

CARACTERIZAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS POR UMA ABORDAGEM DIRETAMENTE BASEADA EM OPERAÇÕES VIA BANCOS DE DADOS GEOGRÁFICOS

Leonardo B. L. Santos^{1}; Aurelienne A. S. Jorge¹; Mélori M. Zolino¹;
André C. Silveira¹; Jether Rodrigues¹; Cláudia A. Linhares¹*

Resumo - O monitoramento de desastres naturais hidrológicos demanda, para cada área de risco, a delimitação e caracterização de uma bacia hidrográfica. É apresentado um conjunto de procedimentos e sentenças para, por operações em um Sistema Gerenciador de Bancos de Dados (no caso, o PostgreSQL+PostGIS), calcular propriedades de interesse hidrológico, como comprimento e desnível do rio principal e o tempo de concentração da bacia. Um estudo de caso é apresentado com base em uma das bacias hidrográficas utilizadas para monitoramento pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden).

Palavras-chave - bancos de dados geográficos, bacias hidrográficas, desastres naturais

WATERSHED CHARACTERIZATION BY AN APPROACH BASED ON GEOGRAPHIC OPERATIONS IN SPATIAL DATABASES

Abstract - The monitoring of hydrological natural disaster demands, for each risk area, the delineation and characterization of a watershed. It presents a set of procedures and sentences for operations in a Database Management System (in this case, PostgreSQL + PostGIS), to calculate hydrological properties, such as length and slope of the main river and the watershed's time of concentration. A case study is shown based on an actual watershed used for monitoring by the National Centre for Natural Disasters Monitoring and Alerts (Cemaden).

Keywords – geographic databases, watershed, natural disasters

INTRODUÇÃO

Segundo Linhares (2005), a bacia hidrográfica constitui uma unidade geográfica natural para estudos hidrológicos, por consistir em uma área de captação da água precipitada, composta pelos divisores de água, pelas superfícies de captação e pela rede de drenagem, a qual converge para um canal principal de escoamento.

O conhecimento dos limites geográficos da bacia é necessário, porém não suficiente para o monitoramento do comportamento hidrológico, especialmente quando se fala em desastres naturais. É também preciso conhecer uma série de propriedades hidrológicas, como comprimento e desnível do rio principal e o tempo de concentração da bacia - intervalo de tempo necessário para que toda a bacia contribua com o escoamento pelo canal principal até o exutório, o ponto de fechamento da bacia.

¹ Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), Cachoeira Paulista, SP, Brasil. E-mail: {leonardo.santos, aurelienne.souza, melory.zolino, andre.silveira, jether.rodrigues, claudia.linhares}@cemaden.gov.br

Uma relevante questão científica é como representar no modelo objeto-relacional estruturas que possibilitem extrair conhecimento hidrológico dos dados brutos carregados: rasters de altimetria e shapes de bacias e hidrografia. São aqui analisados os recursos e funções do Sistema Gerenciador de Bancos de Dados (SGBD) para cumprimento desta questão científica. Cabe ressaltar que por operações efetuadas diretamente em SGBDs espera-se não apenas um melhor desempenho (eficiência - tempo computacional) mas também robustez e customização – em contrapartida às soluções apresentadas por Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), nas quais, muitas vezes, não é possível ajustar as opções de cálculo para o objetivo e volume de dados em questão.

O artigo está assim organizado: após a seção “Introdução”, na qual é apresentado o problema e o contexto do monitoramento de desastres hidrológicos, a seção “Material e Método” traz o procedimento para delimitação (obtenção da geometria) de bacias hidrográficas, bem como o processo de importação de tais dados brutos (rasters de altimetria e shapes de bacias e hidrografia) no SGBD e a apresentação da área de estudo (na bacia do Rio Doce). Na seção “Resultados e Discussões” são apresentadas as funções desenvolvidas para caracterização hidrológica e o estudo de caso em uma bacia à montante da área de risco hidrológico do município de Ervália-MG. A seção “Conclusões e Perspectivas” retoma as contribuições do artigo à literatura e suas aplicabilidades à pesquisa e operação de sistemas de monitoramento de desastres naturais.

MATERIAL E MÉTODO

Nesta seção são apresentadas as etapas que, sequencialmente, levam à delimitação e caracterização de uma bacia hidrográfica, e, ao final, é apresentada a área de estudo utilizada.

