

UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA ESTIMATIVA DE VAZÕES MÁXIMAS DE PROJETO

*Vanuza Pratti Cristelo¹; Mayra Moreira de Almeida² & Antônio Sérgio Ferreira
Mendonça³*

RESUMO --- Estimativas de vazões máximas são fundamentais para o planejamento e controle de recursos hídricos. A utilização de Sistema de Informação Geográfica (SIG) é uma ferramenta tecnológica útil que possibilita uma eficiente análise e modelagem de informações relacionadas com aspectos hidrológicos de bacias hidrográficas de uma região, podendo produzir resultados de grande utilidade e com boa qualidade. Nesse contexto, foi estudada metodologia baseada na aplicada técnica de geoprocessamento, como ferramenta de apoio na delimitação de bacias hidrográficas, cálculos de valores médios de CN (número da curva), definição de redes de drenagem, determinação das características fisiográficas de bacias e estimativas de vazões máximas de projeto para definição de medidas estruturais e não estruturais de controle de cheias em bacias hidrográficas. Para o cálculo de vazões máximas de projeto e determinação do escoamento superficial direto ou hidrograma de projeto, foram utilizados os métodos: Racional, o Hidrograma Triangular do Soil Conservation Service e Hidrograma de Santa Bárbara, sendo comparados os resultados obtidos. Observou-se grandes diferenças entre os valores calculados pelos diferentes métodos e a necessidade de monitoramento de chuvas e vazões em bacias experimentais para verificação dos métodos mais adequados para utilização em bacias hidrográficas específicas.

ABSTRACT --- Maximum flood flows estimates are very important for water resources planning and control. Geographical Information System (GIS) is an useful technological tool for water shed hydrologic analysis and modeling. In this work there were applied geoprocessing techniques for drawing watershed limits, calculating average Curve Numbers(CN), definition of drainage networks and determination of physiographic parameters for a automatical estimate of maximum design flows for definition of structural and nonstructural flood control measures. There were employed the Rational, U.S. Soil Conservation Service Triangular Hydrograph and Santa Barbara Hydrograph methods for maximum flow estimates. It was verified that the different methods calculations resulted into large differences, indicating the importance of rainfall and stream flow monitoring for experimental watersheds in order to verify the most adequate methods for specific watersheds.

Palavras-chave: Vazões Máximas; SIG; bacias hidrográficas.

1) Engenheira da CESAN – Companhia Espírito Santense de Saneamento, Mestre em Engenharia Ambiental pela UFES - Av. Governador Bley, 186, Edifício BEMGE, 3º Andar, Centro - Vitória - ES CEP: 29.010-150 cristelo.vp@gmail.com

2) PhD em Recursos Hídricos – Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Ambiental da UFES – Av. Fernando Ferrari, s/n – Vitória – ES - Caixa Postal 01-9011 - e-mail: anserfm@terra.com.br.

3) Engenheira Civil da UFES, Mestranda em Engenharia Ambiental – R. Amélia Tartuce Nasser, 1095 – Jardim da Penha – Vitória – ES. CEP: 29065-020 – e-mail: mayra_m_a@yahoo.com.br.

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS

A estimativa dos valores de vazão máxima tem importância decisiva nos custos e na segurança dos projetos de engenharia. A estimativa desses valores se faz necessária para o controle e atenuação das cheias, dimensionamento de obras hidráulicas de drenagem, perímetros de irrigação, diques e extravasores de barragens (TUCCI, 1993).

O aumento da extensão de áreas impermeáveis provocado pela urbanização, o desmatamento e o uso agrícola têm como conseqüências aumentos em picos de vazão e elevação mais rápida dos níveis dos corpos d'água provocadas pelo maior volume e rapidez do escoamento das águas pluviais não controladas, podendo se converter em prejuízos econômicos e sociais cada vez maiores.

O desenvolvimento urbano brasileiro tem produzido um aumento caótico na freqüência de inundações, na produção de sedimentos e na deterioração da qualidade de água. À medida que a cidade se urbaniza, ocorre o aumento das vazões máximas devido à impermeabilização e canalização (TUCCI, 2000).

A maioria das informações utilizadas no gerenciamento e planejamento ambiental possui um componente geográfico associado. A utilização de um sistema de informação geográfica possibilita um processo eficiente para análise e modelagem de informações relacionadas à hidrologia de uma região, podendo produzir resultados de grande utilidade.

Na presente pesquisa, foi estudada e aplicada rotina de procedimentos, utilizando sistemas de informações geográficas, para estimativa de vazões máximas em bacias hidrográficas, com maior rapidez e precisão.

2 METODOLOGIA

2.1 Bacia Hidrográfica Alto Santa Maria da Vitória

A bacia hidrográfica do Alto Rio Santa Maria da Vitória está localizada na região centro-oeste do Estado do Espírito Santo. Esta bacia é um dos principais mananciais de abastecimento da região da Grande Vitória, na qual estão instaladas as usinas hidrelétricas de Rio Bonito e Suíça.

A sub-bacia considerada neste estudo é constituída pelas partes média e superior da bacia, em cujo exutório se localiza a UHE Rio Bonito. A área desta sub-bacia é de aproximadamente 618 km².

A Figura 1 apresenta a localização da bacia hidrográfica do Rio Santa Maria da Vitória e da sub-bacia estudada, a montante da Represa de UHE Rio Bonito.

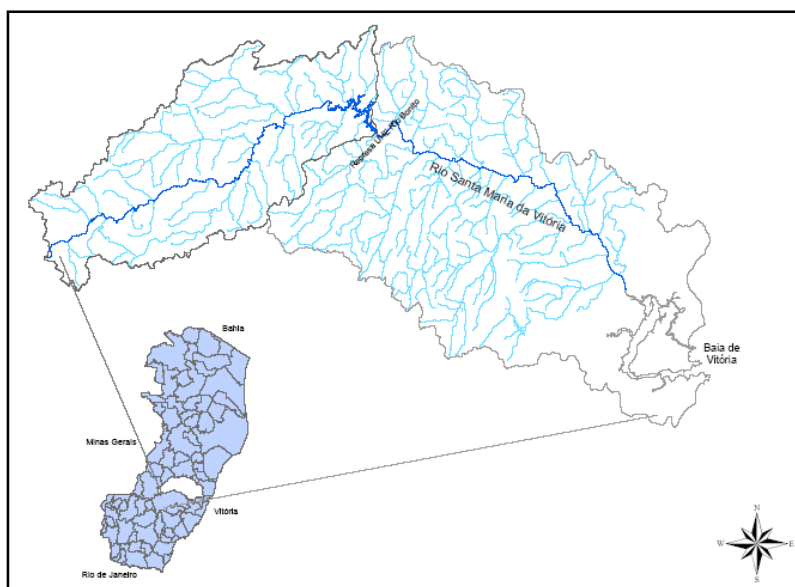


Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica estudada

2.2 Procedimentos Para Delimitação de Bacias Hidrográficas e Extração da Rede de Drenagem Utilizando o Modelo Digital de Elevação

O Sistema de informação utilizado nessa pesquisa para a extração da rede de drenagem e delimitação de bacia hidrográfica foi o software ArcGIS 9.0, desenvolvido pela ESRI.

Na delimitação das bacias hidrográficas e na definição das redes do córregos, foi executada uma série de etapas. Algumas etapas foram dependentes, enquanto outras foram opcionais, dependendo das características dos dados de entrada.

O fluxo através de uma superfície ocorre sempre no sentido da maior elevação para o de menor elevação. Uma vez que o sentido do fluxo de saída de cada célula era conhecido, foi possível determinar quais e quantas células fluíam em direção a uma determinada célula. Esta informação foi usada pelo software para definir limites das bacias hidrográficas e das redes dos córregos.

O modelo de elevação foi usado para determinar os sentidos de fluxo. As falhas que ocorrem na geração dos modelos numéricos de terreno são chamadas *sinks*. As funções de análise hidrológica permitiram a identificação dos *sinks* e ofereceram ferramentas para preenchê-las, permitindo a obtenção de um modelo de elevação sem falhas. Desta forma, sentidos de fluxo puderam ser obtidos a partir de um modelo de elevação sem falhas.

