

Desenvolvimento da biblioteca HydroC – Estudos na delimitação estocástica de bacias hidrográficas

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq/INPE)

Lucas Valério de Oliveira (UNESP, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: lucasvalerio@live.com

Leonardo Bacelar Lima Santos (Cemaden, Orientador)
E-mail: santoslbl@gmail.com

Solon Venâncio de Carvalho (INPE, Orientador)
E-mail: solon@lac.inpe.br

Julho de 2015

Resumo

A delimitação e a compreensão das Bacias Hidrográficas é fundamental e possui papel importante para tomadas de decisões de planejamento urbano. Algumas das possíveis aplicações durante o estudo de bacias hidrográficas são: A identificação de regiões ao longo da bacia que estão suscetíveis a desastres naturais, dependendo do nível de ocupação dessas regiões podem causar grandes prejuízos socioeconômicos; e também utilizar o divisor de águas para que se obtenha uma melhor gestão e distribuição dos recursos hídricos. Devido ao papel importante da bacia hidrográfica, este trabalho teve como objetivo dar continuidade ao desenvolvimento da biblioteca HydroC de código aberto, que tem por objetivo analisar todas as características de uma bacia hidrográfica a partir de dados de altimetria local.

Introdução

A lei 9433/97 determina que a água é um bem dotado de valor econômico e dentre os objetivos do planejamento hídrico existe a preocupação em relacionar a gestão dos recursos hídricos com o uso do solo e com a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou devido ao uso inadequado dos recursos naturais. Pode-se notar que o domínio dos recursos hídricos é uma unidade fundamental para o planejamento urbano, de modo que favoreça o desenvolvimento econômico e social de uma determinada região.

Em virtude da expansão acelerada dos centros urbanos em conjunto com a falta de planejamento, ocorre os processos de mudança na paisagem, estas mudanças geralmente ocasionam a impermeabilização excessiva dos solos e a ocupação em áreas de risco. A transformação de áreas antes vegetadas para áreas impermeabilizadas, alteram o ciclo hidrológico e aumentam a velocidade de escoamento da água no solo, ocasionando assim as inundações e alagamentos urbanos. As inundações urbanas é quando o volume de água de um determinado canal de drenagem excede o limite de armazenamento da calha do rio e passa a ocupar as margens, causando impacto direto nas ocupações ribeirinhas.

De acordo com a Defesa Civil (Castro,1998), os desastres são resultados de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, que causam danos humanos, materiais e ambientais e conseqüentemente prejuízos econômicos e sociais. Portanto as alterações ocasionadas pelo processo de urbanização podem acelerar e agravar os danos e prejuízos causados pelos desastres à população.

A delimitação das bacias hidrográficas favorece o reconhecimento dos recursos hídricos no espaço (redes de drenagem), podendo assim reconhecer regiões adequadas para o desenvolvimento populacional, regiões que são potenciais áreas de risco, e também definir regiões da bacia que são ideias para o desenvolvimento econômico.

A bacia hidrográfica pode ser compreendida como, uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. A bacia hidrográfica compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (Tucci, 1997).

A preocupação com os problemas hídricos resultaram no desenvolvimento de uma solução em código aberto para a análise de bacias hidrográficas, denominada HydroC

(HydroC - SourceForge, 2014; SANTOS et al., 2015). Toda a biblioteca foi desenvolvida na linguagem C. Para efetuar as operações hidrológicas é necessário um arquivo de entrada DEM (Modelo Digital de Elevação) de uma determinada região. Com os valores de altitude da região, é possível obter todas as características da bacia hidrográfica como, por exemplo: Direção de Fluxo, Área acumulada e a Drenagem.

A justificativa do presente estudo é a necessidade de ofertar de um produto que realiza cálculos e delimitações hidrográficas e que seja disponível inteiramente em código aberto - podemos assim promover a produção intelectual colaborativa, tornando assim permitido que diversos usuários repliquem e aprimorem as funções já desenvolvidas, mantendo a integridade do(s) autor(es) inicial(is), diferentemente dos softwares proprietários que apenas o grupo de desenvolvedores tem acesso aos arquivos fontes.

Este trabalho teve como objetivo dar continuidade ao projeto de Iniciação Científica desenvolvido pelo bolsista Tiago N. S. Miranda, em 2013, orientado pelos os mesmos orientadores. Este relatório é referente às atividades de desenvolvimento e melhorias realizados na biblioteca HydroC durante o período entre Agosto de 2014 e Junho de 2015.

