmetros de caracterização do relevo e da rede de drenagem têm grande influência sobre o escoamento superficial e, consequentemente, sobre o processo de erosão, que gera em perdas de solo, água, matéria orgânica, nutrientes e microfauna, provocando, assim, assoreamento e eutrofização dos corpos d'água. Desse modo, a área da bacia hidrográfica tem influência sobre a quantidade de água produzida como deflúvio. A forma e o relevo atuam sobre a taxa ou sobre o regime dessa produção de água, assim como a taxa de sedimentação. (Tonello *et al*. 2006)

Tendo em vista a grande importância em se estudar os parâmetros físicos da bacia hidrográfica torna-se interessante a automatização deste processo. Para Dingman (1994), o método automatizado para delimitação de bacia hidrográfica auxilia a extrair as informações concomitantes da bacia hidrográfica, que até poderiam ser extraídas de maneira manual, porém o tempo de trabalho seria muito elevado.

Este artigo tem como objetivo propor um método de extração automático dos parâmetros físicos, para proporcionar quantidade e qualidade de informações sobre a bacia. Como dados de entrada foi necessário o *shapefile* da rede de drenagem e o Modelo Digital de Elevação (MDE), que serão trabalhados primeiramente no programa ArcGIS e posteriormente no MATLAB. Com o programa obtêm-se as relações da Lei de Horton e parâmetros físicos para cada sub-bacia da bacia estudada. A área de estudo será a bacia hidrográfica em que o campus Reitor João David Ferreira Lima, da Universidade Federal de Santa Catarina, está localizado.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados de entrada foram o MDE e o *shapefile* da rede de drenagem, ambos extraídos da Mapoteca da EPAGRI-SC.

Processamento dos dados no ArcGIS

Delimitou-se a bacia hidrográfica utilizando a caixa de ferramentas Arc Hydro. Preencheram-se as falhas do MDE pela ferramenta *Fill Sinks*. A ferramenta *DEM Reconditioning* marcou, a partir do *shapefile* da drenagem, os cursos de água, conforme mostra a Figura 1. Para determinar D8 utilizou-se a ferramenta *Flow Direction* que, segundo Schwanghart e Kuhn (2009), determina direção do fluxo da água superficial. Cada direção tem um valor fixo, conforme Figura 2.

MDE		
20	20	20
20	18	19
19	18	17

MDE Marcado		
20	20	20
20	-982	19
19	18	-983

Figura 1 - Aplicação da ferramenta DEM Reconditioning

O raster "Acúmulo de fluxo" foi feito utilizando a ferramenta *Flow Accumulation*. Segundo Trauch (2010) essa ferramenta define o número de células ou área que contribuem para o escoamento de uma célula específica.

Direção de Fluxo		
2	4	8
1	2	4
1	1	2

Direção de Fluxo		
↘	↓	↙
→	↘	↓
→	→	↘

Acúmulo de fluxo		
0	0	0
0	4	0
0	1	8

Figura 2 - Aplicação da ferramenta *Flow Accumulation*

Com a ferramenta *Batch Point* e a ferramenta *Batch Subwatershed Delimitation* gerou o polígono da bacia. Tendo por base o polígono extraíram-se todos os raster no formato da bacia: direção de fluxo, acúmulo de fluxo, MDE marcado e MDE.

Processamento dos dados no MATLAB

No MATLAB entrou-se com todos os documentos em formato de texto retirados do ArcGIS, os rios foram definidos e marcou-se a última célula antes da confluência de dois rios. Os rios foram separados por segmento e a hierarquia determinada conforme Strahler (1952). Para determinar quais nós serão exutórias considerou-se apenas o último nó de um trecho de determinada ordem.

