

Heurística para o posicionamento de reservatórios d'água em terrenos representados por matrizes de elevação

J. R. Sousa, K. Nogueira, M. V. A. Andrade, J. Lisboa Filho, T. L. Gomes

Departamento de Informática – Universidade Federal de Viçosa (UFV)
36.570-000 – Viçosa – MG – Brazil

joserui.ufv@gmail.com, keiller.nogueira@ufv.br, marcus@dpi.ufv.br,
jugurta@ufv.br, thiago.luange@ufv.br

***Abstract.** This paper presents a method to determine the ‘best place’ in a terrain for the construction of a dam that allow to store a given volume of water. The main contributions of the proposed method are: a heuristic to select the ‘candidate points’ where to build the dam, the dam’s direction and extension is automatically determined and the storage capacity is calculated more accurately.*

***Resumo.** Este trabalho apresenta um método para determinação do “melhor local” em um terreno para a construção de uma barragem capaz de armazenar um certo volume de água. As principais contribuições são: uma heurística que seleciona os “pontos candidatos” onde construir a barragem, a direção e a extensão da barragem são calculadas automaticamente e a capacidade do reservatório gerado é determinada de maneira mais precisa.*

1. Introdução

A água é um elemento essencial à vida humana, sendo necessária em muitas atividades como abastecimento urbano, geração de energia elétrica, irrigação, navegação, pesca e, até mesmo, na condução de resíduos residenciais.

Portanto, torna-se imperioso adotar mecanismos de suporte ao gerenciamento de recursos hídricos, adotando como ferramenta o uso de sistemas de informação geográfica (SIG). Dentre as diversas aplicações envolvendo hidrologia, uma questão importante é a construção de reservatórios para armazenamento de água, que tem por objetivo maior suprir as demandas hídricas de regiões e comunidades que se encontram em situação de intermitência de água (Lopes e Freitas 2003).

O objetivo deste trabalho é determinar qual a “melhor” região de um terreno, representado por uma matriz digital de elevação (MDE), para se construir uma barragem que gere um reservatório capaz de armazenar um dado volume de água.

2. Trabalhos Relacionados

Este trabalho supõe que a região alagada será formada exclusivamente pela água proveniente dos rios da região, isto é, não serão considerados os possíveis alagamentos produzidos por precipitações chuvosas. Assim, a determinação da região a ser alagada será realizada utilizando a rede de drenagem do terreno que, de um modo geral, é composta pela direção de fluxo de escoamento e pelo fluxo acumulado que podem ser determinados por um dos métodos descritos em (Moore et al, 1991).

Segundo o DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas) (DNOCS, 1981) a fundação de uma barragem é a região que suporta o maciço, incluindo as ombreiras e o fundo do vale. A sua preparação deve ser cuidadosa, porque no subsolo de fundação e no maciço é que se encontram os pontos fracos de uma barragem. Por isso é suma importância uma posterior observação da região onde e como será posicionada a barreira.

Geralmente, o volume do reservatório pode ser obtido traçando várias curvas de nível, tomando um espaçamento uniforme entre elas, e calculando o volume entre duas curvas (Matos, 2003). Assim, o volume total corresponde à soma desses volumes. Para obter o volume de cada seção é necessário encontrar a área das superfícies geradas pelas curvas de nível. De forma geral, esta área pode ser obtida pelo método de Gauss (Beyer, 1987) que utiliza os pontos conhecidos do polígono para alimentar sua função e obter uma aproximação da área geométrica.

Vale dizer que não foi encontrado nenhum trabalho na literatura que descreva um outro método para obter o local mais adequado para a construção de uma barragem de modo que o método proposto neste trabalho pudesse ser avaliado comparativamente.

3 Metodologia

Como já foi dito, dado um terreno T e um valor k , o objetivo é determinar em que ponto do terreno (na verdade, de um rio em T) deve-se construir uma barragem de modo que esta seja capaz de armazenar um volume de água igual ou maior do que k .

De um modo geral, a solução proposta se baseia em utilizar uma heurística para avaliar a condição de cada ponto do rio receber uma barragem (seção 3.1). Caso o ponto seja apto, o passo seguinte é determinar a orientação, a altura e a extensão do reservatório, utilizando o algoritmo da seção 3.2.