Com o dado de entrada do processo de delimitação das bacias hidrográficas adicionado, e a hipsometria referente à área de estudo, foi executada a seqüência de procedimentos, Figura 2, que utilizou as ferramentas do *ArcToolbox*, principalmente do módulo *Hydrology*, disponíveis no software ArcGis 9.0.

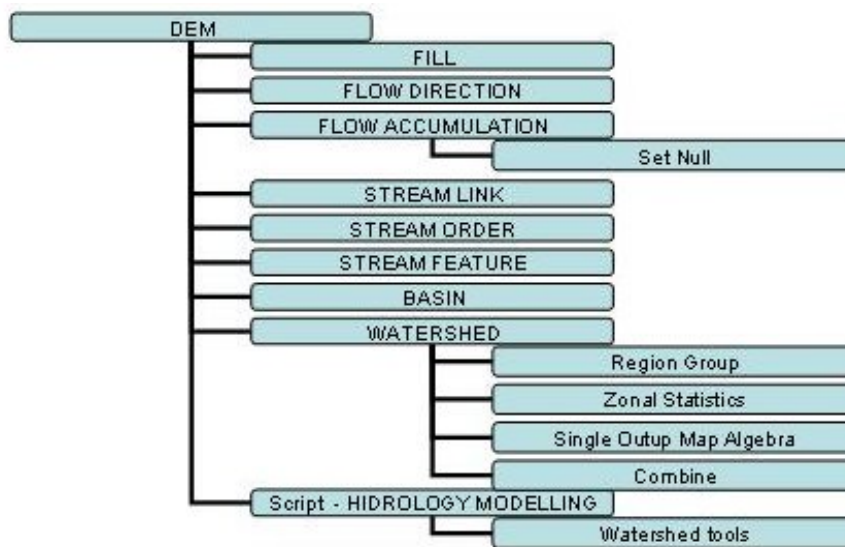


Figura 2 – Sequência de procedimentos utilizada

2.3 Procedimentos para obtenção do mapa do Número da Curva (CN-SCS)

A caracterização do solo, em termos da permeabilidade, contribui para a estimativa do escoamento superficial direto.

O software ArcGis 9.0 permite a estimativa do escoamento na bacia hidrográfica baseada no método do Número da Curva - CN. Para essa estimativa foi necessário que a classificação de uso e ocupação do solo, classe hidrológica de solo e número da curva fossem atributos de um mesmo mapa temático.

O mapa de Número da Curva foi obtido pela soma do mapa de uso e ocupação do solo com o mapa de solos, no formato matriz (*raster*). Os mapas de solo e uso e ocupação do solo para a sub-bacia do Alto Santa Maria da Vitória, foram obtidos a partir de estudo realizado por Zamprogno (1999), com base em dados fornecidos pelo Consórcio Santa Maria da Vitória – Jucu (HABTEC, 1997).

2.4 Escolha das Áreas de Estudo

Para aplicação das metodologias de estimativa de vazões de projeto utilizadas nessas estimativas, foram selecionadas cinquenta e quatro sub-bacias, de vários tamanhos, compreendidas na área delimitada a montante da UHE de Rio Bonito, sendo cinquenta sub-bacias com áreas até 30 km² e quatro bacias com áreas superiores a 30 km².

2.5 Série Histórica de Precipitação

Os dados de precipitação utilizados na pesquisa compreendem a série histórica de precipitações diárias obtidas junto ao Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural (INCAPER), para a Estação Agroclimatológica de Santa Teresa (Código 83647), para o período de 1976 a 2004. Para cada ano da série foi determinada a máxima precipitação, obtendo-se assim as precipitações máximas anuais.

2.6 Precipitação

Para a determinação da precipitação de projeto foi utilizado o ajuste probabilístico de chuvas intensas a partir da série histórica observada e a metodologia indicada pela Cetesb (1979) para a obtenção das durações de chuva menores do que 24 horas.

2.7 Distribuição Temporal da Chuva de Projeto

A distribuição temporal da chuva de projeto estabelecida pelo método dos blocos alternados, que caracteriza uma condição crítica, é obtida de relações intensidade-duração- frequência. Esta distribuição não está relacionada com os fenômenos físicos, sendo apenas rearranjada para que caracterize a condição mais crítica. Este método é simples e propõe a distribuição de totais de chuva em intervalos de tempo sucessivos contidos na duração total (ZAHED, 1995).

A aplicação do método foi realizada de acordo com as seguintes etapas:

- Através das precipitações de projeto, apresentadas na seção anterior, foram obtidas as intensidades de chuva para cada duração, que foram transformadas em alturas de chuva e acumuladas até o último intervalo de tempo;

- Foram calculados os incrementos dos totais acumulados por intervalo, que foram rearranjados numa seqüência tal, que no centro da duração da tormenta, situou-se o bloco maior, e em seguida os demais blocos foram dispostos em ordem decrescente, um à direita e o outro à esquerda do bloco maior.

2.8 Precipitação Excedente

A precipitação excedente é a chuva que não é nem retida e nem infiltrada no solo. Depois de escoar sobre a superfície da bacia transforma-se em escoamento superficial direto. A diferença entre a precipitação total e a precipitação efetiva é denominada perda ou abstração. A abstração ou perda é representada pela infiltração, interceptação, armazenamento e evaporação.

No presente estudo, foi utilizado o método do Soil Conservation Service (SCS), que utiliza a precipitação total para o cálculo das perdas, tendo sido adotada a distribuição temporal da chuva obtida pelo método dos blocos alternados para o cálculo da precipitação excedente.

Através da distribuição temporal dos blocos alternados, as alturas de chuva foram acumuladas até o último intervalo de tempo; Foi calculada a precipitação excedente para todos os valores de precipitação total que satisfizeram a relação de $P > 0,2S$; Em seguida foi calculado o total da precipitação excedente acumulada.

2.9 Vazões Máximas

Para cálculo de vazões máximas de projeto e determinação do escoamento superficial direto ou hidrograma de projeto, foram utilizados os métodos: Racional, o Hidrograma Triangular do Soil Conservation Service e Hidrograma de Santa Bárbara.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Delimitação de Bacias Hidrográficas e Extração da Rede de Drenagem Utilizando o Modelo Digital de Elevação

A Figura 3 apresenta a malha triangular irregular obtida pela interpolação da hipsometria da área de estudo, apresentando a localização da sub-bacia Alto Santa Maria.

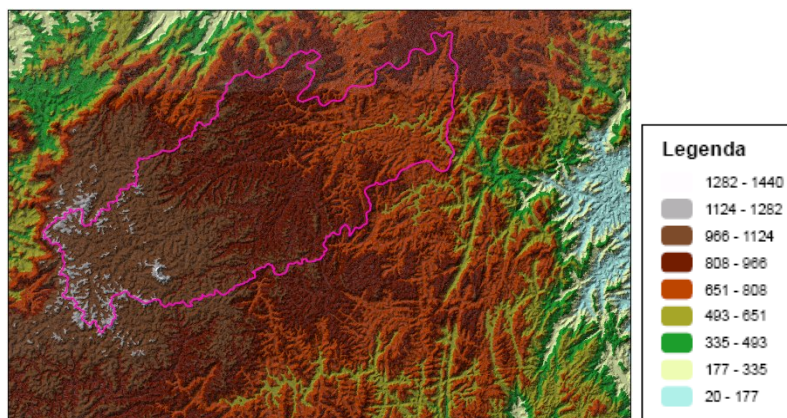


Figura 3 - Malha triangular irregular (TIN) para a área de estudo.

Para melhor visualização da rede de drenagem obtida, optou-se por apresentar uma ampliação, na região compreendida entre o quadrado vermelho, Figura 4. Esta ampliação é utilizada em todas as figuras a seguir.