MDE Marcado			
-980	20	20	-981
20	-980	-981	19
19	18	-982	18
19	18	-982	18

Rios Definidos			
1	0	0	1
0	N1	N2	0
0	0	1	0
0	0	1	0

Rios Segmentados			
1	0	0	2
0	1	2	0
0	0	3	0
0	0	3	0

Ordem dos Rios			
1	0	0	1
0	1	1	0
0	0	2	0
0	0	2	0

Figura 3 - Demonstração da definição da ordem dos rios

Com as exutórias delimitaram-se as bacias. Enumerou-se cada célula do MDE de entrada, formando uma matriz de mesma dimensão do MDE, chamada MDEnum, para a construção de uma matriz do grafo da bacia. Um grafo é uma estrutura abstrata que representa um conjunto de vértices e arestas, segundo Goldbarg e Goldbarg (2012), neste caso os vértices são as células do MDEnum, conforme Figura 4b e as arestas são direções de fluxo, conforme Figura 4a, e o grafo é representado pela Figura 4c. A matriz do grafo, G_{nxn}, é binária, onde n é o número de células do MDE. Conforme Figura 4d, a célula da matriz G, com localização linha i e coluna j será igual a 1 se a célula i for direcionada a célula j, onde i e j são os números atribuídos as células do MDE. Ao elevar a matriz G a potência k, $k = 1,..,x$, obtém-se uma matriz G^k que será binária com 1 onde a célula do MDEnum com valor i for direcionada a célula j, mas fazendo um caminho de k células até chegar em j. As G^k somadas geram a matriz GG ($GG = G^1 + G^2 + ... + G^x$), sendo x a potência em que a soma de uma coluna de GG é igual a n-1, como pode ser visto na Figura 4e.

Com a matriz GG é possível saber quais as células contribuem para qualquer ponto do MDE e, com isso, delimitou-se todas as sub-bacias.