As atividades foram efetuadas em duas etapas: a primeira foram realizadas as modificações das funções e padronização de código da biblioteca, e a outra etapa foi a implementação do modelo estocástico para determinação de bacias hidrográficas. A fim de facilitar a utilização da biblioteca criou-se tutoriais passo-a-passo de utilização da biblioteca em um projeto e também de como delimitar bacias usando a biblioteca HydroC.

Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento da versão Beta da HydroC tomou-se como base a última versão disponibilizada no repositório SourceForge, e a partir de então foi criada uma lista de modificações estruturais, padronizações e de novas funcionalidades a serem implementadas na biblioteca durante o período de projeto. Todos os softwares utilizados para o desenvolvimento da HydroC são programas de livre acesso, para a escrita do código em C foi utilizado o Falcon C++, para organização de arquivos e gerenciamento do projeto foi utilizado o Assembla e para repositório de código foi utilizado o GitHub, para comparação de resultados foi utilizado o software TerraHidro desenvolvido pelo INPE.

Para obter as delimitações de bacias hidrográficas deste trabalho foram utilizados dois modelos digitais de elevação denominados DEM padrão 1 e 2, sendo o primeiro um DEM construído manualmente e o segundo DEM que representa um terreno obtido a partir de dados de altimetrias reais.

Desenvolvimento e resultados

Durante a etapa inicial de desenvolvimento foram realizadas padronizações de código, nome das funções e organização estrutural dos arquivos. Na versão anterior da biblioteca havia apenas um arquivo “.h” que centralizava todas as funções implementadas, este arquivo foi dividido em diversos conjuntos de arquivos “.h” e movidos para a pasta “libs”, estas modificações tem por objetivo facilitar o processo de manutenção e modificação por outros desenvolvedores. A pasta “src” contém todos os arquivos fontes; a pasta “obj” contém todos os arquivos objetos; a pasta “build” contém os arquivos binários,

os arquivos de entrada e os arquivos de saída. Já a pasta “*example*” contém um exemplo básico de como utilizar a biblioteca para delimitação de bacias, enquanto a pasta “*docs*” contém toda a parte de documentação e tutoriais destinados ao desenvolvedor.

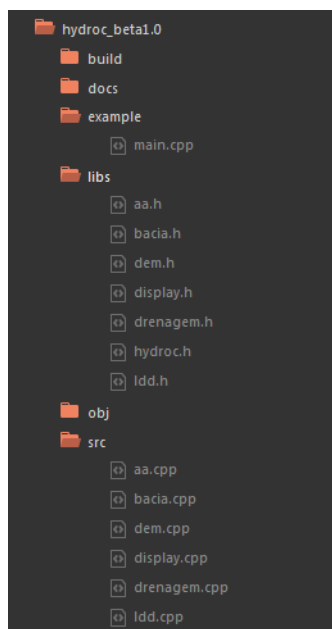


Figura 1 - Estrutura de organização das pastas

A partir da versão Beta, implementou-se um padrão para a criação de novos métodos na biblioteca. A nomenclatura adotada deve seguir a seguinte estrutura de nome:

<nome_da_lib><nome_da_função><tipo_da_variável>

O primeiro nome do método deve indicar a qual conjunto lib “.h” ele pertence, seguido do nome específico da função e por fim o tipo de variável a ser tratada pelo método. Sendo que a primeira letra será sempre minúscula, enquanto que as outras iniciais serão sempre maiúsculas.

```
void demFileF (FILE *fileDem, float **dem, int n, int y) {
    for (int i=0; i<=n-1; i++) for (int j=0; j<=y-1; j++) fscanf(fileDem,"%f"
        ,&dem[i][j]); // laço para fazer a leitura no arquivo
}

void demFileI (FILE *fileDem, int **dem, int n, int y) {
    for (int i=0; i<=n-1; i++) for (int j=0; j<=y-1; j++) fscanf(fileDem,"%d"
        ,&dem[i][j]); // laço para fazer a leitura no arquivo
}
```

