

DESENVOLVIMENTO DE UM BANCO DE DADOS ESPACIAL PARA A ESTIMATIVA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DIRETO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

*Alexandro Gularte Schäfer¹**

Resumo – Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta computacional estruturada para armazenar informações de uma bacia hidrográfica e realizar estimativas de precipitação efetiva. Para tanto, o método do número de curva do Natural Resource Conservation Service (NRCS) também conhecido como método SCS-CN foi integrado a um banco de dados espacial, por meio de consultas em linguagem SQL e Spatial SQL. A ferramenta foi construída a partir da análise dos requisitos, passando pela modelagem conceitual, projeto lógico, projeto físico, desenvolvimento de consultas e implementação. O Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) escolhido foi o PostgreSQL, com sua extensão espacial PostGIS. O gvSIG foi utilizado como visualizador do banco de dados. A bacia hidrográfica do rio Atuba, na região metropolitana de Curitiba-PR, foi utilizada para a realização de testes de verificação das funcionalidades da ferramenta. Os resultados preliminares obtidos apontam para uma modelagem conceitual e lógica adequada. A ferramenta é capaz de quantificar o uso e ocupação do solo, calcular valores médios de impermeabilização e do parâmetro CN e estimar a precipitação efetiva na bacia hidrográfica, para um determinado evento de precipitação.

Palavras-Chave – banco de dados espacial, método do número de curva, precipitação efetiva

INTEGRATION OF THE CURVE NUMBER METHOD IN A SPATIAL DATABASE FOR RUNOFF ESTIMATING IN WATERSHED

Abstract – This paper presents the development - modeling, analysis and implementation – of a computational tool that aims at providing the estimation of runoff in a watershed. Thus, the curve number method of the Natural Resource Conservation Service (NRCS) also known as SCS-CN method has been integrated into a spatial database in the form of queries in SQL and Spatial SQL. The tool was built based on the analysis of the requirements, through conceptual modeling, logical design, physical design, development, consultation and implementation. The Database Management System (DBMS) chosen was the PostgreSQL, with its spatial extension PostGIS. The gvSIG was used as the database viewer. The study area was the Atuba watershed in the metropolitan region of Curitiba-PR. Preliminary results indicate an adequate modeling, the tool is able to quantify the LULC, calculate the average of imperviousness and of CN parameter and estimate the runoff in the watershed, for a given rainfall event.

Keywords – spatial database, curve number method, runoff

¹ Afiliação: Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA. E-mail: Alexandro.schafer@unipampa.edu.br.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente um dos principais problemas relacionados aos recursos hídricos no Brasil é o impacto resultante do desenvolvimento urbano, tanto internamente, nas cidades, quanto externamente, pela exportação de poluição e inundações para os trechos dos rios a jusante da cidade (Brasil, 2006). Na busca pela minimização dos impactos causados pelas alterações na cobertura superficial do terreno, é de suma importância o entendimento das consequências dessas alterações nos processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica, bem como a integração desse entendimento no planejamento do desenvolvimento da mesma.

A falta de dados fluviométricos consistentes e representativos é um dos maiores problemas enfrentados durante a análise e avaliação do regime hidrológico de bacias hidrográficas brasileiras na atualidade (NUNES; FIORI, 2007). Nesse sentido, os modelos hidrológicos chuva-escoamento podem ser utilizados para estimar o escoamento superficial direto e auxiliar no entendimento e na realização de prognósticos dos principais impactos advindos do processo de urbanização.

Dada a grande quantidade de dados de natureza espacial e não espacial usados para descrever a heterogeneidade de uma bacia hidrográfica e a complexidade de manipulação desses dados, a tecnologia de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) vêm sendo largamente utilizada a simulação da precipitação efetiva. Nesse contexto, este artigo apresenta o desenvolvimento de um banco de dados espacial, com base no conceito de arquitetura integrada em SIG e no método de integração entre SIG e modelos hidrológicos. O método do número de Curva do NRCS (método SCS-CN) foi utilizado para a estimativa da precipitação efetiva e dos volumes de escoamento superficial. Segundo Ebrahimian et al. (2009), a aplicação do método SCS-CN com SIG facilita a estimativa do escoamento superficial em bacias hidrográficas e pode aumentar a exatidão dos dados computados.