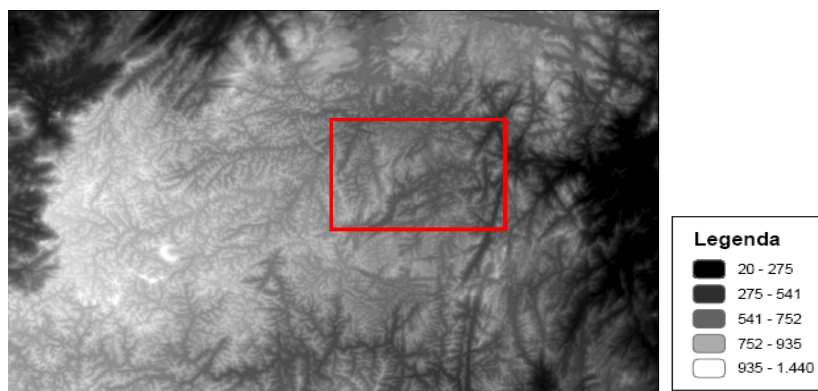


Figura 4 - Modelo digital de elevação.

A Figura 5 apresenta a malha obtida após a eliminação das possíveis depressões, picos e áreas planas com sentidos indefinidos de drenagem.

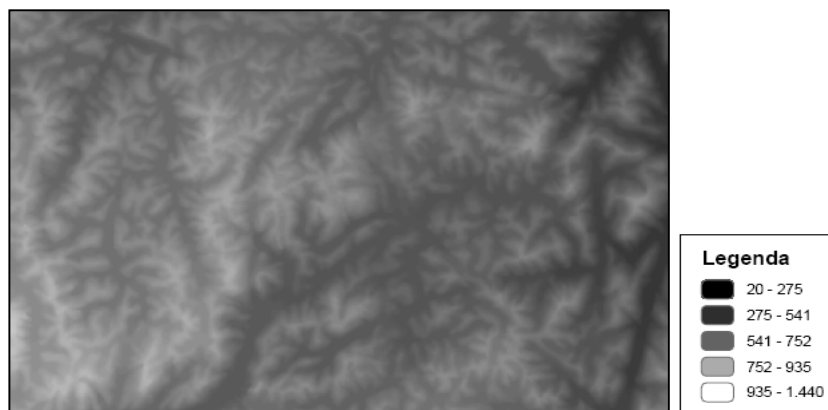


Figura 5 - Modelo digital de elevação sem falhas.

Na Figura 6 é apresentada a hidrografia obtida para a sub-bacia a montante da UHE de Rio Bonito utilizando os procedimentos para a definição da rede de drenagem, com o software Arcgis 9.0

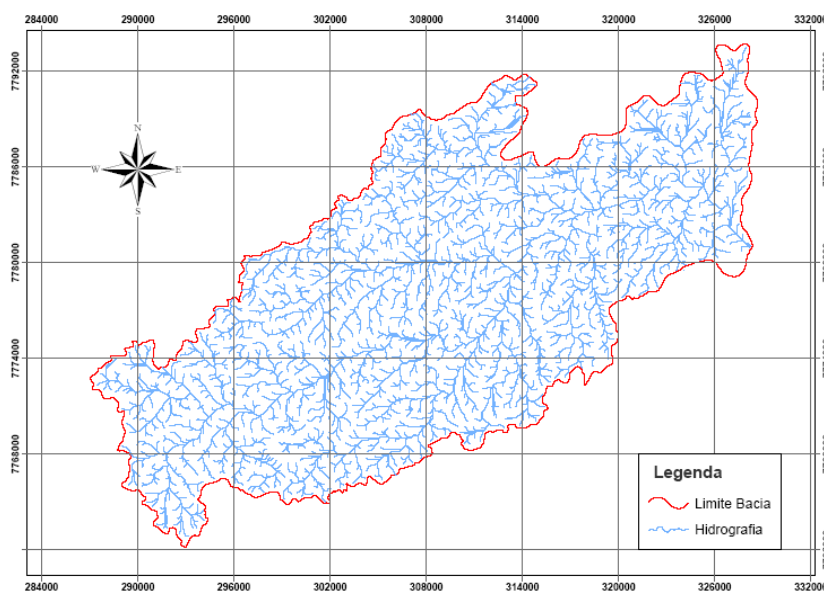


Figura 6 - Hidrografia da sub-bacia delimitada por SIG a montante da UHE de Rio Bonito.

3.2 Obtenção do Mapa do Número da Curva (CN-SCS)

Na Figura 7 é apresentado o mapa de solos, em formato raster, obtido após a atribuição de valores para cada tipo de solo.

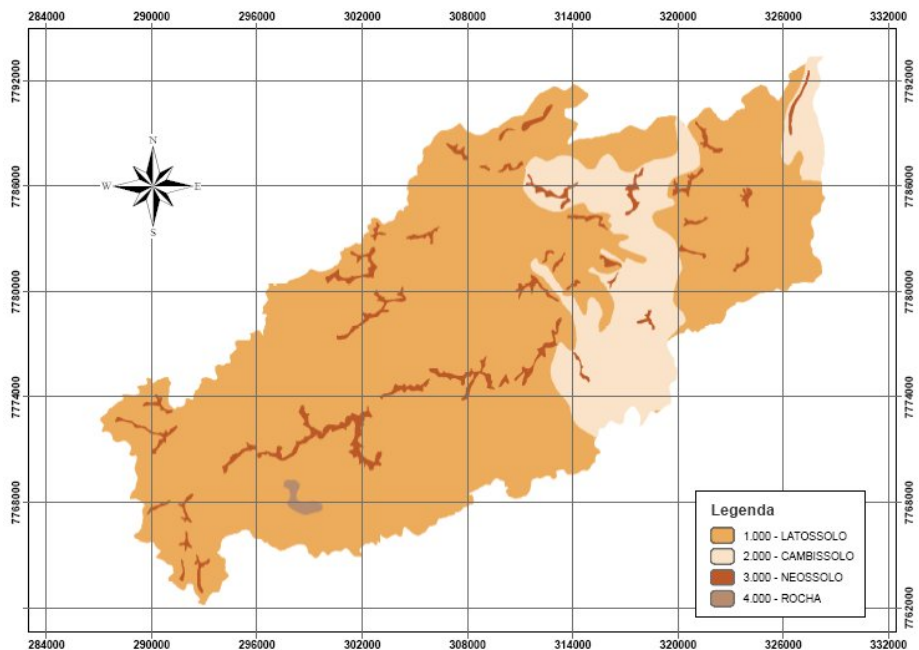


Figura 7 - Mapa de solo, em formato raster, com valores atribuídos por tipo de solo.

A Figura 8 apresenta o mapa de uso do solo, em formato raster, obtido após a atribuição de valores que diferenciam cada tipo de uso e ocupação.

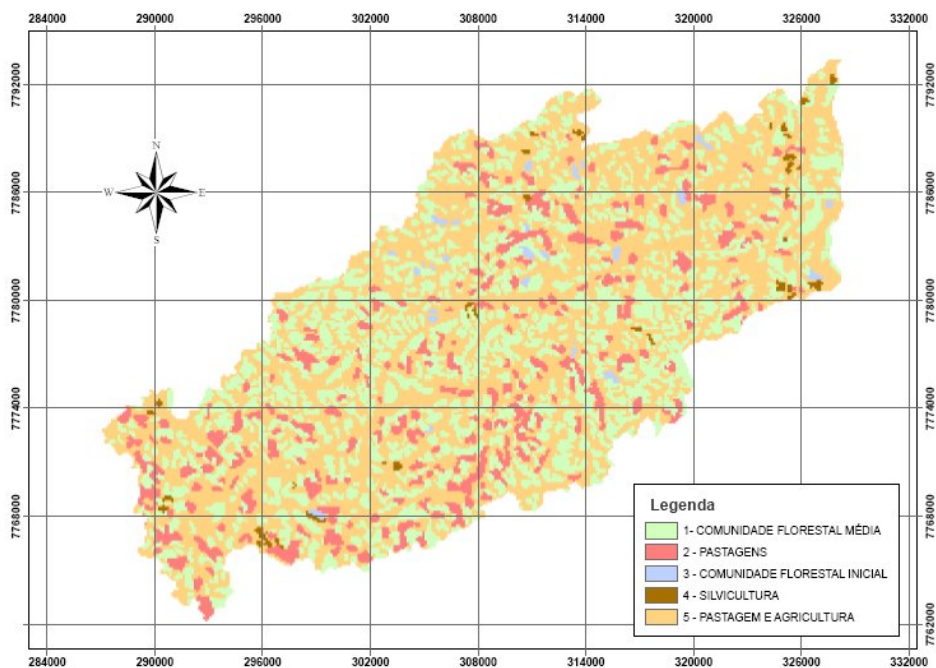


Figura 8 - Mapa de uso do solo em formato raster com valores atribuídos por cultura.