Delimitação de bacias hidrográficas

A delimitação semi-automática de bacias hidrográficas demanda um Modelo Digital de Elevação (DEM, sigla em inglês para *Digital Elevation Model*). Foram aqui utilizados como dados de referência os valores altimétricos dos produtos ASTER GDEM (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, Global Digital Elevation Model*) - resultados de um consórcio entre NASA e o Ministério da Economia, Comércio e Indústria do Japão (METI), em *Earth Resources Data Analysis Center (ERSDAC)* e o *United States Geological Survey (USGS)* para construção de uma modelo digital de elevação global de livre acesso.

O GDEM foi criado com o processamento e correlacionamento de 1,3 milhões de arquivos de cenas ASTER, de imagens ópticas, cobrindo a superfície terrestre entre as latitudes de 83°N e 83°S. Ao todo o mosaico possui 22.895 imagens de 1° por 1°. As especificações quanto ao formato de saída são: GeoTIFF (Geographic Tagged Image File Format), 16 bits, 1m por ND, georreferenciado em coordenadas geográficas no DATUM WGS84, níveis digitais especiais de -9999 para *pixels* sem dados e 0 para corpos d'água marítimos, com resolução de 30m.

O processo completo de delimitação de bacias hidrográficas envolve as seguintes etapas [Miranda *et al.* (2013)]: 1. Obtenção do modelo digital de elevação (DEM) do terreno - cada *pixel* da imagem representa a altimetria do terreno, conforme apresentado anteriormente; 2. Obtenção da matriz de direção de fluxos (LDD, sigla em inglês para *Local Drain Direction*) - partindo da hipótese física (local, linear e causal) de que a água deve escoar integralmente na direção de maior declividade do terreno, uma vez tendo a matriz de altimetria tem-se a matriz de direção de fluxo, na qual cada elemento traz a informação de para qual célula vizinha a água deve escoar partindo da célula em questão - o algoritmo D8 é o mais utilizado na literatura [Jenson e Domingue (1988)]; 3. Determinação da Rede de Drenagem (DNG) - de acordo com a direção de fluxo é possível determinar a área que contribui para cada elemento da grade do terreno - se tal valor for igual ou

superior a um limiar pré-determinado diz-se que o elemento em questão faz parte da rede de drenagem do terreno considerando tal limiar de escoamento. A rede de drenagem representa uma hidrografia inferida, potencialmente fina, que pode ser validada pela hidrografia observada e utilizada para aumentar a resolução em aplicações que demandem alta resolução espacial.

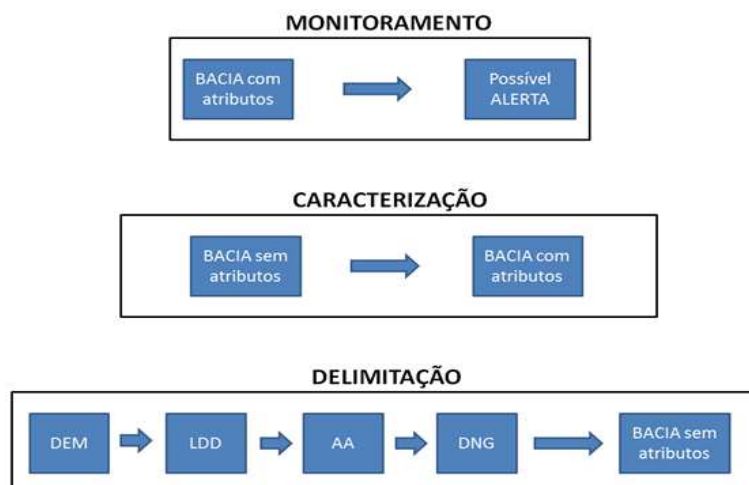


Figura 1: Etapas do processo de delimitação das bacias hidrográficas (na base da pirâmide) e de caracterização (foco do presente artigo) para alicerce da atividade de monitoramento.

Qualquer ponto da Rede de Drenagem pode ser escolhido como exutório, ou seja, como ponto para fechamento da bacia. A decisão da escolha do exutório pode ser feita com base nos mais diversos aspectos. Na maioria dos casos são tomados pontos que representam barragens, reservatórios ou efetivamente pontos de junções ou foz de rios. No caso do monitoramento de desastres naturais, uma opção é usar o mapeamento de áreas de risco hidrológico (fornecido pelo Serviço Geológico - CPRM) e tomar como exutório o ponto mais à jusante do polígono demarcado - de forma à bacia hidrográfica (contribuição à montante) representar toda a região que pode contribuir hidrológicamente para a área de risco em questão.