2. MATERIAIS E MÉTODO

O processo de desenvolvimento do banco de dados seguiu as seis fases do projeto e do processo de implementação de um banco de dados, definidas por Elmasri e Navathe (2005): a) levantamento e análise de requisitos; b) projeto conceitual do banco de dados; c) escolha de um SGBD; d) mapeamento do modelo de dados (projeto lógico do banco de dados); e) projeto físico do banco de dados; f) implementação do sistema de banco de dados. Acrescentou-se o desenvolvimento das consultas como uma sétima fase nesse processo.

A modelagem conceitual foi realizada utilizando-se as técnicas do modelo entidade-relacionamento (E-R), com base na análise semântica das variáveis envolvidas na verificação das características de uma bacia hidrográfica e na estimativa do escoamento superficial direto.

Os requisitos levados em consideração na escolha do SGBD foram: possuir extensão espacial, ser um software gratuito, possuir sólida documentação, estar sendo usado com sucesso em empreendimentos, existir a possibilidade clara de continuidade de utilização e desenvolvimento da tecnologia. Com base nesses requisitos, o sistema gerenciador de bancos de dados (SGBD) escolhido para implementar o banco de dados espaço-temporal foi o PostgreSQL com sua extensão espacial PostGIS.

A fase de projeto lógico consistiu no mapeamento do modelo conceitual para o Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) PostgreSQL. O resultado do projeto lógico foi um

esquema do banco de dados no modelo de dados de implementação do SGBD. O projeto lógico foi desenvolvido no software MicroOLAP Database Design for PostgreSQL, que é um sistema de projeto de banco de dados que integra projeto, modelagem, criação e manutenção em um único ambiente.

Na fase de projeto físico, a estrutura definida no projeto lógico foi mapeada para o SGBD PostgreSQL. Utilizando linguagem SQL e SQL Spatial, foram desenvolvidos os scripts para a criação das tabelas e restrições definidas na fase de projeto lógico. Os softwares usados no projeto físico foram o pgAdmin III e o RazorSQL.

As consultas foram desenvolvidas utilizando linguagem SQL e SQL spatial. No quadro 01, apresenta-se alguns exemplos de scripts de consultas desenvolvidos para calcular os principais parâmetros do método SCS-CN e estimar a precipitação efetiva. Esses scripts fazem uso de funções geométricas, operadores matemáticos e funções construtoras agregadas da linguagem SQL.

Quadro 1: Operações utilizadas na verificação das características da bacia hidrográfica e na estimativa do escoamento superficial direto.

Parâmetro	Fórmula	Operação
Cálculo do CN médio na bacia em um determinado cenário	$\overline{CN} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \times CN_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (1)$	<pre>SELECT SUM(CN*ST_AREA(ST_INTERSECTI ON(cg.geom_cst, sg.geom_solos)))/SUM(ST_AREA(bac ia_gm))</pre>
Escoamento superficial direto para uma URH	$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P + S - I_a} \quad (2)$ $S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3)$	<pre>SELECT ((P-(λ*((25400/CN)- 254)))^2/(P+(25400/CN-254)- (λ*((25400/CN)-254))))</pre>
Volume de escoamento superficial direto para uma determinada área de interesse	$Q = \sum_{i=1}^n A_i \times P_{e_i} \quad (4)$	<pre>SELECT SUM(st_area(geom_urh)* ((P-(λ*((25400/CN)- 254)))^2/(P+(25400/CN-254)- (λ*((25400/CN)-254))))</pre>

A última etapa da pesquisa foi a realização de um projeto piloto, que teve como objetivos validar o modelo lógico, verificar a integridade do BDE e verificar a sua efetividade em realizar as estimativas da precipitação efetiva.

A área de estudo utilizada para implementar e testar o banco de dados desenvolvido foi a bacia hidrográfica do rio Atuba. Esta área foi escolhida devido a existência prévia de mapas de uso e cobertura da terra, inclusive mapa da cobertura superficial do terreno voltado à aplicação do método SCS-CN. A bacia hidrográfica do rio Atuba (figura 1) está localizada na bacia do Alto Iguaçu e abrange a porção nordeste do município de Curitiba e partes dos municípios de Almirante Tamandaré, Colombo, Pinhais e São José dos Pinhais.



Figura 01: Localização da bacia hidrográfica do rio Atuba.