Na Figura 9 é representado um mapa resultante da combinação dos mapas de uso e ocupação do solo.

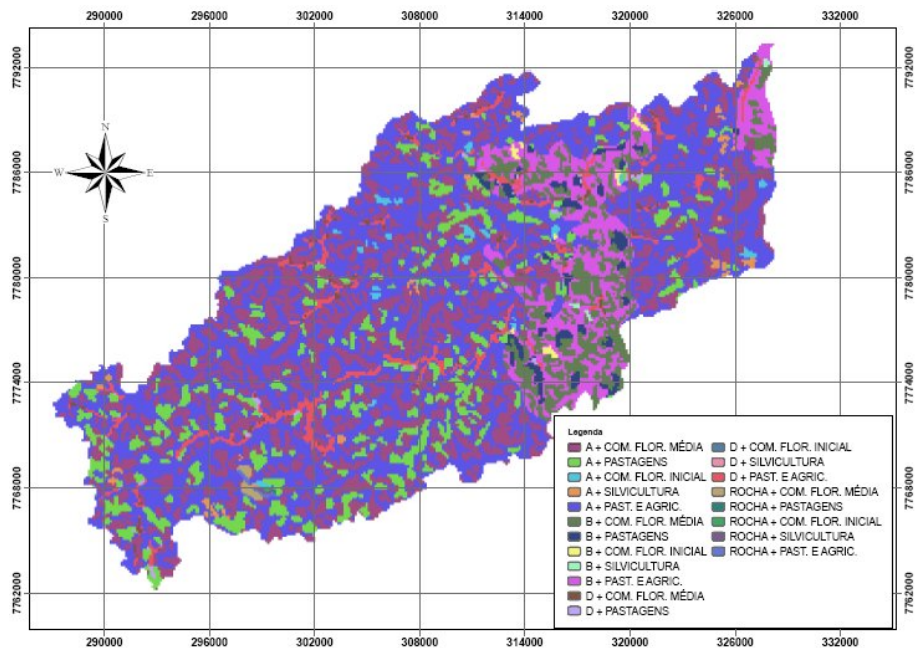


Figura 9 - Mapa com valores de combinação para os mapas de uso ocupação e solo.

O mapa de solos, convertido em formato vetorial, e classificado segundo os grupos hidrológicos de solo (GHS) é apresentado na Figura 10.

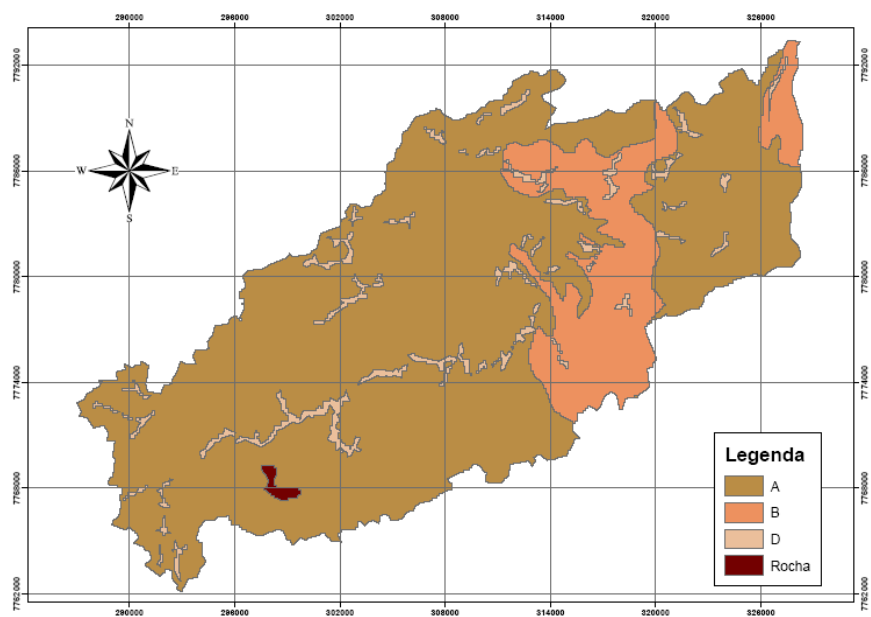


Figura 10 - Mapa com os grupos hidrológicos para cada tipo de solo.

Nas Figuras 11 e 12 são apresentados os mapas de número da curva - CN utilizando a classificação de Tucci (1993) e Setzer & Porto (1979), respectivamente.

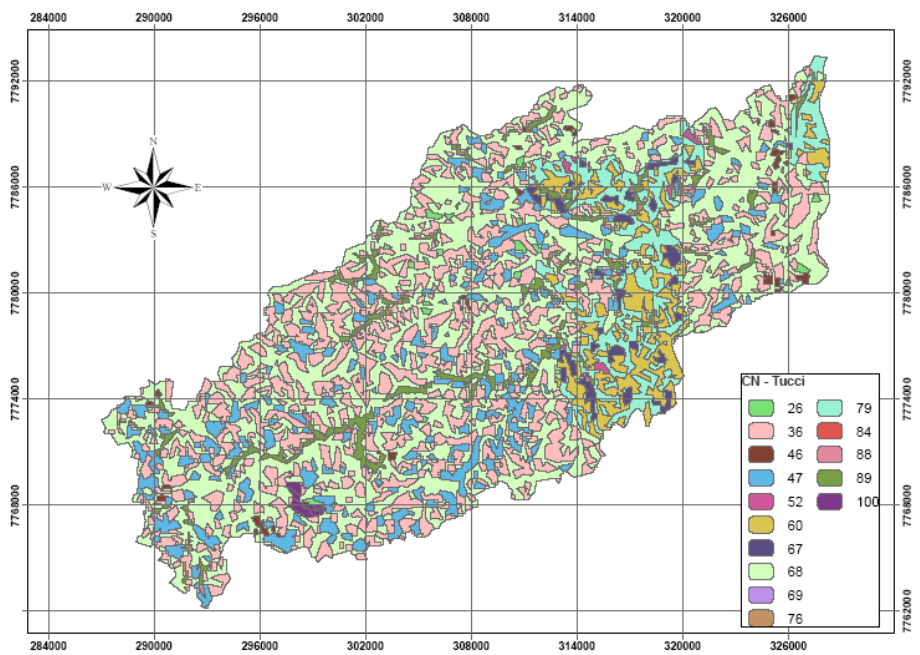


Figura 11 - Mapa com o número da curva (CN) segundo Tucci (1993).