Conforme discutido em Santos e Linhares (2012), há, atualmente, diversas opções disponíveis para delimitação e extração de drenagem semi-automática de bacias hidrográficas: 1) TerraHidro [Rosim *et al.* (2008)], software livre, destinado à modelagem hidrológica distribuída, baseado na biblioteca geográfica TerraLib e na biblioteca de grafos *Boost Graph Library* – *BGL*, ambas desenvolvidas na linguagem C++. O instalador do TerraHidro é disponível através do site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, onde o programa foi desenvolvido; 2) Hand [Rennó *et al.* (2008)], módulo livre, executável em ambiente IDL, também desenvolvido e disponível através do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; 3) ArcHydro (ESRI), módulo de hidrologia, solução comercial.

Caracterização de bacias hidrográficas

Para a etapa de caracterização foram construídas consultas em SGBD para retorno das propriedades hidrológicas de interesse: área da bacia, comprimento e desnível do rio principal e tempo de concentração da bacia. O SGBD utilizado foi o PostgreSQL, com o PostGIS: sua extensão espacial (gratuita e de código fonte livre), que inclui suporte para índices espaciais GiST e R-Tree, funções para processamento e análise de objetos GIS, e segue os padrões de interoperabilidade da *Open Geospatial Consortium (OGC)*.

Como importar shapes e rasters para o PostGIS

O primeiro passo do processo de caracterização das bacias hidrográficas é a importação para o banco de dados dos arquivos necessários, que são os rasters de altimetria (DEM) e os shapes das bacias e da hidrografia. Para automatizar essa importação foi criado um programa na linguagem *python* que lista os arquivos dentro de uma estrutura de diretórios e os importa através de comandos específicos do PostGIS: o *shp2pgsql* e o *raster2pgsql* (este disponível apenas a partir da versão 2.0.).

Tais comandos, *shp2pgsql* e *raster2pgsql*, convertem, respectivamente, um arquivo shape e um arquivo raster em uma sequência de comandos SQL, que pode então ser direcionada para um arquivo. Esse arquivo, ao ser executado através do comando *psql*, é convertido em uma tabela no banco de dados.

Para ganho de performance, é aconselhado o uso i) da opção “-I”, em ambos comandos, para indicar que deve ser criado um índice espacial do tipo GiST; ii) da opção ‘-t’ (esta especificamente no comando *raster2pgsql*), que divide o raster em várias partes iguais (de acordo com o tamanho informado em número de linhas e colunas) e cada parte é armazenada em um registro separado na tabela.

A bacia do Rio Doce

O Doce é o principal rio do Espírito Santo, tendo exercido papel fundamental na história do estado. É formado pela união do rio Piranga, que nasce na Serra da Mantiqueira (a sudoeste), com o rio do Carmo, que nasce na Serra do Espinhaço (a leste), ambos em Minas Gerais. Seu comprimento total é de 853 km, com foz no município de Linhares, no Espírito Santo [ANA (2013)].

Dentre as cidades banhadas pela bacia está Ervália, município brasileiro do estado de Minas Gerais, com 17.946 habitantes. A maior parte do território municipal pertence à bacia hidrográfica do Rio Doce e tem como principais cursos d'água o Rio Casca e seu afluente Ribeirão Turvão. A região sul do município, porém, pertence à bacia do Rio Paraíba do Sul.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A presente seção apresenta as funções criadas para caracterização hidrológica e uma ilustração com uma bacia hidrográfica à montante de uma área de risco hidrológico no município de Ervália-MG, subbacia pertencente à bacia do Rio Doce.

Cálculo da área da bacia

A consulta espacial para calcular a área da bacia é a mais simples de todo o processo. Na mesma query em que é feito o cálculo da área, o resultado já é atualizado diretamente na tabela onde ficarão armazenados os atributos específicos de cada bacia:

```
update shp_bacias set area_km2 = (st_area(geography(the_geom)))/1000000  
where area_km2 is null;
```

O resultado é encontrado através da função do PostGIS denominada *st_area*. Neste caso, o shape da bacia estava numa projeção geográfica (em graus), houve, portanto, a necessidade de fazer a conversão para metros. Isso foi possível fazendo uso da função *geography*.



Figura 2: Bacia hidrográfica do Rio Doce, ao centro, e limites das bacias vizinhas. Destaque para a localização das sedes municipais das cidades que compõem a bacia. Ao sul o município de Ervália, com parte de seu território (incluindo a sede) na bacia do Rio Doce, e parte na bacia do Rio Paraíba do Sul.

Cálculo do comprimento e desnível do rio principal

Uma vez que o SGBD já possui um shape de hidrografia com os rios principais pode-se ir diretamente ao cálculo das propriedades.