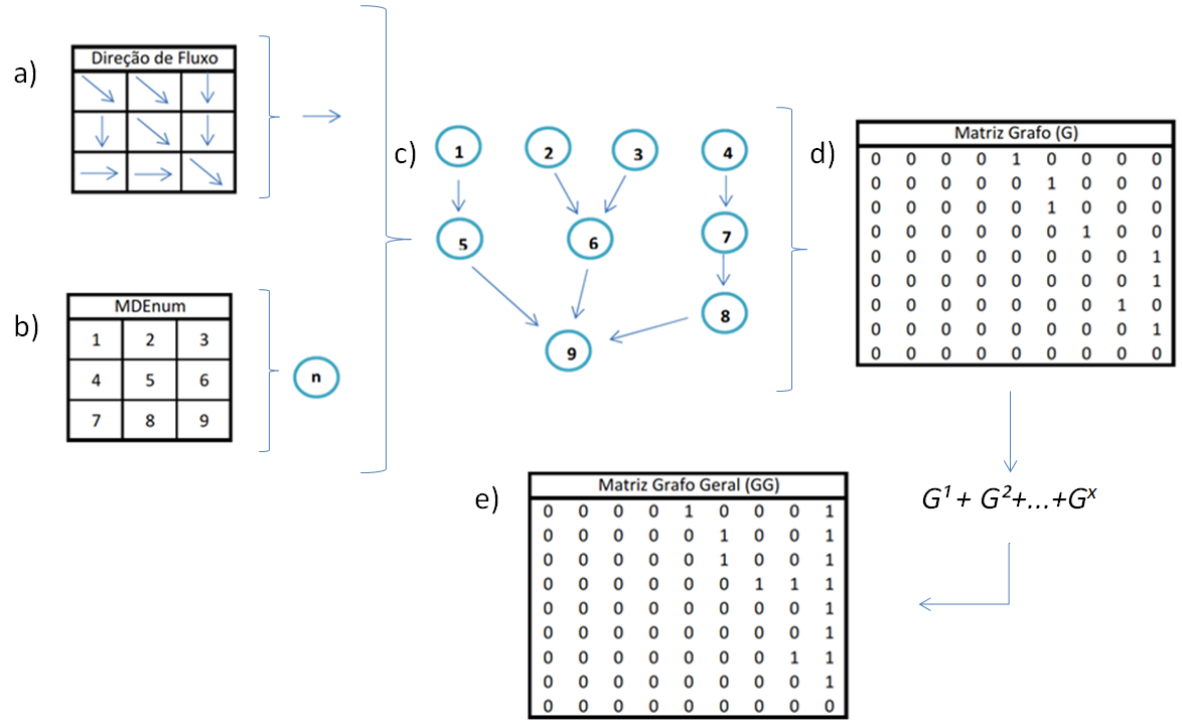

Figura 4 - Demonstração da Matriz Grafo

A declividade (S), o comprimento (*L*) e o índice de sinuosidade (*IS*) do rio principal, foram determinados pelo seguinte raciocínio: o rio principal parte da exutória e continua sempre em direção à célula de maior acúmulo, sendo que o comprimento será sempre o tamanho do centro de uma célula ao centro de outra, até chegar à última célula do rio principal. Com o MDE é possível saber a altura em todos os pontos do rio e determinar a declividade média a partir da melhor reta dos pontos do perfil longitudinal. O índice de sinuosidade do rio é determinado pelo comprimento do rio principal dividido pela menor distância entre a exutória e a nascente. Com isso calculou-se o tempo de concentração (*tc*) por Kipirch (Equação1). Nessa etapa calculou-se também o comprimento total de todos os canais (*Lt*).

A área (*A*) e o perímetro (*P*) foram calculados a partir de ferramentas do MATLAB, *bwarea*(MDE) e *bwperim*(MDE). Com a área e o perímetro calculou-se o índice de circularidade (*IC*) (Equação 2), o fator de forma (*F*) (Equação 3), o índice de compacidade (*Kc*) (Equação 4) e densidade drenagem (*Dd*) (Equação 5), conforme equações a seguir.

$$tc = 0{,}019\frac{L^{0{,}77}}{S^{0{,}385}} \quad (1)$$

$$Kc = 0{,}28\frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

$$IC = 12{,}57\frac{A}{P^2} \quad (3)$$

$$F = \frac{A}{L^2} \quad (4)$$

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad (5)$$

A curva hipsométrica foi obtida contando-se o número de células com valor igual ou superior a um número determinado dentro do intervalo de cotas da sub-bacia, com isso soube-se a altitude média. As leis de Horton também foram calculadas, as áreas já haviam sido estabelecidas pelo processo de determinação dos parâmetros das sub-bacias. A declividade e o comprimento do rio foram feitos juntamente com a determinação dos outros fatores, sendo que o comprimento do rio e a declividade não foram os do rio principal da sub-bacia, mas do começo ao fim do trecho de rio que tenha a mesma ordem.

A bacia e suas sub-bacias foram traçadas também a mão no ArcGIS e determinados seus parâmetros físicos, também com auxílio do software, para que se pudesse determinar a eficiência do algoritmo proposto. As bacias delimitadas estão mostradas na Figura 5.