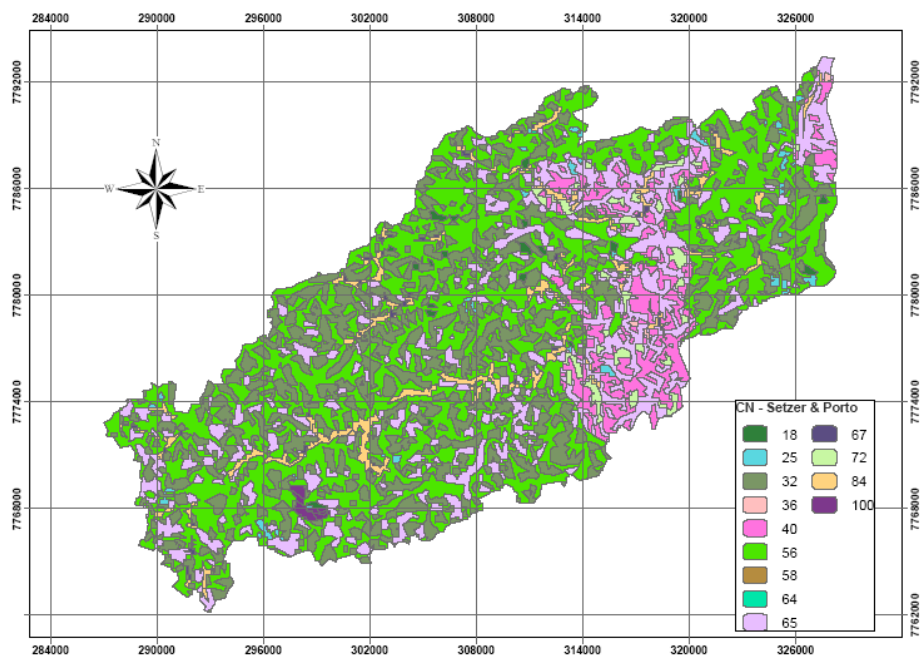


Figura 12 - Mapa com o número da curva (CN) segundo Setzer e Porto (1979).

3.3 Determinação e Composição do Fator C - Coeficiente de Escoamento Médio.

O mapa do fator C - uso e ocupação do solo para a sub-bacia de estudo, foi obtido a partir dos valores tabelados apresentados por Zamprogno (1999) seguindo referências do HABTEC (1997), TABELA 12.

Tabela 1 - Valores do Fator C – Uso e Ocupação. Fonte: ZAMPROGNO, 1999.

Uso do Solo	Fator C	Observações
Comunidades Florestais em estado médio e avançado de regeneração	0,0007	Valor médio entre Floresta e Capoeira
Comunidades Florestais em estado inicial de regeneração	0,001	Adotado como Capoeira
Silvicultura	0,047	Adotado como reflorestamento
Pastagens	0,04	Pastagens
Agricultura e Pastagem	0,131	Valor médio entre culturas temporárias, como café e pastagem.

O mapa do fator C foi obtido para as sub-bacias de estudo, atribuindo os valores da Tabela 1, para cada tipo de uso e ocupação encontrado no mapa das sub-bacias, Figuras 13 e 14.

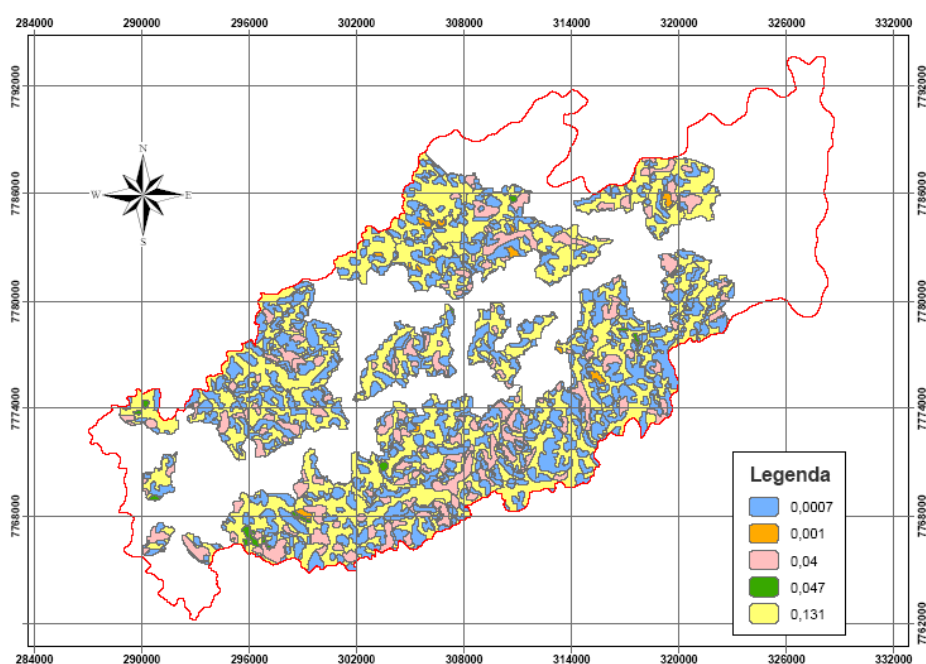


Figura 13 - Mapa fator C para as sub-bacias com área até 30 km².

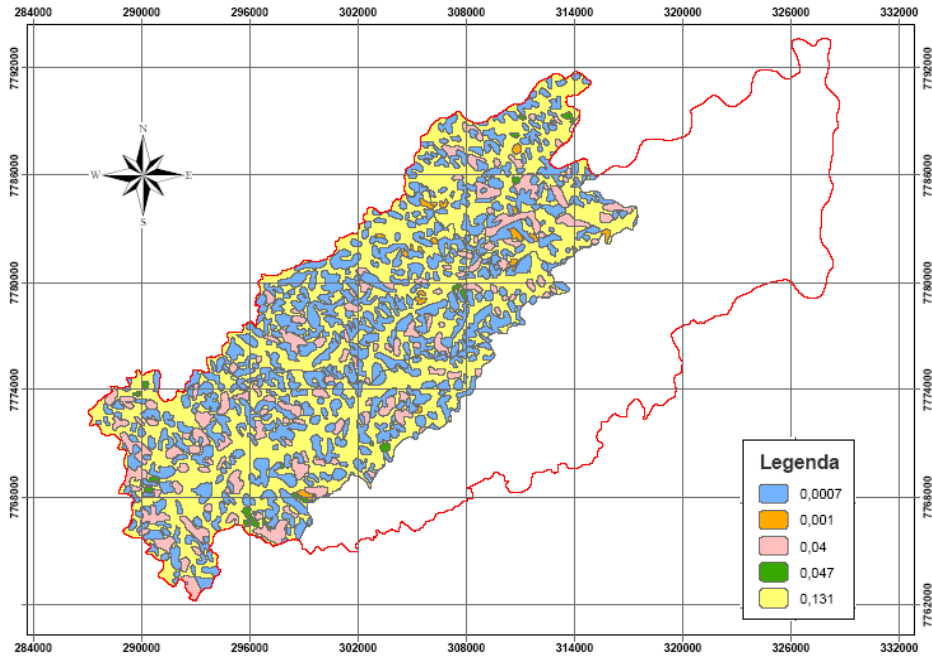


Figura 14 - Mapa fator C para as sub-bacias com áreas superiores a 30 km².

3.4 Tempos de Concentração

O tempo de concentração é um dos tempos de resposta da bacia hidrográfica mais utilizados nas estimativas de vazões de pico e hidrogramas de projeto. As características relativas a cada sub-bacia foram obtidas utilizando o sistema de informação geográfica. Nas Figuras 15, 16 e 17 são apresentados os tempos de concentração (min), para cada uma das sub-bacias, utilizando vários métodos propostos na literatura.

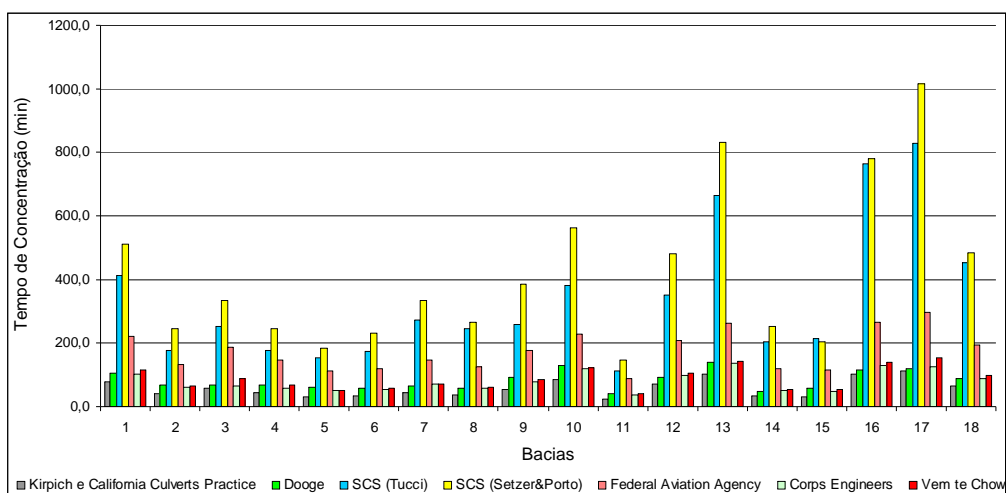


Figura 15 - Tempos de concentração (min) para as sub-bacias de 1 a 18.