Uma vez definida a barragem, o método da seção 3.3 calcula a área alagada e, desta forma, é possível determinar o volume do reservatório, utilizando o método da seção 3.4. Caso o volume for maior que k então o “custo” da construção da barragem naquele ponto é avaliado sendo que para isso, é utilizada uma função de custo¹ que envolve algumas variáveis (restrições) e seus respectivos pesos. O objetivo final é obter o ponto onde este “custo” seja mínimo. Se o volume do reservatório for menor que k , a altura corrente da barragem é acrescida de 1 metro e o processo retorna na etapa de determinação da represa. Isso ocorre até que o volume seja atendido ou até que a altura seja a máxima possível (o valor mínimo dos máximos locais à “direita” e à “esquerda” do ponto analisado (seção 3.1).

3.1 Heurística para determinar a aptidão de um ponto para receber uma barragem

Em áreas planas, a construção de uma barragem produz reservatórios rasos, o que pode aumentar consideravelmente o custo de construção, pois para se armazenar um grande volume de água nessas áreas é necessário construir uma barragem grande e/ou alta. Por

¹ No momento, o método utiliza uma versão preliminar da função de custo que considera apenas a área da lâmina d'água do reservatório. Na versão final, esta função deverá levar em conta se o reservatório irá alagar regiões com certas características como existência de estradas de rodagem, de ferrovias, áreas indígenas, de preservação, etc.

outro lado, em áreas de relevo irregular (vales), uma barragem relativamente pequena gera um reservatório com maior capacidade de armazenamento e com um menor espelho d'água. Regiões com vales são mais indicadas para construção da represa.

Para determinar se um ponto pertence a uma região plana ou não, isto é, se ele deve ser descartado ou não, a heurística utiliza a direção do fluxo no ponto para avaliar o terreno na direção em que a barragem será construída. Mais precisamente, dado um ponto p e dada a direção da barragem, este processo determina a elevação máxima dos pontos da barragem que estão “à direita” e “à esquerda” de p .

Após a obtenção dos máximos locais, o próximo passo é verificar se o ponto pertence a uma região plana ou íngreme. Este processo é realizado analisando a tangente do ângulo formado pela linha horizontal e pela “linha” que liga o ponto com o máximo local. Caso essa tangente seja maior que um certo valor pré-estabelecido, então o terreno é classificado como íngreme e o ponto em questão é candidato para construção da represa. Caso contrário, o terreno é considerado plano, e o ponto é descartado. Veja Figura 1a. Na verdade, um ponto só é considerado candidato, caso, em ambos os sentidos, o terreno seja considerado íngreme.

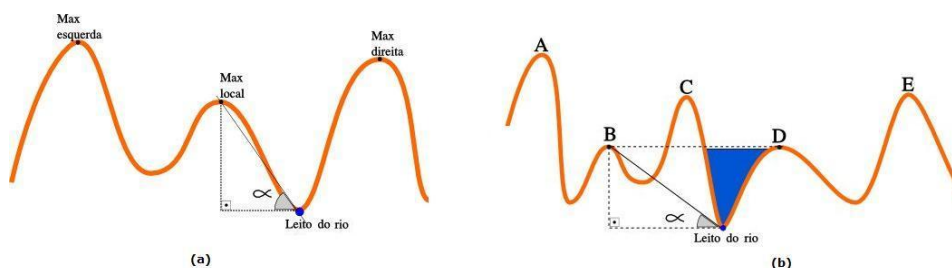


Figura 1. (a) A seleção do ponto baseado na sua inclinação (b) O máximo local C irá impossibilitar a construção da barragem ligando os pontos B e D. Logo, não é possível selecionar o B para teste em relação à inclinação.

Testes realizados mostraram que esta heurística obtém, em média, 70% das “melhores soluções”, isto é, das soluções ótimas encontradas pelo método “força bruta”.

3.2 Orientação e extensão da barragem

Dado um terreno T representado por uma matriz de elevação M , suponha que se deseja construir uma barragem de altura h num determinado local do terreno. Com um ponto do rio selecionado a orientação da barragem é determinada de modo que a barragem fique perpendicular ao fluxo do rio. Sua extensão é definida como sendo todos os pontos do terreno, ao longo da “linha” perpendicular ao rio, cuja elevação é menor do que a altura h . Partindo de p é realizado um percurso, em ambas as direções, sobre a “linha” perpendicular ao rio, até que uma posição do terreno com altura maior do que h seja alcançada (Figura 2).

3.3 Região alagada

Uma vez definida a barragem (sua posição, altura e extensão), o próximo passo é identificar a(s) região(ões) do terreno que serão alagadas devido o represamento do rio.

