

## **Integração do método do curva número em um banco de dados espacial para a estimativa da precipitação efetiva em bacias hidrográficas**

Alexandro Gularte Schäfer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Pampa  
CEP 96415-700, Bagé, RS, Brasil  
alexandro.schafer@unipampa.edu.br

**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. Introdução**

A explosão populacional e o crescimento urbano acelerado das últimas décadas vêm causando um profundo impacto ambiental e socioeconômico. As mudanças na cobertura superficial do terreno relacionadas à ocupação humana, que variam espacialmente e ocorrem em diferentes níveis de intensidade ao longo do tempo, afetam vários componentes do ciclo hidrológico, direta ou indiretamente. A urbanização em uma bacia hidrográfica leva ao aumento da área de superfície impermeável e à diminuição da capacidade de infiltração. Os principais impactos decorrentes da impermeabilização sobre o sistema de drenagem são a ampliação do pico de vazão de cheias, a antecipação no tempo de resposta dessa vazão máxima e o aumento do volume de escoamento superficial, o que pode levar ao aumento na incidência de inundações e à poluição dos recursos hídricos.

Na busca pela minimização dos impactos causados pelas alterações na cobertura superficial do terreno, é de suma importância o entendimento das conseqüências dessas alterações nos processos hidrológicos da 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 e 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 sentido, 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. Integração de sig e modelos de simulação ambiental

Os SIG e os modelos de simulação ambiental começaram a ser usados conjuntamente por volta do final dos anos 1980 (Brimicombe, 2010). Apesar das diferenças entre a maneira com que os SIG e os modelos de simulação ambiental são construídos e utilizados, a necessidade de estabelecer algum nível de integração foi direcionada pelo reconhecimento de que é necessária a avaliação integrada de todos os aspectos dos ambientes físicos, bióticos, social e econômico para se alcançarem soluções sustentáveis para um determinado problema.

Desde que os SIG e os modelos de simulação começaram a ser utilizados conjuntamente, tem-se proposto diversas maneiras de acoplá-los, visando à diminuição do tempo de desenvolvimento da modelagem ou a melhoria da representação espacial do ambiente modelado (Sood e Bhagat, 2005). Shamsi (2005) descreve três níveis de acoplamento entre SIG e modelos (hidráulicos ou hidrológicos): intercâmbio interface e integração.

No método da integração, o SIG e o modelo estão em um formato compatível e intrinsecamente ligados. Nesse método, é possível que as funcionalidades do SIG sejam integradas a um modelo de simulação, ou que as funcionalidades do modelo de simulação sejam integradas a um SIG.

De acordo com Brimicombe (2010), nenhuma das opções acima pode ser considerada totalmente integrada, o que implicaria no SIG e no modelo de simulação desenvolvidos totalmente como um único produto.

## 3. O método scs-cn

O método do número de curva (aqui denominado SCS-CN) pode ser considerado um modelo de perda combinado, ou seja, todas as abstrações (incluindo interceptação, armazenamento em depressões, evaporação e infiltração) são levadas em consideração nos seus cálculos (Karamouz et al., 2010).

O método SCS-CN tem como base a equação do balanço hídrico:

$$P = I_a + F + P_e \quad (1)$$

E duas hipóteses:

$$\frac{P_e}{P - I_a} = \frac{F}{S} \quad (2)$$

$$I_a = \lambda S \quad (3)$$

Onde P é a precipitação total acumulada,  $I_a$  é a abstração inicial, F é a infiltração acumulada ( $F = P - I_a - P_e$ ),  $P_e$  é o volume superficial acumulado (em mm) ou precipitação efetiva, S representa a capacidade máxima de armazenamento de água no solo e  $\lambda$  é o coeficiente de abstração inicial.