Para a implementação do BDE, os seguintes dados, documentos e produtos cartográficos foram utilizados:

- Arquivo shapefile 'sub-bacias do Alto Iguaçu', na escala 1:10.000, do ano de 2000. Fonte: Instituto das Águas do Paraná (2000);
- Arquivo shapefile 'hidrografia da bacia hidrográfica do Alto Iguaçu', na escala 1:10.000, do ano de 2000. Fonte: Instituto das Águas do Paraná (2000);
- Mapa de cobertura superficial do terreno da bacia hidrográfica do rio Atuba de 2000, confeccionada por Nunes (2007) a partir das fotografias aéreas coloridas da Cobertura aerofotogramétrica da Região Metropolitana de Curitiba do ano de 2000, na escala de vôo 1:30.000;
- Mapa de grupo hidrológico de solos da bacia hidrográfica do rio Atuba. Escala 1:150.000, confeccionada por Schäfer (2012);
- Dados de precipitação: O volume de precipitação adotado para a estimativa do escoamento superficial direto foi obtido a partir da equação Intensidade-Duração-Frequência (IDF) elaborada por Frenlich (2000) (equação 5). Essa equação foi obtida pelo autor através da análise dos dados de

precipitação da estação do Prado Velho (Curitiba-PR) registrados entre os anos de 1981 a 1999. A equação é válida para chuvas com duração de 10 min a 24 horas.

$$i_m = \frac{5726,64 \cdot T_r^{0,159}}{(t_d + 41)^{1,041}} \quad (5)$$

Onde, i_m é a intensidade máxima média da chuva (em mm/h), T_r é o período de retorno (em anos) e T_d é o tempo da duração da chuva (em minutos).

Para a estimativa do escoamento superficial no presente estudo, adotou-se um tempo de duração de 120 min e tempo de retorno de 25 anos. Estes foram os parâmetros utilizados no plano diretor de drenagem urbana da Região Metropolitana de Curitiba (RMC) e em SUDERHSA (2007), para o estudo do agravamento de inundações na bacia hidrográfica do Alto Iguaçu.

5. RESULTADOS PRELIMINARES

5.1 Verificação das características da bacia hidrográfica

Foram desenvolvidas uma série de consultas para verificar a capacidade do banco de dados desenvolvido em calcular a área ocupada por cada classe de cobertura superficial do terreno, por cada grupo hidrológico de solos e a taxa de impermeabilização média na bacia hidrográfica do rio Atuba, referentes ao mapeamento existente do ano de 2000. As classes de cobertura superficial do terreno, bem como as suas taxas médias de impermeabilização, adotadas foram as definidas por Nunes (2007), visando a aplicação do método SCS-CN. Os resultados dessas quantificações são apresentados na figura 2 e figura 3, respectivamente.

	oid_cst character	classe character varying(70)	area numeric(10,2)	und unkno
1	1	edificado muito denso	9.40	km2
2	2	edificado nao muito denso	18.66	km2
3	3	edificado com superficies livres	17.68	km2
4	4	edificado com muitas superficies livres	15.16	km2
5	5	areas industriais e comerciais	8.11	km2
6	6	campos e areas verdes	27.00	km2
7	7	areas florestais e vegetacao densa	30.68	km2
8	8	massa dagua	0.51	km2
9	9	corpo dagua	0.29	km2

Figura 2: quantificação da cobertura superficial do terreno na bacia hidrográfica do rio Atuba.

Painel de saída		
Saída de Dados		
	taxa_imp numeric(10,2)	und unknown
1	29.20	%

Figura 3: taxa de impermeabilização média na bacia hidrográfica

5.2 Estimativa da precipitação efetiva

Foram desenvolvidas consultas para verificar a capacidade do banco de dados desenvolvido em: a) calcular o valor do parâmetro CN médio para a bacia hidrográfica; b) calcular a precipitação efetiva e tornar possível a visualização de sua distribuição espacial e; c) calcular o volume total de escoamento superficial, referentes ao mapeamento existente do ano de 2000 e considerando a precipitação acumulada de 96,32mm.

A figura 4 apresenta o resultado da consulta para o cálculo do parâmetro CN médio na bacia hidrográfica do rio Atuba.

The screenshot shows a window titled 'Painel de saída' with tabs for 'Saída de Dados', 'Explain', 'Mensagens', and 'Histórico'. The 'Saída de Dados' tab is active, displaying a table with one row and two columns. The column headers are 'cn_medio' and 'numeric(10,2)'. The row contains the value '1' in the first column and '76.12' in the second column.

	cn_medio numeric(10,2)
1	76.12

Figura 4: CN médio na bacia hidrográfica no ano de 2000.