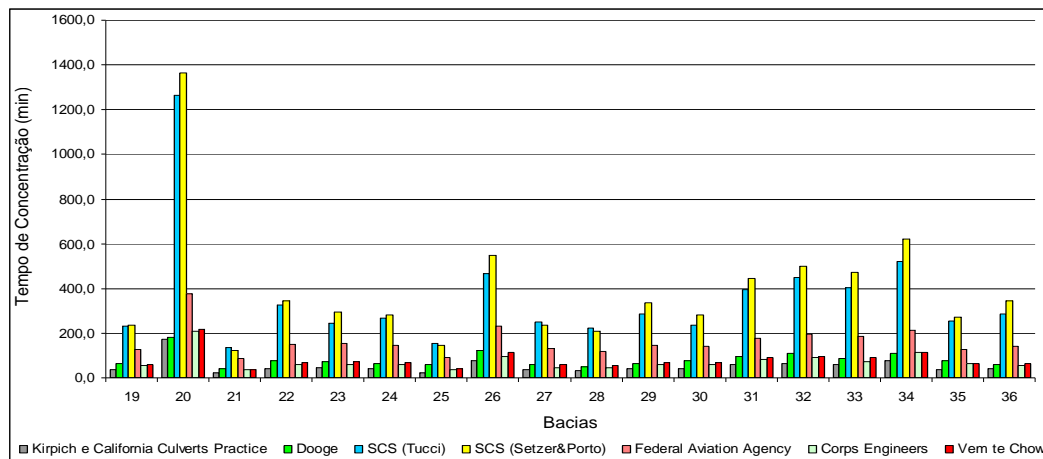


Figura 116 - Tempos de concentração (min) para as sub-bacias de 19 a 36.

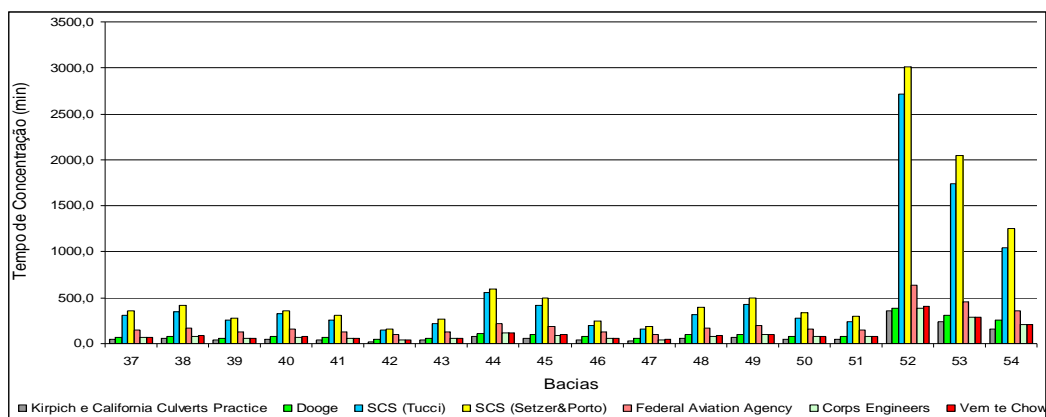


Figura 17 - Tempos de concentração (min) para as sub-bacias de 37 a 54.

Observando-se os valores obtidos, utilizando os vários métodos de estimativa do tempo de concentração para as sub-bacias estudadas, pode-se verificar grandes variações, para uma mesma sub-bacia.

3.5 Estimativa de Vazões de Pico

Com o objetivo de mostrar que existe uma grande variação nos resultados de vazão de projeto de acordo com o modelo de escoamento superficial utilizado no cálculo, foi feita a comparação entre os métodos Racional, o método do hidrograma Soil Conservation Service e o Hidrograma de Santa Bárbara.

As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados obtidos para vazões de pico, em m^3/s , para as sub-bacias de estudo, de acordo com o modelo adotado, para um período de retorno de 10 anos.

Tabela 2 - Resultados obtidos para vazão de pico, período de retorno de 10 anos.

Sub-bacia	Método Racional		Hidrograma Unitário									
			EXCEL		ABC4		ABC6		ABC4		ABC6	
			Triangular SCS		Triangular SCS		Triangular SCS		Santa Bárbara		Santa Bárbara	
Q (m³/s)	Hora (h)	Q (m³/s)	Hora (h)	Q (m³/s)	Hora (h)	Q (m³/s)	Hora (h)	Q (m³/s)	Hora (h)	Q (m³/s)	Hora (h)	
1	8,48	1,33	13,44	2,67	13,03	3,34	12,51	2,67	9,24	2,17	8,85	2,17
2	6,54	0,67	11,54	2,17	10,44	2,00	10,66	2,17	7,83	2,17	7,68	2,17
3	3,14	0,95	7,63	2,34	7,47	2,17	7,25	2,34	5,30	2,17	5,14	2,17
4	4,56	0,72	13,27	2,17	12,85	2,17	12,40	2,17	9,33	2,00	8,99	2,00
5	5,37	0,51	5,99	2,00	5,45	2,17	5,53	2,17	4,10	2,17	4,18	2,17
6	4,58	0,57	4,85	2,17	4,82	2,17	4,62	2,17	3,56	2,17	3,42	2,17
7	4,96	0,77	2,54	2,34	2,40	2,34	2,32	2,34	1,72	2,17	1,66	2,17
8	3,00	0,61	0,53	2,51	0,56	3,17	0,50	3,17	0,50	3,01	0,44	3,01
9	5,65	0,93	17,25	2,34	17,02	2,34	16,24	2,34	12,14	2,17	11,60	2,17
10	11,49	1,41	34,04	2,67	31,64	2,67	32,45	2,67	22,18	2,17	22,84	2,17
11	2,63	0,37	2,23	2,00	2,02	2,00	2,01	2,00	1,60	2,00	1,59	2,00
12	5,21	1,20	13,40	2,51	12,73	2,51	12,93	2,51	8,99	2,17	9,13	2,17
13	11,90	1,70	8,14	3,17	7,68	3,17	7,50	3,17	5,68	3,01	5,54	3,01
14	2,79	0,55	0,91	2,34	0,79	2,34	0,80	2,34	0,59	2,17	0,60	2,17
15	3,15	0,52	0,59	2,51	0,53	3,01	0,54	3,01	0,48	3,01	0,49	3,01
16	6,05	1,69	1,96	3,34	1,93	3,51	1,79	3,51	1,46	3,01	1,35	3,01
17	5,75	1,87	3,10	3,34	2,97	3,34	3,09	3,34	2,21	3,01	2,29	3,01
18	5,90	1,08	1,92	2,84	1,75	3,17	1,69	3,17	1,43	3,01	1,33	3,17
19	4,23	0,59	1,43	2,34	1,25	2,34	1,31	2,34	0,96	3,01	0,99	3,01
20	12,74	2,85	4,74	3,84	4,75	4,01	5,12	4,18	3,59	3,17	3,85	3,17
21	2,20	0,35	0,46	2,17	0,42	2,17	0,44	2,17	0,34	3,01	0,34	3,01
22	3,80	0,71	0,42	2,84	0,49	3,17	0,81	3,17	0,39	3,01	0,70	3,01
23	5,39	0,76	6,31	2,17	5,81	2,17	5,57	2,17	4,28	2,17	4,12	2,17
24	4,48	0,71	2,10	2,34	1,89	2,34	2,12	2,34	1,36	2,17	1,54	2,17
25	3,97	0,38	0,50	2,34	0,52	3,01	0,64	3,01	0,47	3,01	0,59	3,01
26	9,01	1,31	11,67	2,67	10,79	2,67	10,69	2,67	7,52	2,17	7,43	2,17
27	2,45	0,58	0,62	2,34	0,53	2,34	0,61	2,34	0,45	3,01	0,50	3,01

Tabela 13 - Continuação dos resultados obtidos para vazão de pico, período de retorno de 10 anos.