A relação resultante, para  $P > I_a$ , é a seguinte:

$$P_e = \frac{(P-I_a)^2}{P+S-I_a} \quad (4)$$

Em que S é obtido por:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (5)$$

O CN é um parâmetro adimensional, que reflete o potencial de escoamento superficial de um determinado local. No caso de existir mais de um tipo de solo e/ou mais de uma classe de cobertura superficial do terreno em uma bacia, o CN médio pode ser calculado por:

$$\overline{CN} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \times CN_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (6)$$

Onde  $A_i$  representa a área de uma parte da bacia;  $CN_i$  é o CN dessa parte da bacia e  $n$  é o total de partes na qual a bacia foi dividida, originadas pela sobreposição espacial da cobertura superficial do terreno e das características hidrológicas dos solos. Hawkings et al. (2009) referem-se a essas “partes” da bacia hidrográfica como *hydrologic resource units (HRUs)*, o que será traduzido e utilizado no presente estudo como unidades de recurso hidrológico (URHs).

#### 4. 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: 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, que vislumbre a continuidade de utilização e desenvolvimento da tecnologia. 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..

Na fase de projeto físico, a estrutura definida no projeto lógico foi mapeada para o SGBD PostgreSQL. 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 desenvolvidas para calcular os principais parâmetros do método SCS-CN e estimar a precipitação efetiva.

**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	$\overline{CN} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \times CN_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$	<i>SELECT</i> <i>SUM(CN*ST_AREA(ST_INTERSECTION(c</i> <i>g.geom_cst,</i> <i>sg.geom_solos)))/SUM(ST_AREA(bacia_gm</i> <i>))</i>
Escoamento superficial direto para uma URH	$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P + S - I_a}$ $S = \frac{25400}{CN} - 254$	<i>SELECT</i> $((P - (\lambda * ((25400/CN) - 254)))^2 / (P + (25400/CN) - (\lambda * ((25400/CN) - 254))))$
Volume de escoamento superficial direto para uma determinada área de interesse	$Q = \sum_{i=1}^n A_i \times P_{e_i}$	<i>SELECT SUM(st_area(geom_urh)*</i> $((P - (\lambda * ((25400/CN) - 254)))^2 / (P + (25400/CN) - (\lambda * ((25400/CN) - 254))))$

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 na área de estudo.

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.

Para a implementação do BDE, os seguintes dados, documentos e produtos cartográficos foram utilizados: a) arquivo shapefile ‘sub-bacias do Alto Iguaçu’, na escala 1:10.000, do ano de 2000. Fonte: Instituto das Águas do Paraná (2000); b) 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); c) 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; d) mapa de grupo hidrológico de solos da bacia hidrográfica do rio Atuba. Escala 1:150.000, confeccionada por Schäfer (2012); e) 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 Fendrich (2000) (equação 7).

$$i_m = \frac{5726,64.T_r^{0,159}}{(t_d+41)^{1,041}} \quad (7)$$

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.



Figura 01: Localização da bacia hidrográfica do rio Atuba.

## 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 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 foram 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

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 calcular o valor do parâmetro CN médio para a bacia hidrográfica, em calcular a precipitação efetiva e tornar possível a visualização de sua distribuição espacial, e em 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.

Painel de saída	
Saída de Dados	
	cn_medio numeric(10,2)
1	76.12

Figura 4: CN médio na bacia hidrográfica

Na figura 5, apresenta-se parcialmente a visão 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. 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.

Edit Data - PostgreSQL 8.4 (localhost:5432) - bacia_atuba - resultados.base_pe_2000						
Arquivo Editar Visualizar Ferramentas Ajuda						
	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).