Na figura 5, apresenta-se parcialmente a visão (tabela) gerada pela consulta para o cálculo da precipitação efetiva em cada unidade de recurso hidrológico (URH). Nesta consulta, inicialmente são definidas as URHs da bacia hidrográfica, a partir de uma operação de sobreposição espacial entre as entidades 'cobertura superficial do terreno' e 'grupo hidrológico de solos'. Em seguida, é atribuído um valor de CN para cada URH. Com base nesse valor e com a precipitação acumulada considerada, é realizado o cálculo da precipitação efetiva referente a cada uma dessas unidades de recurso hidrológico. Essa consulta também adiciona à visão criada no banco de dados, a informação sobre a geometria das URHs, possibilitando a sua visualização em um software como o gvSIG ou o Terraview. A visualização da tabela da figura 5 é apresentada na figura 6, onde os valores de precipitação efetiva são agrupados em classes, em intervalos de 15mm.

The screenshot shows a window titled 'Edit Data - PostgreSQL 8.4 (localhost:5432) - bacia_atuba - resultados.base_pe_2000'. The window has a menu bar with 'Arquivo', 'Editar', 'Visualizar', 'Ferramentas', and 'Ajuda'. Below the menu is a toolbar with various icons and a dropdown menu set to 'Sem limite'. The main area displays a table with the following data:

	oid_cn characte	valorcn real	area numeric(10,2)	pe numeric(10,2)	geom_urh geometry	id bigserial
1	34	16.73	4978.32	0.84		1
2	35	16.73	3600.61	0.84	010600000003C	2
3	11	58.51	443390.87	28.51		3
4	10	40.14	584588.04	13.13		4

Figura 5: precipitação efetiva em cada unidade de recurso hidrológico (URH).