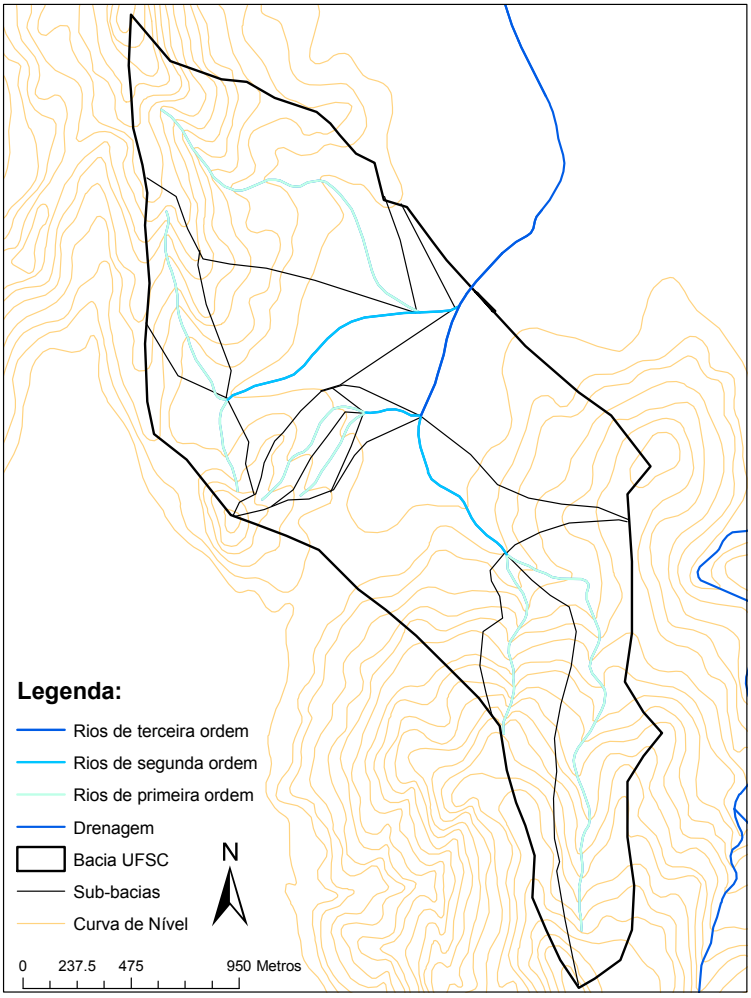

Figura 5 - Bacias e Sub-Bacias da UFSC

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As correlações das sub-bacias são mostradas na Figura 6, conforme a resposta automática do programa. É possível notar que as propriedades que dizem respeito ao formato da bacia como o *F*, o *IC* e o *Kc* diferem entre si e não há um padrão, como esperava-se, pois as bacias delimitadas diferem-se no quanto ao formato.

Pelas leis de Horton, a *S*, *A* e o *L* devem seguir uma tendência. Na *S*, essa tendência não é verificada, isso pode ser visto também na Figura 8. Nota-se que a *Dd* diminui conforme a ordem da bacia, pois os rios de maior classe têm uma maior área de contribuição.