Figura 2 - Padronização dos nomes das funções

Visando a maior compatibilidade entre os dados gerados pela HydroC e dos outros softwares a codificação do LDD foi modificada. A representação de LDD é feita a partir de números que indicam o sentido de escoamento superficial da água em um certo terreno. Para facilitar o processo de comparação foi implementado a codificação utilizada pelos softwares ArcGIS e TerraHidro,

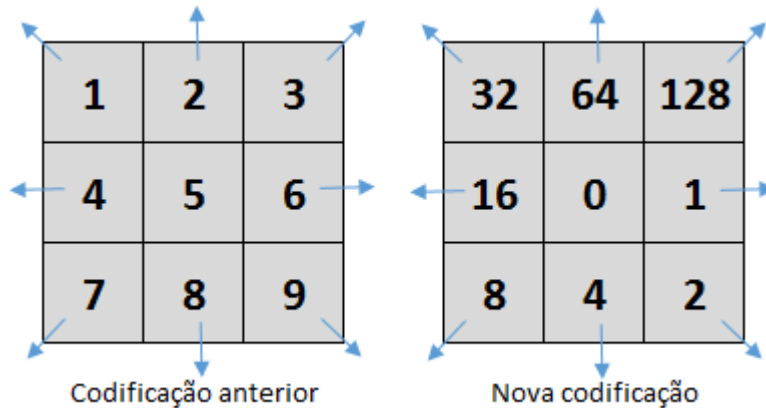


Figura 3 - Resultado da alteração na codificação do LDD

```
LDD UIAUEL PARA ESCOLHA DOS EXUTORIOS:
  2      4      4      4      4      4      4      4      4      8
  1     128     64     64     1     1     1     64     16     16
  1     128    128     1     128    128    128    64     32     16
  1     128     1     1     128    128    64     64     64     16
  1     128     1     1     128    128    128    64     64     16
  1     128     1     128    64     128    64    128    64     16
  1     128    128    64     64     128    64     1     0     16
  1     128     1     128    128    128    128    64     64     16
  1     4       1     128    128    128    128    64     1     16
 128    64     64     64     64     64     64     64     64     32
Pressione qualquer tecla para continuar. . .
```

Figura 4- LDD gerado pela HydroC com a nova codificação

A partir das mudanças dos valores de LDD, definiu-se também um novo modelo de representação por cores na versão OpenGL da HydroC, desenvolvida no projeto de Iniciação Científica pela bolsista Jéssika Fratari, de 2013.2 a 2014.1, sob orientação dos mesmos orientadores. Ficou estabelecido um conjunto padrão de cores opostas para que facilita-se a visualização e interpretação dos dados apresentados.

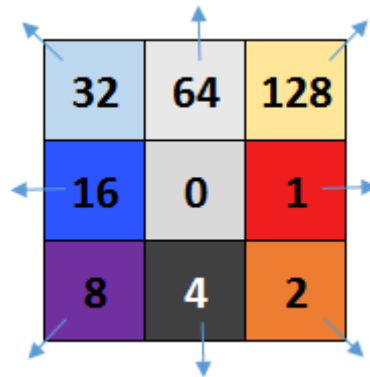


Figura 5 - Novas cores LDD

Durante os primeiros comparativos entre a HydroC e o TerraHidro foi observado que o método utilizado para realizar a operação de direção de fluxo pela HydroC era diferente do realizado pelo TerraHidro, já que os resultados divergiam. O método utilizado por ambos é o D8, que consiste na verificação dos oito vizinhos ao redor de uma célula, porém, a HydroC busca apenas a célula ao redor de menor cota, enquanto que o software TerraHidro busca a maior declividade entre a célula central e ao seu redor. Uma nova opção foi, então, inserida na HydroC: considerar o escoamento para o vizinho de maior declividade.

Na versão anterior da HydroC era possível apenas trabalhar com matrizes quadradas de DEM e de valores inteiros. Diante desta limitação, foram realizadas modificações e revisões em todas as funções, para que garantisse que a biblioteca fosse capaz de aceitar matrizes retangulares e com valores decimais de altitudes, conforme exemplificado na figura 6.