Sub-bacia	Método Racional		Hidrograma Unitário									
			EXCEL		ABC4		ABC6		ABC4		ABC6	
			Triangular SCS		Triangular SCS		Triangular SCS		Santa Bárbara		Santa Bárbara	
	Q (m³/s)	Hora (h)	Q (m³/s)	Hora (h)	Q (m³/s)	Hora (h)	Q (m³/s)	Hora (h)	Q (m³/s)	Hora (h)	Q (m³/s)	Hora (h)
28	2,21	0,52	0,35	2,51	0,32	3,01	0,36	3,01	0,29	3,01	0,33	3,01
29	3,68	0,71	1,28	2,51	1,11	2,34	1,03	2,34	0,86	3,01	0,82	3,01
30	7,36	0,70	5,85	2,17	5,43	2,17	5,22	2,17	4,02	2,17	3,87	2,17
31	8,07	0,97	2,59	2,67	2,20	2,67	2,07	3,17	1,85	3,01	1,74	3,01
32	8,46	1,08	3,19	2,84	2,83	3,01	2,98	2,84	2,33	3,01	2,45	3,01
33	5,38	0,97	2,52	2,67	2,24	2,51	2,31	2,51	1,72	3,01	1,75	3,01
34	10,22	1,32	4,44	2,84	4,04	3,01	3,97	3,01	3,14	3,01	3,10	3,01
35	5,82	0,62	0,74	2,67	0,76	3,17	1,21	3,17	0,63	3,01	1,07	3,01
36	2,48	0,65	0,42	2,51	0,40	3,17	0,45	3,17	0,35	3,01	0,40	3,01
37	5,44	0,78	1,67	2,51	1,40	2,51	1,31	2,51	1,19	3,01	1,13	3,01
38	6,23	0,91	2,69	2,51	2,38	2,51	2,62	2,51	1,82	3,01	1,95	3,01
39	3,53	0,63	0,72	2,51	0,66	3,17	0,62	3,17	0,58	3,01	0,55	3,01
40	5,19	0,79	1,53	2,51	1,28	2,51	1,31	2,51	1,11	3,01	1,14	3,01
41	5,44	0,65	1,31	2,51	1,07	3,01	1,01	3,01	0,97	3,01	0,91	3,01
42	3,89	0,41	1,55	2,17	1,51	2,17	1,65	2,17	1,13	2,17	1,23	2,17
43	4,36	0,60	1,90	2,34	1,73	2,17	1,64	2,34	1,31	2,17	1,23	2,17
44	8,39	1,32	2,21	3,01	2,16	3,34	2,23	3,34	1,66	3,17	1,74	3,01
45	9,82	1,07	4,18	2,67	3,71	2,67	3,54	2,67	1,68	3,01	2,81	3,01
46	10,77	0,65	10,80	2,17	10,08	2,17	9,70	2,17	7,36	2,17	7,09	2,17
47	5,56	0,43	1,71	2,17	1,61	2,17	1,59	2,17	1,18	2,17	1,16	2,17
48	12,40	0,91	7,15	2,51	6,47	2,51	6,14	2,51	4,64	2,17	4,35	2,17
49	9,43	1,14	5,15	2,67	4,65	2,67	4,87	2,67	3,51	3,01	3,63	3,01
50	7,72	0,87	6,81	2,34	6,45	2,34	6,33	2,34	4,62	2,17	4,53	2,17
51	6,31	0,81	11,14	2,34	10,39	2,17	10,41	2,34	7,61	2,17	7,59	2,17
52	46,24	5,97	15,97	5,68	15,90	5,84	15,02	5,67	12,70	3,34	12,03	3,17
53	39,37	3,92	9,47	4,51	9,70	4,84	9,70	4,67	7,60	3,34	7,60	3,17
54	36,95	2,74	21,51	3,67	21,25	4,01	19,49	4,01	15,66	3,01	14,39	3,17

As Figuras 18, 19 e 20 apresentam uma comparação entre as vazões de projeto obtidas pelos modelos do SCS, Santa Bárbara e o método Racional. Para as mesmas sub-bacias foram calculadas as vazões de pico.

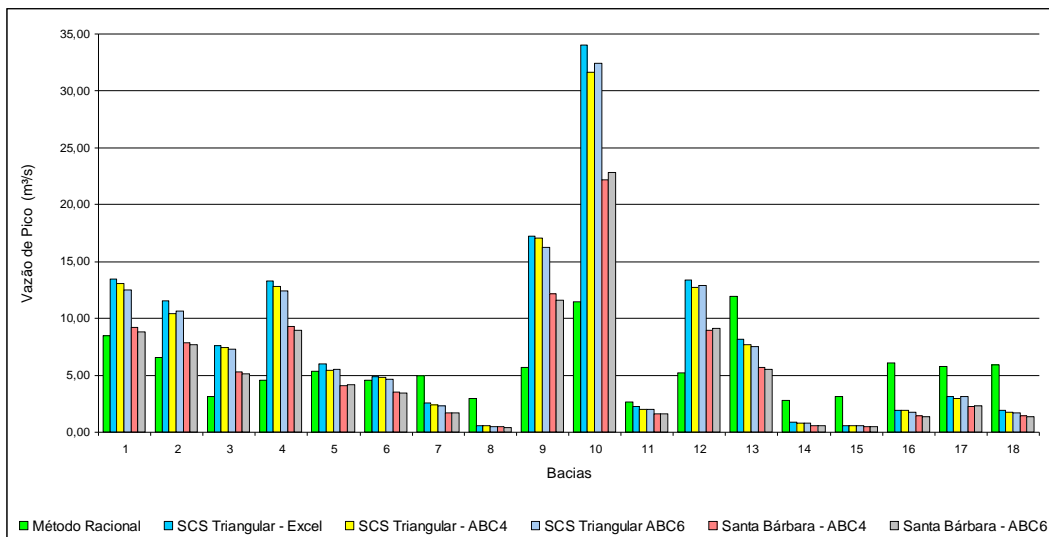


Figura 18 - Vazões de projeto (m^3/s) para as sub-bacias de 1 a 18, $Tr = 10$ anos.

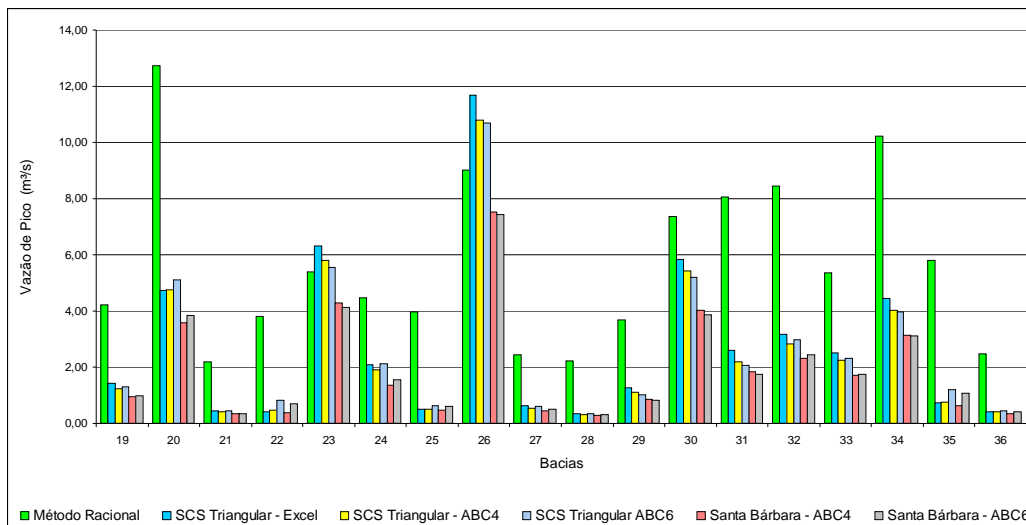


Figura 19 - Vazões de projeto (m^3/s) para as sub-bacias de 19 a 36, $Tr = 10$ anos.