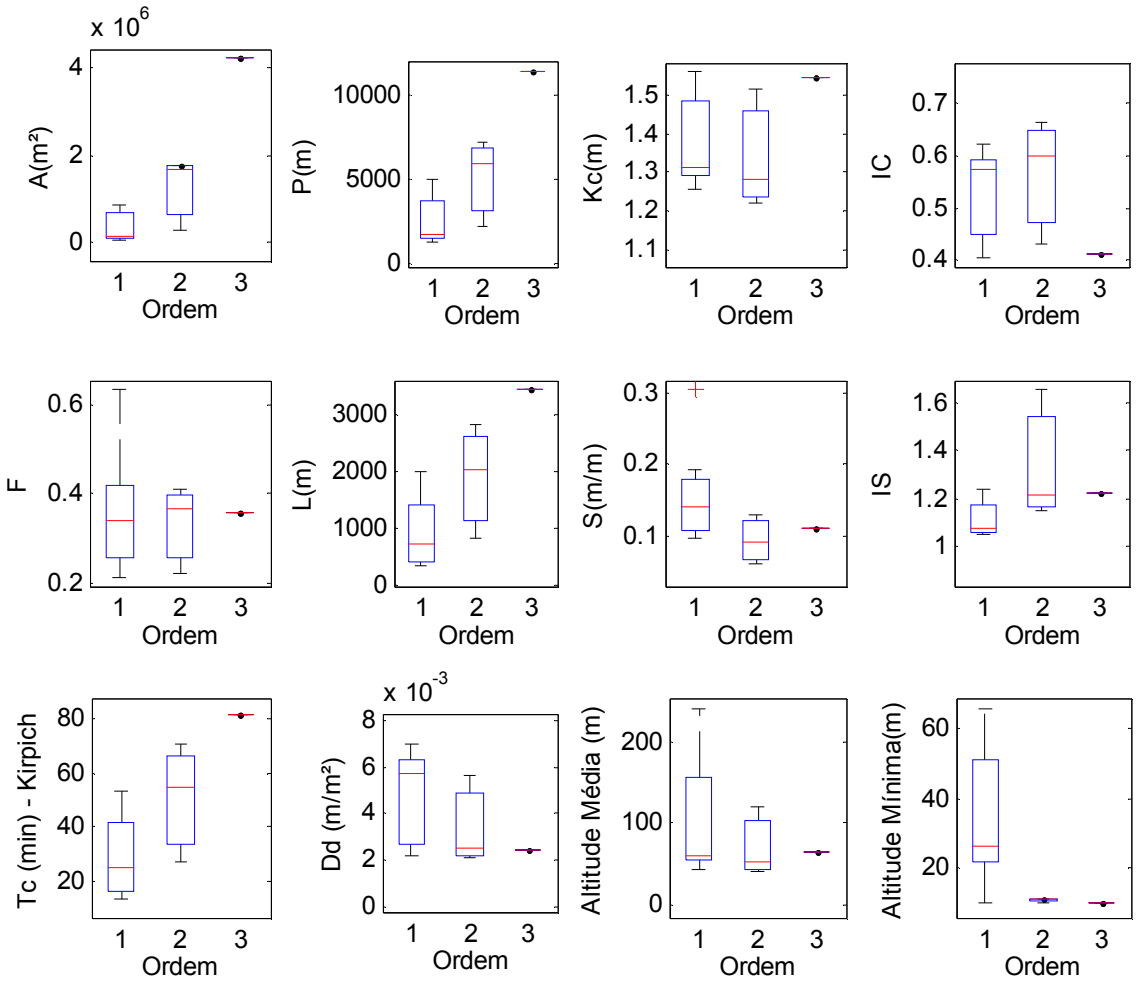

Figura 6 - Resultado das características das sub-bacias

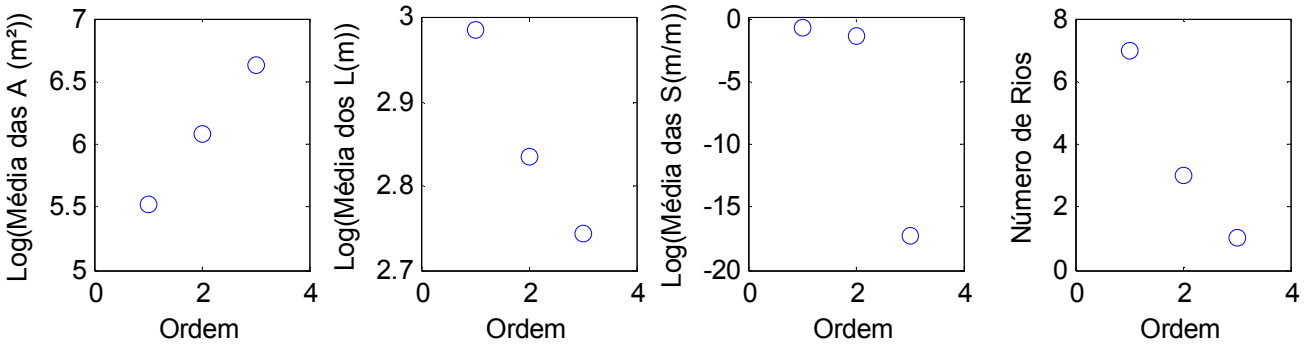

Figura 7 - Resultados das leis de Horton

A comparação entre os dados encontrados a partir do método proposto e manualmente pelo ArcGIS estão mostrados na Figura 8. A área da bacia da UFSC, tanto pelo método automático (4,21 km²) e manual (4,29 km²), ficou entre a área encontrada por Mulungo, 2012 e Kobiyana, 2006, 4,5 e 4,0 km², respectivamente. Nota-se que conforme há um aumento no número de células do raster os

erros tendem a diminuir. Na Figura 9, pode-se ver que o maior erro é em função de *F*, isso porque esse parâmetro é em função da *A* e do *L*, e esses já apresentavam elevados erros.