DEM:

430.00	447.00	462.00	454.00	454.00	449.00	456.00	448.00	431.00	419.00	412.00	411.00	406.00	403.00	404.00	398.40	404.00	398.80
401.00	406.00	407.00	411.00	422.00	426.00	431.00	436.00	434.00	426.00	427.00	421.00	414.00	410.53	416.00	420.00	422.00	427.00
429.00	441.00	462.00	466.00	463.00	458.00	457.00	456.00	434.00	421.00	412.00	408.00	406.00	403.00	404.00	398.20	404.00	403.00
406.00	408.00	413.00	424.00	436.00	439.00	441.00	435.00	421.00	418.00	412.00	410.41	410.47	416.00	416.00	420.00	427.00	439.00
428.00	435.00	462.00	472.00	474.00	473.00	462.00	453.00	441.00	423.00	421.00	411.00	403.00	402.00	405.00	398.20	404.00	406.00
410.00	413.00	421.00	432.00	442.00	443.00	430.00	424.00	420.00	418.00	410.35	417.00	425.00	421.00	428.00	434.00	427.00	465.00
432.00	440.00	455.00	479.00	478.00	474.00	469.00	455.00	449.00	434.00	418.00	414.00	407.00	403.00	401.00	398.00	403.63	406.00
410.00	412.00	426.00	432.00	438.00	439.00	436.00	422.00	419.88	417.00	410.29	421.00	427.00	432.00	439.00	397.00	452.00	465.00
432.00	440.00	465.00	474.00	478.00	469.00	461.00	449.00	452.00	439.00	424.00	412.00	412.00	406.00	402.00	404.00	397.80	403.00
406.00	412.00	426.00	428.00	432.00	438.00	435.00	422.00	419.00	417.00	417.00	410.24	425.00	440.00	450.00	459.00	466.00	472.00
440.00	450.00	465.00	474.00	474.00	469.00	466.00	449.00	440.00	428.00	418.00	413.00	410.00	406.00	404.00	403.00	404.00	397.60
403.00	410.00	420.00	428.00	432.00	431.00	431.00	416.00	415.00	410.12	410.18	415.00	425.00	435.00	446.00	456.00	465.00	470.00
454.00	461.00	471.00	476.00	474.00	469.00	466.00	456.00	435.00	420.00	413.00	410.00	406.00	404.00	404.00	404.00	397.40	403.00
402.00	404.00	412.00	425.00	434.00	431.00	431.00	413.00	410.06	416.00	416.00	421.00	430.00	435.00	445.00	454.00	462.00	468.00
462.00	469.00	475.00	478.00	480.00	474.00	466.00	456.00	429.00	422.00	413.00	410.00	407.00	402.00	401.00	397.20	404.00	406.00
405.00	406.00	410.00	419.00	431.00	430.00	425.00	413.00	410.06	410.00	416.00	425.00	430.00	437.00	446.00	454.00	459.00	463.00
467.00	479.00	488.00	485.00	480.00	472.00	466.00	454.00	429.00	422.00	417.00	413.00	408.00	405.00	397.00	397.00	397.00	405.00
397.00	397.00	409.00	412.00	421.00	424.00	420.00	414.00	411.00	410.00	416.00	425.00	434.00	444.00	450.00	453.00	456.00	455.00
471.00	483.00	491.00	492.00	482.00	473.00	463.00	451.00	435.00	432.00	417.00	413.00	418.00	412.00	411.00	406.00	405.00	397.00
407.50	408.00	397.00	411.00	418.00	418.00	418.00	414.00	408.67	409.00	418.00	425.00	434.00	449.00	460.00	457.00	451.00	451.00
474.00	484.00	492.00	487.00	483.00	472.00	464.00	456.00	441.00	435.00	435.00	424.00	418.00	412.00	421.00	417.00	410.00	410.00
411.00	399.33	411.00	397.00	410.00	416.00	415.00	408.33	411.00	418.00	426.00	436.00	446.00	449.00	460.00	445.00	444.00	443.00
478.00	483.00	489.00	489.00	481.00	472.00	467.00	458.00	452.00	446.00	438.00	439.00	427.00	421.00	421.00	417.00	408.00	405.00
401.67	411.00	411.00	397.00	409.00	411.00	411.00	407.67	417.00	427.00	435.00	442.00	447.00	454.00	454.00	445.00	444.00	437.00
484.00	490.00	490.00	487.00	480.00	473.00	464.00	463.00	458.00	453.00	445.00	441.00	438.00	422.00	418.00	416.00	408.00	405.00
405.00	415.00	416.00	405.00	397.00	405.00	407.00	410.00	419.00	428.00	439.00	443.00	446.00	442.00	442.00	444.00	442.00	437.00
484.00	483.00	481.00	482.00	483.00	478.00	467.00	458.00	454.00	453.00	454.00	447.00	438.00	434.00	421.00	424.00	415.00	404.00
405.00	415.00	414.00	408.00	407.00	397.00	407.00	413.00	423.00	431.00	439.00	441.00	439.00	438.00	437.00	440.00	441.00	435.00
483.00	483.00	481.00	475.00	478.00	476.00	474.00	471.00	467.00	463.00	459.00	453.00	444.00	439.00	433.00	430.00	420.00	411.00
408.00	411.00	414.00	408.00	397.00	408.00	409.00	415.00	425.00	434.00	438.00	435.00	434.00	435.00	434.00	436.00	435.00	431.00
478.00	476.00	474.00	475.00	478.00	464.00	466.00	467.00	466.00	463.00	457.00	453.00	448.00	441.00	436.00	437.00	432.00	427.00
417.00	412.00	409.50	405.00	397.00	408.00	414.00	421.00	430.00	433.00	429.00	419.00	416.00	420.00	423.00	427.00	428.00	426.00
478.00	475.00	472.00	469.00	465.00	464.00	466.00	452.00	457.00	457.00	454.00	451.00	448.00	444.00	437.00	432.00	429.00	430.00
422.00	412.00	406.00	408.00	397.00	409.00	414.00	421.00	423.00	424.00	419.00	412.00	404.00	406.00	412.00	421.00	424.00	422.00
478.00	470.00	462.00	459.00	454.00	451.00	451.00	452.00	457.00	439.00	443.00	446.00	446.00	445.00	444.00	443.00	436.00	434.00
431.00	424.00	413.00	404.00	397.00	405.00	408.00	415.00	423.00	424.00	412.00	402.00	399.00	397.00	403.00	413.00	420.00	420.00