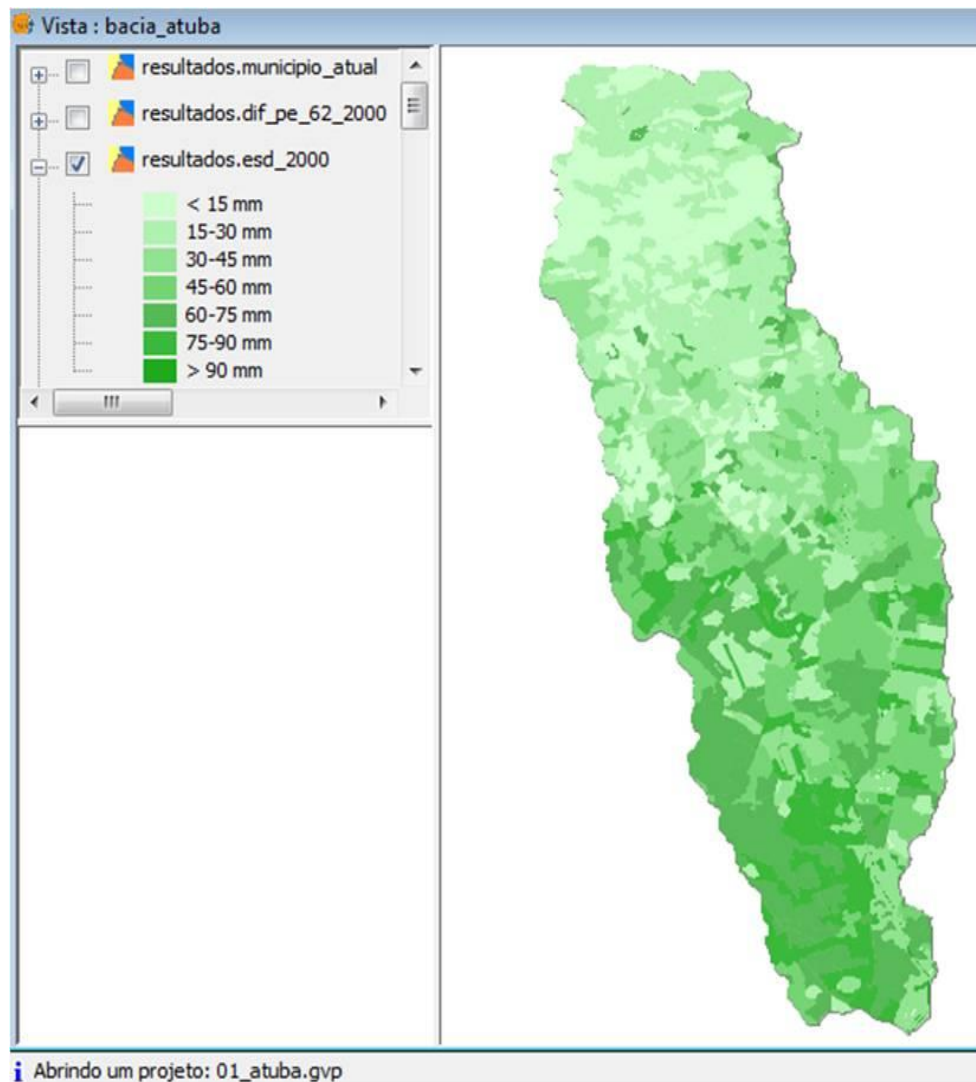


Figura 6: visualização da visão da figura 05 no software gvSIG

O resultado da consulta que realiza o cálculo do volume total de escoamento superficial produzido na bacia hidrográfica, considerando o evento de chuva citado anteriormente, é apresentado na figura 7.

Painel de saída				
Saída de Dados		Explain	Mensagens	Histórico
	bacia_hidro	vpe	und	
	unknown	numeric(10,2)	unknown	
1	Atuba	5.49	hm3	

Figura 7: volume de escoamento superficial na bacia hidrográfica

6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O banco de dados espacial desenvolvido foi capaz de armazenar, processar, gerenciar e analisar os dados espaciais e alfanuméricos referentes a cobertura superficial do terreno e aos solos na bacia hidrográfica do rio Atuba, possibilitando que a precipitação efetiva fosse estimada a partir das consultas desenvolvidas. Portanto, é um banco de dados funcional.

A integração entre o banco de dados espacial e o modelo hidrológico facilitou o processo de modelagem do escoamento superficial, eliminando os problemas advindos da manipulação de dados em diferentes ambientes computacionais, muitas vezes incompatíveis e que podem gerar erros, inconsistências e até mesmo inviabilizar determinado tipo de operação.

Deve-se ter em mente que trabalhar com SIG e modelos de simulação ambiental não consiste apenas em reunir um software e um hardware, coletar alguns dados, reunir tudo e resolver problemas. Embora a utilização conjunta destas tecnologias venha auxiliando na realização de estudos em diversas áreas, o usuário deve estar apto a analisar de maneira crítica o que está fazendo e que resultados está obtendo. É importante não se deixar envolver somente com visualizações em mapas e gráficos, pois muitas vezes elas ofuscam as questões conceituais envolvidas na integração de SIG com os modelos de simulação ambiental.

A próxima etapa prevista no desenvolvimento do banco de dados espacial é a adaptação do modelo conceitual para possibilitar a realização de quantificações de cobertura superficial do terreno e estimativas de precipitação efetiva em nível de município. Desta maneira, será possível verificar qual o volume de escoamento superficial produzido nas áreas referentes a cada município que compõe a bacia hidrográfica do rio Atuba.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Série saneamento para todos: gestão de águas pluviais urbanas - 4º volume. Brasília: Ministério das cidades, 2006.
- EBRAHIMIAN, M.; SEE, L.; ABDUL MALEK, I. Application of Natural Resource Conservation Service - curve number method for runoff estimation with SIG in the Kardeh watershed, Iran. *European Journal of Scientific Research*, v. 34, n. 4, p. 575-590, 2009.
- ELMASRI, R.; NAVATHE, S. B. *Sistemas de banco de dados*. 4. ed. São Paulo: Pearson, 2005.
- NUNES, F. G.; FIORI, A. P. A utilização do método de Ven Te Chow - Soil Conservation Service (SCS) na estimativa da vazão máxima da bacia hidrográfica do rio Atuba. *Geografar*, Curitiba, v. 2, n. 2, p. 139-155, 2007.
- NUNES, F. G. A influência do uso e ocupação do solo nas vazões de pico na bacia hidrográfica do rio Atuba. Tese. Curso de Pós-Graduação em Geologia Ambiental. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2007.
- SCHÄFER, A. G. Um banco de dados espaço-temporal para o monitoramento e modelagem do escoamento superficial em bacias hidrográficas no contexto do planejamento urbano. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC. Florianópolis, 2012.
- SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL - SUDERHSA. Plano da bacia do Alto Iguaçu e seus afluentes: Relatório de diagnóstico. SUDERHSA. Curitiba. 2007.