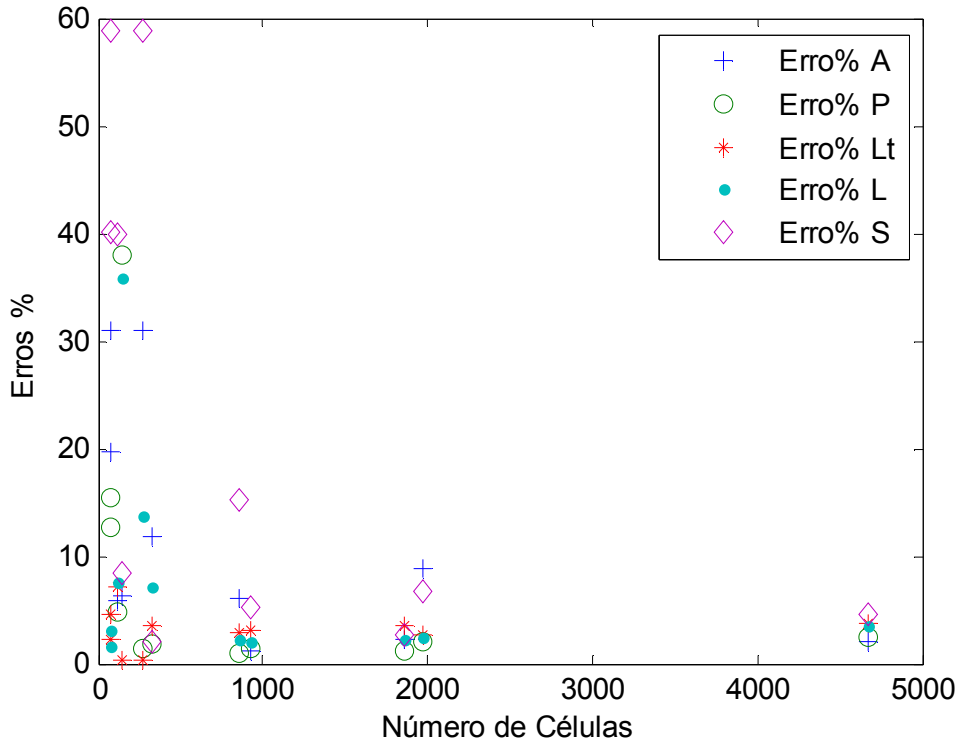

Figura 8 - Resultados encontrados para a bacia da UFSC

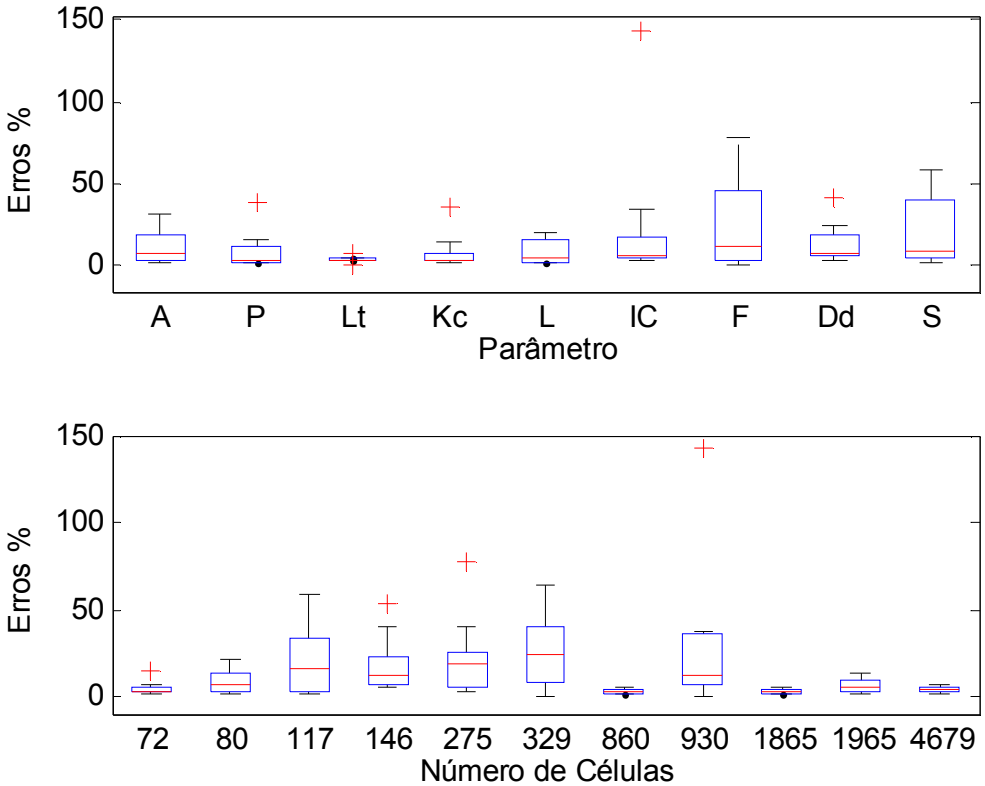

Figura 9 - Erros relacionados a parâmetros e ao número de células do raster.

CONCLUSÃO

O objetivo do presente trabalho, sendo a extração automática de parâmetros físicos de bacias hidrográficas foi alcançado de maneira eficiente para MDE em torno de duas mil células, correspondendo a uma bacia de 1,8km² para o modelo disponibilizado pela EMBRAPA, SRTM de 30m de largura, sendo que a menor média geral de erros foi de 3,7%. Para bacias menores, é necessário um MDE mais detalhado, com células de menor tamanho. O parâmetro com menor erro foi para o somatório do comprimento dos rios, com uma média de erro de 3%.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPQ pelo apoio financeiro e ao Laboratório de Hidrologia - LabHidro da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC pelo apoio técnico.

REFERÊNCIAS

DINGMAN, S.L.(1994). *Physical Hydrology*. Macmillan Publishing Company, Upper Saddler River - Nova Jersey, 575p.

GOLBARD M.; GOLBARD E. (2012). *Grafos: Conceitos Algoritmos e Aplicações.* Elsevier, Rio de Janeiro – RJ.

KOBIYAMA, M.; GRISON, F.; LINO, J. F.; SILVA, R. V. (2006). Estimativa Morfométrica e Hidrológica do Tempo de Concentração na Bacia do Campus da UFSC, Florianópolis - SC. In *Anais* I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste. 11p