Figura 6 - Leitura de DEM retangular 36 colunas x 18 linhas que representa parte do município de Agua Boa - Mato Grosso, município monitorado pelo CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais) por ter áreas de risco hidrológico

Para delimitação de Bacias Hidrográficas pelo modelo estocástico foram desenvolvidas uma função de “roleta” equiprovável. A partir de um evento de precipitação o objetivo da “roleta” é direcionar todo o fluxo pelo método D8, aleatoriamente, para uma célula de menor cota. Desta forma representamos as bacias geradas pelo método equiprovável como sendo um mapa que indica a probabilidade de que cada ponto do terreno faça parte ou não da Bacia Hidrográfica. As figuras 7 e 8 representam a diferença entre a abordagem determinística e a abordagem equiprovável.

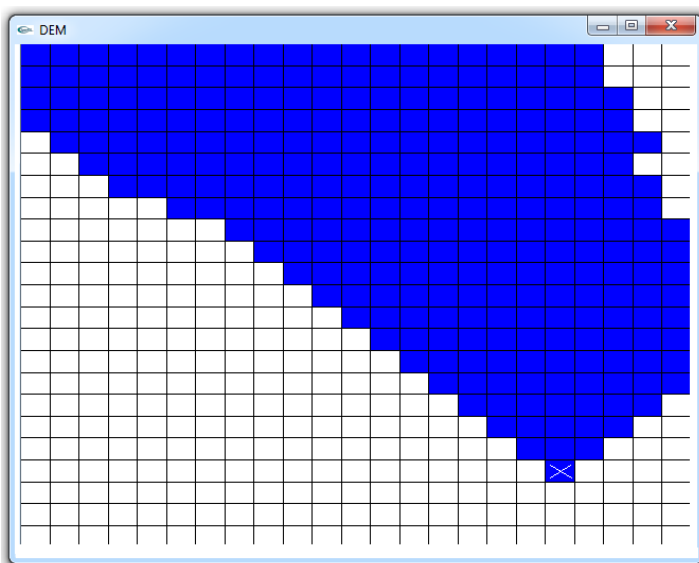


Figura 7- Bacia Hidrográfica tradicional (determinística) delimitada à montante da célula (19,18) no Modelo Digital de Elevação real referente à região noroeste do município de Guaratinguetá - São Paulo- Brazil.