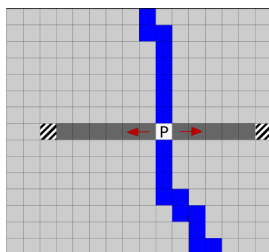


Figura 2. No desenho, a barragem de 12 pontos parte do ponto P e se estende até atingir os pontos de altura maior que h (pontos hachurados).

Definição: Dada uma matriz M e uma posição $p=(p_i, p_j)$ nesta matriz, as posições vizinhas a p são (p_i+1, p_j) , (p_i+1, p_j+1) , (p_i, p_j+1) , (p_i-1, p_j+1) , (p_i-1, p_j) , (p_i-1, p_j-1) , (p_i, p_j-1) e (p_i+1, p_j-1) . Dois pontos p_1 e p_2 são conexos se existe uma seqüência de pontos q_1, q_2, \dots, q_n com $q_1=p_1$ e $q_n=p_2$ tal que q_i é vizinho a q_{i+1} para todo $i=1,2,\dots, n-1$. Uma componente conexa na matriz M é um conjunto de pontos conexos que possuem uma determinada característica em comum. Em particular, uma $cc(h)$ é uma componente conexa formada pelos pontos conexos cuja altura é no máximo h .

Assim, a região a ser alagada após a construção de uma barragem de altura h será formada pelos pontos conexos à barragem cuja elevação é inferior ou igual à altura desta barragem. Mais precisamente, a região alagada será formada pela componente conexa $cc(h)$ que possui pelo menos um ponto de um rio.

Para determinar esta (variação da) componente conexa, usa-se uma adaptação do método *Connect*, proposto por (Franklin, 2006), que dada uma matriz de bits, isto é, contendo valores 0 e 1, obtém as componentes conexas formada por 0.

Assim, o método foi adaptado da seguinte forma: dada uma matriz de elevação M de dimensão $n \times n$ e dado o valor h , o método gera uma matriz M' de bits, também de dimensão $n \times n$, tal que a posição (i,j) na matriz M' irá conter o valor zero caso o valor na posição (i,j) da matriz M seja menor ou igual a h ; caso contrário, se na posição (i,j) da matriz M houver um valor maior do que h então será armazenado o valor 1 na posição (i,j) da matriz M' . Assim, o método *Connect* é aplicado à matriz M' e as componentes conexas obtidas correspondem às componentes conexas na matriz M cujos pontos possuem elevação no máximo h . Daí, para determinar a região alagada basta verificar qual(is) componente(s) possui(em) pelo menos um ponto num rio da rede de drenagem sendo que o respectivo ponto do rio deve estar a montante² da barragem.

3.4 Volume do reservatório gerado pela barragem

Suponha uma barragem de altura h construída numa MDE com resolução de r metros, isto é, onde cada célula corresponde a uma região com área $r \times r$. Assim, cada célula p com elevação e_p pertencente ao reservatório formado pela barragem é capaz de armazenar um volume de água $v(p)$ dado por (veja figura 3):

² Montante é todo um ponto de referência ou secção de um rio que se situa antes de um ponto referencial qualquer de um curso de água. Sendo assim a foz de um rio é o ponto mais a jusante deste rio, assim como a nascente é o seu ponto mais a montante.

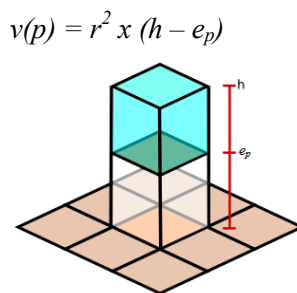


Figura 3. Volume de uma célula da MDE. Calculado pela multiplicação da “área da célula” pela diferença entre a altura da lâmina d’água e a altura da célula.

O volume (máximo) total do reservatório será dado pelo somatório do volume de todas as células que pertencem à região alagada.

5 Resultados

Foram realizados vários testes utilizando dados captados pela *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) (Sousa et al, 2006). Dentre eles, serão apresentados os resultados considerando uma região abrangendo a cidade de Viçosa, MG, Brasil, cujas coordenadas de latitude e longitude são 20°45'14"S, 42°52'55"O, respectivamente. A região utilizada inclui parte da bacia do ribeirão São Bartolomeu e é representada por uma MDE de 120 x 122 ou seja 14.640 células. Cada célula corresponde a uma região do terreno de dimensão 90 x 90 metros.