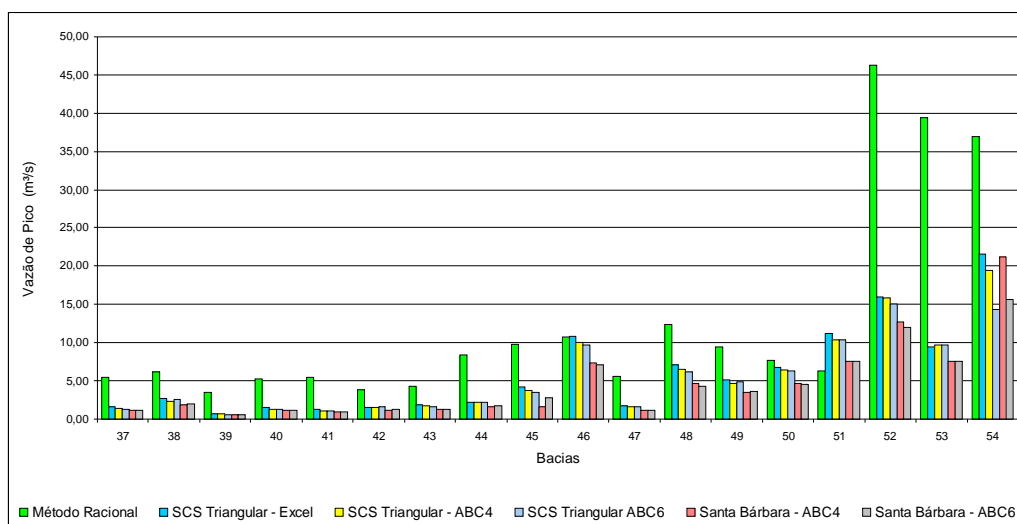


Figura 20 - Vazões de projeto (m^3/s) para as sub-bacias de 37 a 54, $T_r = 10$ anos.

Analisando as Figuras 18, 19 e 20, pode-se observar que o Método Racional, em média, superestimou a vazão de pico para a maioria das sub-bacias analisadas, em relação aos outros métodos, seguido pelo método do SCS e pelo Santa Bárbara. A diferença, para mais, da média obtida para as vazões de pico do método Racional em relação ao método do hidrograma triangular do SCS foi da ordem de 30% e em relação ao método de Santa Bárbara de 50%, para as sub-bacias estudadas.

Fazendo análise apenas em relação às sub-bacias que apresentam áreas de drenagem inferiores a 30 km^2 , observou-se que o Método Racional apresentou maiores valores para a vazão em 37 das 50 sub-bacias analisadas, representando 74% do total de sub-bacias, seguida pelo método SCS triangular que apresentou o maior valor de vazão de pico em 13 das 50 sub-bacias analisadas.

O Método Racional superestimou a vazão de pico mesmo para as sub-bacias com área até 5 km^2 quando comparado com outros métodos de cálculo utilizados. Cabe observar que 5 km^2 é limite máximo de área de drenagem recomendado para aplicação do método segundo a literatura.

Para as sub-bacias com áreas de drenagem superiores a 30 km^2 , o Método Racional apresentou vazões de pico maiores, quando comparadas com os outros métodos utilizados para o cálculo, em 100% das sub-bacias analisadas. As diferenças entre os valores obtidos pelo Método Racional e os outros métodos analisados aumentaram significativamente com as áreas.

4 CONCLUSÕES

O trabalho demonstrou as vantagens da utilização de tecnologias SIG se utilizar tecnologias relativas aos como ferramentas na modelagem hidrológica, permitindo automatização de processos mecânicos, além do ganho considerável na qualidade dos produtos gerados, possibilitando o aumento da eficiência do atendimento às demandas da sociedade, facilitando e agilizando os trabalhos relacionados com o gerenciamento de recursos hídricos.

A apresentação da caracterização do solo de bacias hidrográficas, em termos do CN, permitiu um acompanhamento qualitativo e quantitativo do comportamento destas, em termos da ocupação e do uso do solo, e em consequência, das condições de permeabilidade das mesmas, que influenciam os hidrogramas de projeto.

O desenvolvimento do estudo mostrou o grande potencial apresentado por técnicas de geoprocessamento para o planejamento de recursos hídricos, apresentando procedimentos para a delimitação de bacias hidrográficas e definição de redes de drenagem utilizando modelo digital do terreno, caso sejam adotados critérios bem definidos e passíveis de serem replicados para outras regiões, mantendo um padrão de qualidade nos resultados obtidos.

Com base nos valores dos CN's obtidos, concluiu-se que a variação de CN utilizando a classificação proposta por Setzer & Porto (1979) e a classificação proposta em Tucci (1993) não apresentaram diferenças consideráveis nos valores médios obtidos para as sub-bacias estudadas. A classificação hidrológica do solo de acordo com o método original do SCS e com aquela adaptada às condições brasileiras não apresentaram grandes diferenças, possivelmente por ter sido classificada apenas a maior classe do tipo de solo, não considerando as sub-ordens e suas características nas determinação do grupo hidrológico de solos (GHS).

Pela análise do parâmetro tempo de concentração para as sub-bacias de estudo, pôde-se verificar que é um parâmetro sensível na avaliação da vazão de pico de projeto, e as fórmulas existentes resultam em valores que podem apresentar grandes diferenças. As fórmulas de tempo de concentração devem ser aplicadas para condições semelhantes para as quais foram determinadas. Caso contrário, corre-se o risco de se representar um escoamento que não corresponde ao da bacia em estudo, causando erros na determinação das vazões máximas de projeto.

Das comparações, concluiu-se que o Método Racional, em média, apresentou maiores valores de vazão de pico para as sub-bacias analisadas, comparativamente aos outros métodos, seguido pelo hidrograma triangular do SCS e o de Santa Bárbara. A diferença da média obtida para as vazões de

pico do método Racional em relação ao método do hidrograma triangular do SCS foi da ordem de 30% e de 50% em relação ao do método de Santa Bárbara, para as sub-bacias estudadas. Aumentos de área de drenagem acarretaram aumentos significativos na vazão de pico estimadas pelo Método Racional.

BIBLIOGRAFIA

CETESB (1979). *Drenagem Urbana: manual de projeto*. São Paulo. 468p.

HABTEC, CONSÓRCIO SANTA MARIA JUCU - CSMJ (1997). *Diagnóstico e Plano Diretor das Bacias dos Rios Santa Maria da Vitória e Jucu*. Vitória, ES.

SETZER, J; PORTO, R. L. L. (1979). *Tentativa de avaliação de escoamento superficial de acordo com o solo e o seu recobrimento vegetal nas condições do estado de São Paulo*. São Paulo, Boletim Técnico DAEE, mai/ago 1979, v.2, n.2, 82-135.

TUCCI, C. E. M. (1993). *Escoamento superficial*. In: Tucci C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre, EDUSP, ABRH, 1993, cap. 11, p. 391-441.

TUCCI, C. E. M. (2000). *Coefficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 5 n° 1, p. 61-68.

ZAHED, K. F., MARCELLINI, S. S. (1995). *Precipitações Máximas*. In: *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: Ed. da Universidade, ABRH, cap. 2, p. 37-76.

ZAMPROGNO, D. P. (1999). *Subsídios para a definição de locais apropriados para a implantação de reservatórios de regularização de vazões: refinamento e aplicação de procedimento metodológico*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Vitória. Vitória.