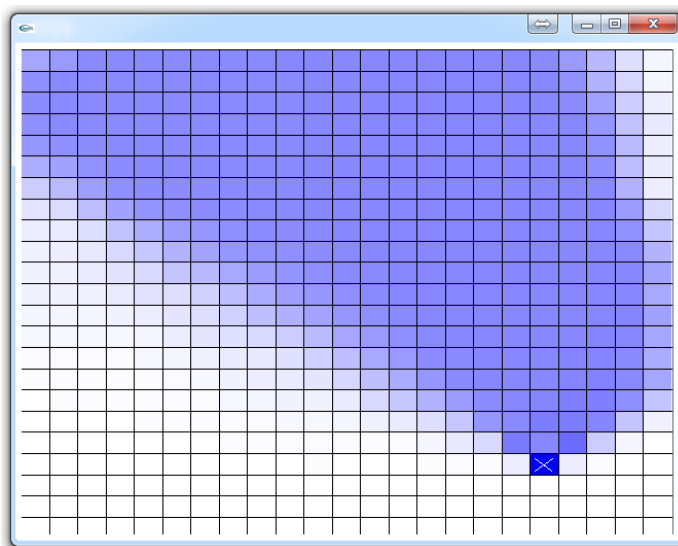


Figura 8 Ilustração em cores do mapa de probabilidade do pertinência de cada célula à bacia hidrográfica à montante da célula sinalizada com um “X” branco no Modelo Digital de Elevação real referente à região noroeste do município de Guaratinguetá - São Paulo – Brazil

Foi evidenciado as diferenças entre os dois métodos de representação de bacias. Enquanto a bacia hidrográfica determinística possui uma forma rígida a estocástica possui uma forma mais esfumada, isto é devido a diferença na probabilidade entre as células de fazer parte da bacia.

Dentre os resultados obtidos pela forma equiprovável foram definidos três tipos de bacia: a modal (representação mais frequente dentre todas as diferentes configurações das bacias), a estocástica (mapa de probabilidade de todas as células) e a determinística (que considera todas as células que contribuem para o escoamento). Para o estudo de investigação da figura 9, foram encontradas 29345 bacias diferentes, considerando as 100.000 simulações. A partir dos resultados pode se observar que existem diversas células

(por exemplo a representada pela letra “C”), que estão presentes na bacia estocástica, porém, não estão contida na delimitação de bacia modal nem determinística, já a célula representada pela letra “a” está contida na bacia determinística, porém não se encontra na bacia modal. Isto mostra a importância de um modelo hidrológico probabilístico, já que no processo de delimitação de bacias desconsideramos a participação diversas células pelo modelo determinístico.

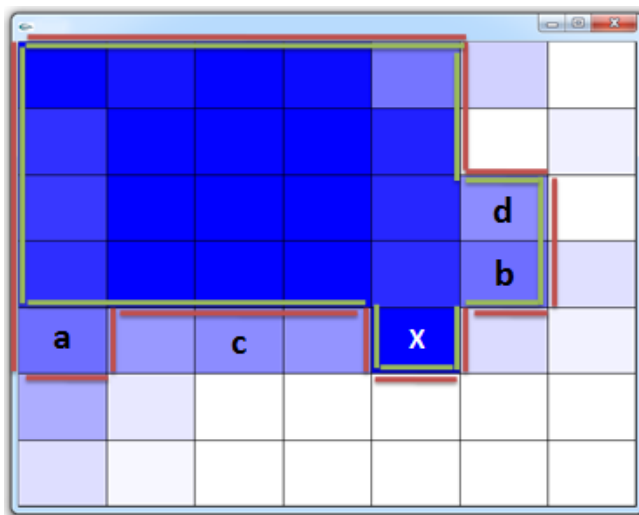


Figura 9 - Ilustração em cores do mapa de probabilidade de cada célula da bacia hidrográfica à montante da célula sinalizada com um “X” branco. Quanto mais forte o tom de azul maior o valor da probabilidade. Em vermelho o contorno da bacia determinística (abordagem tradicional) e em verde o contorno da bacia modal.

Conclusão

O presente trabalho teve seus objetivos alcançados já que a aplicação dos modelos determinísticos e equiprováveis, geraram resultados muito importantes para uma compreensão mais aprofundada da bacia hidrográfica. A comparação de resultados mostra que na representação determinística estamos descartando alguns resultados que podem fazer diferença numa situação real.