No primeiro teste, o objetivo foi obter um reservatório com, pelo menos, um milhão de metros cúbicos de água. O peso da variável que representa a lâmina d’água foi 3 e o peso da variável que representa a extensão da barragem foi 2. O resultado obtido pela heurística proposta foi o mesmo que o obtido pelo método da força bruta em que todos os pontos são testados. O resultado é mostrado na figura 4a. Este resultou numa barragem com extensão de 180 metros (2 pixels) e altura de 8 metros. A área alagada foi de 26 pixels ou 210.600m². O valor da função objetivo foi 82.

Em um segundo teste, o volume desejado foi de, no mínimo, 5 milhões de metros cúbicos de água. As variáveis que representam a lâmina d’água e extensão do reservatório receberam, respectivamente, os valores 2 e 8. O resultado obtido usando a heurística e usando força bruta foram os mesmos. O resultado é mostrado na figura 4b. Neste caso, foi gerada uma barragem com extensão de 270 metros (3 pixels) e altura de 19 metros. A área alagada totalizou 84 pixels ou 680.400m³. O valor da função objetivo nesse ponto foi de 192.

6 Conclusão e trabalhos futuros

Neste trabalho foi apresentado um método para a determinação da “melhor posição” para a construção de uma barragem que produza um reservatório com capacidade mínima igual a um valor pré-determinado. As principais contribuições são: a direção e a extensão da barragem, assim como a região alagada, são determinadas automaticamente considerando a altura da barragem; uma heurística seleciona os pontos candidatos e é apresentado um método alternativo (mais simples e mais preciso) para a determinação do volume do reservatório correspondente à região alagada.

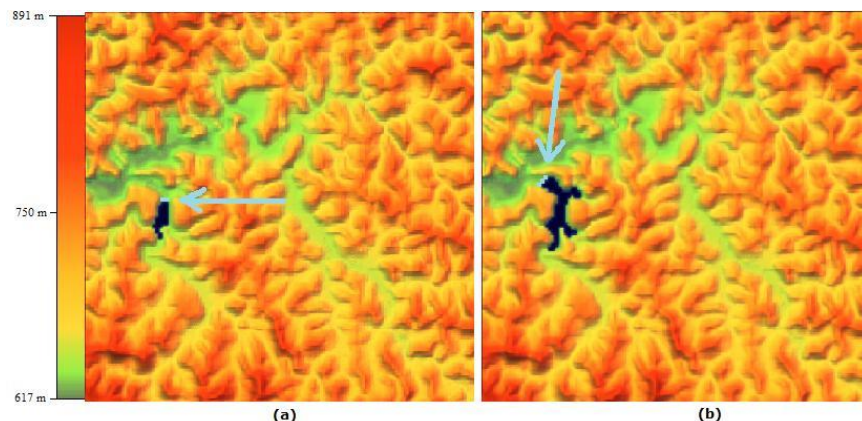


Figura 4. A parte mais escura da figura representa a área alagada devido a construção de uma barragem. (a) O volume do reservatório gerado é 1.012.500 m³. (b) O volume do reservatório gerado é 5.078.700 m³.

Este trabalho se encontra em andamento e o próximo passo será englobar a análise do terreno onde a barragem será construída para evitar que sejam alagadas áreas urbanas, indígenas e de proteção ambiental, além de ferrovias e rodovias.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais e pelo CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

Referências

- Beyer, W. H. (Ed.). CRC Standard Mathematical Tables, 28th ed. Boca Raton, FL: CRC Press, pp. 123-124, 1987.
- DNOCS. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS). Intruções gerais a serem observadas na construção das barragens de terra. 2ª. Edição revista e ampliada. Fortaleza. 1981. (Preparação das Fundações, 30-31).
- Franklin, W. R and Landis, E. Connected Components on 1000x1000x1000 Datasets. *In 16th Fall Workshop in Computational Geometry*, Smith College, Northampton, MA, 10-11 Nov 2006.
- Lopes, A.V. Freitas, M. A. S. Avaliação das demandas e ofertas hídricas na bacia do rio São Francisco usando modelo de rede de fluxo.
- Moore, I. D. Grayson, R. B. and Ladson. A. R. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. *Hydrological Processes*, 5:3-30, 1991.
- Matos, A. T., Silva, D. D., Pruski, F. F., 2003. *Barragens de Terra de Pequeno Porte*, 2ed, Viçosa: UFV, 124p. (caderno didático 73)
- Sousa, L. Nery, F. Matos, J. Metodologias de processamento de dados SRTM para a produção de modelos digitais de direções de escoamento. VIII Congresso da Água. Figueira da Foz, Portugal, 2006.