MOREIRA, A.A.C.; COSTA, C.T.F.; TAVARES, P. R. L.; MENDONÇA L. A. R. (2011). Caracterização morfométrica e hidrológica da bacia hidrográfica do rio Salamanca, Barbalha, CE. In *Anais* do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

MULUNGO, H. M. Estudo de inundação na bacia do campus da UFSC, Florianópolis-SC (2012). Dissertação de Mestrado - *Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental*, UFSC. 163 p.

RODRÍGUEZ-ITURBE, I.; RINALDO, A (2001). *Fractal River Basins:* Chance and Self-Organization. Cambridge University Press, Cambrígia-Londres, 547 p.

SCHWANGHART, W.; KUHN, N.J. (2009). TopoToolbox: A set of MATLAB functions for topographic analysis. *Environmental Modelling & Software* 25, pp. 770-781.

STRAHLER, A.N. (1952) Hypsometric (Area-Altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin,* November 11, pp. 1117-1142

TONELLO, K.C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. (2006). Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães – MG. *Revista Árvore* 30, pp.849-857

TRAUTH, M.H.(2010). MATLAB® *Recipes for Eatch Scienses.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg**,** Karl-Liebknecht-Srt-Postdam, 336 p.

TUCCI, C. E. M. (2007). *Hidrologia***:** *Ciência e Aplicação*. EFRGS Porto Alegre-RS, 942 p.