No decorrer da pesquisa, pode notar o quão importante são os estudos aplicados das bacias hidrográficas, com a participação no projeto “Quantificando o impacto de inundações na mobilidade das pessoas no espaço urbano” (IFUM), que relaciona os atributos de uma bacia hidrográfica com os fluxos migratórios em um centro urbano e partir disso determina qual é o impacto causado na mobilidade devido a um evento crítico hidrológico. Durante a participação neste projeto foram adquiridos diversos conhecimentos em Sistema de informação geográfica e também ao estudo de alguns algoritmos específicos como o de classificação de rede de drenagem pelo método Strahler e o de análise da diferença altura em relação a vizinhança de uma rede de drenagem (HAND).

Referências

Gestão de Recursos Hídricos. Disponível em:

<http://ecologia.ib.usp.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=144&Itemid=423>. Acesso em: 22 maio. 2015.

HydroC. Disponível em: <<http://sourceforge.net/projects/hydroc/>>. Acesso em: 22 maio. 2015.

Introduzindo Hidrologia. Disponível em:

<http://www.ctec.ufal.br/professor/crfj/Pos/Hidrologia/apostila_Completa_2008.pdf>. Acesso em: 22 maio. 2015.

LEI Nº 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm>. Acesso em: 22 maio. 2015.

LIMA SANTOS, L. B. et al. HydroC - An open source hydrological library with educational purposes. **Modelling in Science Education and Learning**, v. 8, n. 1, p. 35, 13 jan. 2015.

MANUAL DE DESASTRES - VOLUME I - DESASTRES NATURAIS. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=47a84296-d5c0-474d-a6ca-8201e6c253f4&groupId=10157>. Acesso em: 22 maio. 2015.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 43–60, 2008.

SOUZA JORGE, A. A. et al. Free computational approach for Strahler classification of Brazilian rivers related to natural disasters. **Modelling in Science Education and Learning**, v. 8, n. 1, p. 23, 13 jan. 2015.

TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas.** [s.l.] ABRH, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicações.** [s.l.] ABRH, 2009.

Anexos

- **Participação em eventos, congressos, exposições e feiras:**

1. Seminário Internacional de Mobilidade Urbana. 2014. (Seminário).

2. XI Semana da Engenharia Ambiental - EESC – USP - São Carlos (SP)
3. Encontro Sobre Sustentabilidade e Resíduos Sólidos. Unesp ICT-SJC. 2014. (Encontro).
4. Reunião Regional da SBPC no Vale do Paraíba - Desastres Naturais no Brasil e Possíveis Tecnologias de Combate. 2014.

Glossário:

1. DEM: É a representação matemática contínua da distribuição espacial de variações de altitude numa área.
2. Bacia Hidrográfica: Uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. Compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório
3. LDD (Direção de fluxo): É uma matriz gerada a partir de um DEM, sendo composta por valores que indicam a direção de escoamento de água para um terreno vizinho ou para ele mesmo.
4. Área acumulada: É a quantidade de células que escoam direta ou indiretamente para a célula em questão
5. Drenagem: É o caminho de escoamento a partir da captação de água em uma bacia, este valor depende de um limiar de drenagem (Número mínimo de área acumulada para fazer parte da drenagem).
6. Desastres naturais: O desastre natural é uma catástrofe que ocorre quando um evento físico provoca direta ou indiretamente danos extensos à propriedade, faz um grande número de vítimas, ou ambas.
7. Inundações: É o resultado de ações antrópicas de modificação do solo dificultando a absorção de água, assim, potencializando os danos causados a população.
8. Alagamentos: Quando o volume de água em um certo local aumenta rapidamente e o sistema de vazão não o suporta.

9. Enchentes: Quando o volume de água precipitada é tão grande, que a água da drenagem ultrapassa as calhas do rio. Este evento tem uma certa frequência e não tem interferência antrópica.
10. Frequência: Número de eventos em um certo intervalo de tempo
11. Hidrografia: Estudo das águas
12. Impacto: impacto é o choque de um objeto contra algo e suas consequências.
13. Vulnerabilidade: Grau de perda do conjunto de elementos expostos em resultados da ocorrência de um processo perigoso.
14. Susceptibilidade: Representa a propensão para uma área ser afetada por um processo perigoso
15. Risco: probabilidade de perigo, geralmente com ameaça física para o homem e/ou para o meio ambiente.