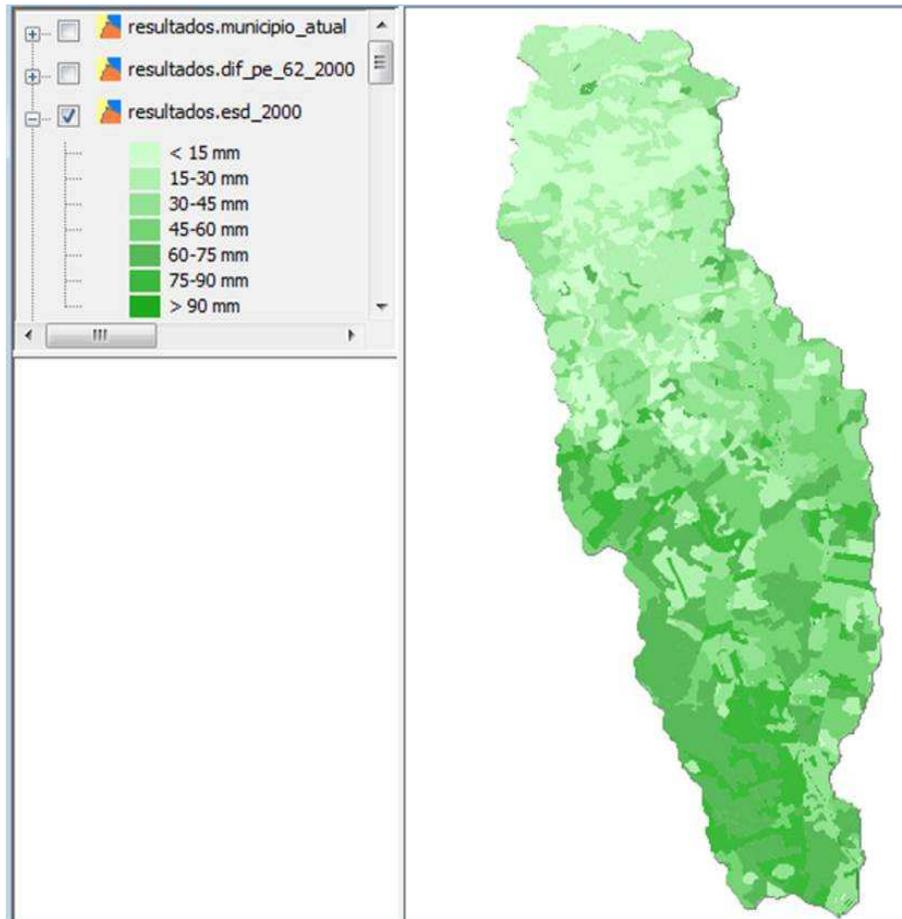


Figura 6: visualização da visão da figura 05 no software gvSIG

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			
	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 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, 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 se 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.

## Referências bibliográficas

- Bagg, J.; Ryan, N. Modelling historical change in southern Corsica: temporal GIS development using an extensible database system. In: KEMP, Z. **Innovations in GIS 4**. Londres: Taylor & Francis, 2005.
- Brimicombe, A. **GIS, environmental modeling and engineering**. 2ª. ed. Boca Raton: Taylor and Francis, 2010.
- 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.
- Fedra, K. GIS and environmental modeling. In: GOODCHILD, M. F.; PARKS, B. O.; STEWART, L. T. **Environmental modeling with GIS**. Nova York: Oxford University Press, 1993.
- Ferreira, K. R. et al. Arquiteturas e linguagens. In: CASANOVA, M. A., et al. **Bancos de dados geográficos**. Curitiba (PR): Mundo Geo, 2005. p. 170-201.
- Hawkins, R. et al. **Curve Number hydrology: state of the practice**. EUA: ASCE, 2009.
- Hawkins, R. et al. Continuing evolution of rainfall-runoff and the Curve Number precedent. **Proceedings of 2º Joint Federal Interagency Conference**, Las Vegas, 2010.
- Karamouz, M.; Moridi, A.; Nazif, S. **Urban water engineering and management**. EUA: CRC Press, 2010.
- Larue, T.; Pastre, D.; Viemont, Y. Strong integration of spatial domains and operators in a relational database system. In: ABEL, D.; OOI, B. C. **Advances in spatial databases: Proceedings of 3rd Symp. SSD 93**. Berlin: Springer, 1993. p. 53-72.
- Martin, P. et al. Interfacing GIS with water resource models: a state-of-the-art review. **Journal of the American Water Resources Association**, Vol 41, n. 6, December 2005. 1471-1487.
- 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.
- Sartori, A. **Avaliação da classificação hidrológica do solo para a determinação do excesso de chuva do método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos**. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas/SP. 2004.
- Shamsi, U. M. **GIS applications for water, wastewater, and stormwater systems**. Boca Raton: CRC Press, 2005.
- Sood, C.; Bhagat, R. M. Interfacing geographical information systems and pesticide models. **Current Science**, v. 89, p. 1362-1370, 2005.
- USDA - United States Department of Agriculture. **Urban Hydrology for Small Watersheds**. EUA: USDA, 1986.