O comprimento é calculado através da função *st_length*; e assim como no cálculo da área, foi necessário o uso da função *geography* para fazer a conversão da projeção para metros.

Para chegar ao desnível do rio principal é necessário fazer a interseção da tabela que contém a geometria do rio, selecionando apenas suas extremidades, com a tabela do raster de altimetria correspondente. Abaixo a função desenvolvida dentro do programa para fazer o cálculo do desnível:

#Função para calcular o desnível de um curso d'água

```
#Recebe como argumento a indicação do shape do curso d'água em questão (identificado pelo id)
def calculaDesnivel(arg, id):
    #Cria conexão com o banco de dados
    conn = psycopg2.connect("dbname="+dbname+" user="+username+" password="+passwd)
    #Cria cursor
    cur = conn.cursor()
    #Seleciona maior e menor valor de altimetria do rio considerando seus extremos
    cur.execute("select min(inter.valor),max(inter.valor) from (select
cast((st_intersection(r.rast,st_boundary(s.the_geom))).val as decimal(9,0)) as valor from raster_bacia r, shp_hidrografia s
where (st_intersects(r.rast,s.the_geom)) and s.id = %s) as inter;",(id,))
    #Busca resultado
    result = cur.fetchone()
    min = result[0]
    max = result[1]
    #Calcula desnível
    desnivel = int(max) - int(min)
    #Atualiza informação no banco
    cur.execute('update shp_hidrografia set desn_m = %s',(desnivel))
    conn.commit()
    cur.close()
    conn.close()
    return desnivel
```


Pode-se ver na *query* em destaque que foi utilizada a função *st_intersection* para fazer a interseção e a função *st_boundary* para selecionar somente os extremos da geometria do rio. O uso da função *st_intersection* entre um raster e uma geometria resulta em um valor do tipo *geomval*, que nada mais é do que um tipo composto contendo geometria e valor; para selecionar somente o valor da interseção, é então necessário o uso do *'val'* juntamente com a função. Outra função utilizada na *query* é a *st_intersects* que restringe a consulta somente aos registros (partes) do raster em que há interseção com a geometria, tornando assim mais rápida a consulta.

Cálculo do tempo de concentração

A fórmula de KIRPICH, citada no *California Culvert Practice* (1955), traz que o tempo de concentração de uma bacia é:

$$T_c = 0,95(L^3/H)^{0,385}$$

Onde:

T_c = Tempo de concentração, em horas;

L = comprimento do curso d'água, em km;

H = desnível máximo, em m.

Como já foram encontrados o comprimento e desnível do rio principal da bacia, é possível calcular seu tempo de concentração através de tal fórmula.

Estudo de caso: bacia à montante do município de Ervália (MG) – bacia do Rio Doce

Uma vez carregados os rasters de altimetria e os shapes das bacias e hidrografia, e construídas as funções para cálculo das propriedades hidrológicas de interesse, tais funções foram aplicadas a um caso de exemplo. Tomou-se a área de risco hidrológico do município de Ervália(MG). A bacia à montante de tal área de risco é apresentada na Figura 3. Tal bacia foi delimitada utilizando o *software* TerraHidro, com limiar de drenagem em km² de 0.405.

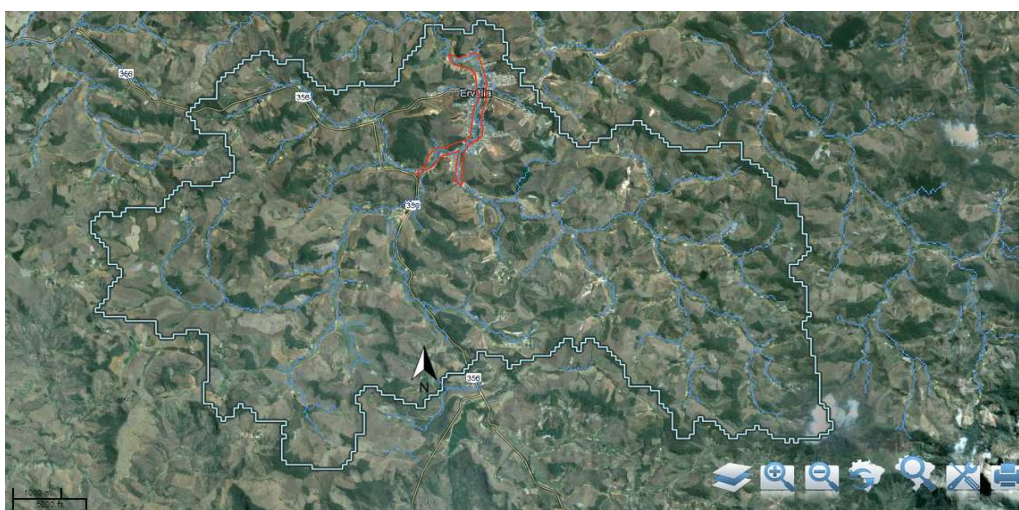


Figura 3: Bacia hidrográfica (contorno em azul ciano) à montante da área de risco (contorno em vermelho) do município de Ervália(MG). Em tom mais escuro de azul é possível ver a drenagem inferida via TerraHidro, com limiar de drenagem em km² de 0.405.



Figura 4²: Visualização da caracterização da bacia hidrográfica (contorno em azul ciano) à montante da área de risco (contorno em vermelho) do município de Ervália(MG).

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

O monitoramento de desastres naturais hidrológicos demanda conhecimento sobre as bacias hidrográficas à montante das áreas de risco. O cálculo de diversas propriedades hidrológicas de interesse pode ser efetuado diretamente pelo SGBD, com o uso de sentenças apropriadas, que utilizam funções com argumento ou retornos espaciais. Tal abordagem propicia não apenas uma maior eficiência do processo, mas também robustez e automação.

Foram apresentados os procedimentos para carregamento e manipulação eficientes de rasters e shapes no SGBD do PostgreSQL com extensão espacial PostGIS; bem como as funções para caracterização hidrológica.

A aplicação foi ilustrada com base na bacia à montante da área de risco hidrológico do município de Ervália(MG), pertencente à bacia do Rio Doce.

A representação e extração de informações de interesse hidrológico via bancos de dados contribui para a formação da chamada “inteligência hidrológica” [Teixeira (2012)], fundamental para o desenvolvimento de sistemas de monitoramento de desastres naturais.

O procedimento apresentado está em implantação operacional no Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Nacionais (Cemaden).

AGRADECIMENTOS: Os autores são gratos ao Msc. Vitor C. F. Gomes pelas valiosas discussões no início do trabalho, e aos coordenadores de pesquisa e desenvolvimento do Cemaden, respectivamente, Dr. Javier Tomasella e Dr. Carlos Frederico de Angelis, pelo esclarecimento de conceitos e apoio. Os autores também agradecem o suporte financeiro do CNPq (402240/2012-0).

² A visualização dos atributos da bacia foi através da plataforma SALVAR (Sistema de Alerta e Visualização de Áreas de Risco), desenvolvida pelo Cemaden.

REFERÊNCIAS

- ANA. Agência Nacional de Águas. Hidroweb. <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acessado em março de 2013.
- California Culvert Practice, 2nd ed. Department of Public Works, Division of Highways, Sacramento, 1955.
- Defesa Civil. (2012). Disponível em: <http://www.defesacivil.gov.br/index.asp>
- Jenson, S.K., Domingue, J.O. (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 54(11), 1593-1600.
- Linhares, C. A. (2005). Influência do desflorestamento na dinâmica da resposta hidrológica na bacia do rio Ji-Paraná/RO. Tese de doutorado em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, Brasil.
- Miranda, T. N. S., Santos, L. B. L., Carvalho, S. V. (2013). Autômatos Celulares Markovianos e aplicações em hidrologia: apresentando a biblioteca aberta HydroC. Submetido à Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF).
- Rennó, C. *et al.* (2008). HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sensing of Environment*, v. 112, n. 9, p. 3469-3481. ISSN: 00344257, DOI: 10.1016/j.rse.2008.03.018.
- Rosim, S.; Monteiro, A. M. V.; Rennó, C. D.; Oliveira, J. R. F. (2008). Uma ferramenta open source que unifica representações de fluxo local para apoio à gestão de recursos hídricos no Brasil. *IP. Informática Pública*, v. 10, p. 29-49.
- Santos, L. B. L. and Linhares, C. A. (2012). ArcGis, IDL-HAND e TerraHidro: avaliando eficácia e eficiência na delimitação de bacias hidrográficas usando diferentes fontes de dados altimétricos. *Anais do Congresso Brasileiro Sobre Desastres Naturais, Rio Claro (SP)*, ISBN 978-85-61203-18-4.
- Teixeira, A. A. (2012). Ottocodificação Estendida e Inteligência Hidrográfica em Bancos de Dados Geográficos. Tese de doutorado em Geociências Aplicadas, Brasília (DF), 425p.
-