

Modelagem dinâmica do escoamento superficial na área urbana de Santa Maria - RS

Daniel Borini Alves^{1,2}
Tania Maria Sausen²
María Silvia Pardi Lacruz³

¹ Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Av. Roraima, nº 1000 – 97105-900 – Santa Maria – RS, Brasil
danielborini@terra.com.br

² Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Caixa Postal 5021 – CEP 97105-970 – Santa Maria - RS, Brasil
tania@dsr.inpe.br

³ Centro Regional de Educação em Ciência e Tecnologia Espacial para a América Latina e o Caribe – CRECTEALC/Campus Brasil
Caixa Postal 5021 – CEP 97105-970 – Santa Maria - RS, Brasil
spadilacruz@gmail.com

Abstract. The research aims to analyze the runoff in the urban area of Santa Maria (RS), using the curve number model, developed by the Soil Conservation Service (SCS) with help of geoprocessing techniques. This methodology is based on integrated analysis of information regarding to land use and land cover, reclassified types of soil according to hydrologic groups proposed by SCS. The HRC/CBERS images were segmented and classified in order to obtain the land use and cover map of the urban area of Santa Maria, and the Aster digital elevation model was used in order to get information about the study area declivity. The map of hydrologic soil groups was developed from a map of existent soil types, these ones were reclassified according to their textural characteristics. For every combination of hydrological groups and land use and land cover classes were aggregated values corresponding to its potential runoff (curve number). Finally, it was done the integration of this potential runoff map with the declivity information, in order to identify the most potential areas to flooding in the urban area of Santa Maria. The application of curve number model was efficient to get the characteristics of the runoff and to identify the potential urban flooding areas in the study area. The satellite images and the GIS were very efficient tools in the development of the land use and land cover, runoff and declivity maps.

Palavras-chave: urbanization, runoff, geoprocessing, remote sensing, urbanização, escoamento superficial, geoprocessamento, sensoriamento remoto.

1. Introdução

Os estudos relacionados a problemáticas ambientais em áreas urbanas revelam-se como grandes desafios para a comunidade científica. Os distintos usos e coberturas da terra, com superfícies cada vez mais impermeabilizadas, tornam a análise do ciclo hidrológico complexa, e conseqüentemente dificultam a produção de informações sobre o comportamento do escoamento superficial, que são imprescindíveis no processo de apropriação urbana do espaço.

Neste contexto, afirma-se que o crescente processo de urbanização dos municípios brasileiros tem dado origem a determinados impactos sobre a rede de drenagem intra-urbana, associados com a alteração do pico de vazão e com o aumento do escoamento superficial. Esses impactos, segundo Tucci (2000) têm deteriorado a qualidade de vida da população, através do aumento da frequência e do nível das inundações, redução da qualidade da água e aumento de materiais sólidos no escoamento pluvial.

Estas condições apresentadas resultam de fatores tais como a impermeabilização dos lotes e a conseqüente alteração da cobertura vegetal, que modificam intensamente o ciclo hidrológico natural. Estes processos são desencadeados principalmente devido à forma como as cidades se desenvolvem, com projetos de drenagem urbana inadequados.

Diante desta realidade, diversos modelos hidrológicos de precipitação-vazão têm sido desenvolvidos para realizar prognósticos dos principais efeitos da urbanização nas bacias hidrográficas. Entre eles, destaca-se o elaborado pelo *Soil Conservation Service (SCS)* (1972), que permite a partir do parâmetro *curve number*, identificar características referentes ao potencial de escoamento superficial nas diferentes superfícies (Pickbrenner et al., 2005).

Sendo assim, esta pesquisa tem como objetivo geral analisar o potencial de escoamento superficial na área urbana do município de Santa Maria, na região central do estado do Rio Grande do Sul, baseado na aplicação do modelo *curve number*, utilizando geoprocessamento. Busca-se desta forma a produção de informações referentes ao uso e cobertura da área urbana de Santa Maria, procurando identificar áreas onde o escoamento superficial ocorre com mais intensidade, gerando riscos a alagamentos de acordo com as condições antecedentes de umidade e de declive.

Visa-se com o desenvolvimento da pesquisa a produção de referenciais cartográficos que auxiliem no planejamento local, no que se refere ao aspecto hidrológico inserido dentro da área urbana do município.

2. Metodologia de Trabalho

Os procedimentos metodológicos se desenvolveram de acordo com a realização das etapas descritas na Figura 1, baseando-se na aplicação do modelo hidrológico *curve number*, para a obtenção das informações de escoamento superficial nas diferentes superfícies da área urbana de Santa Maria.

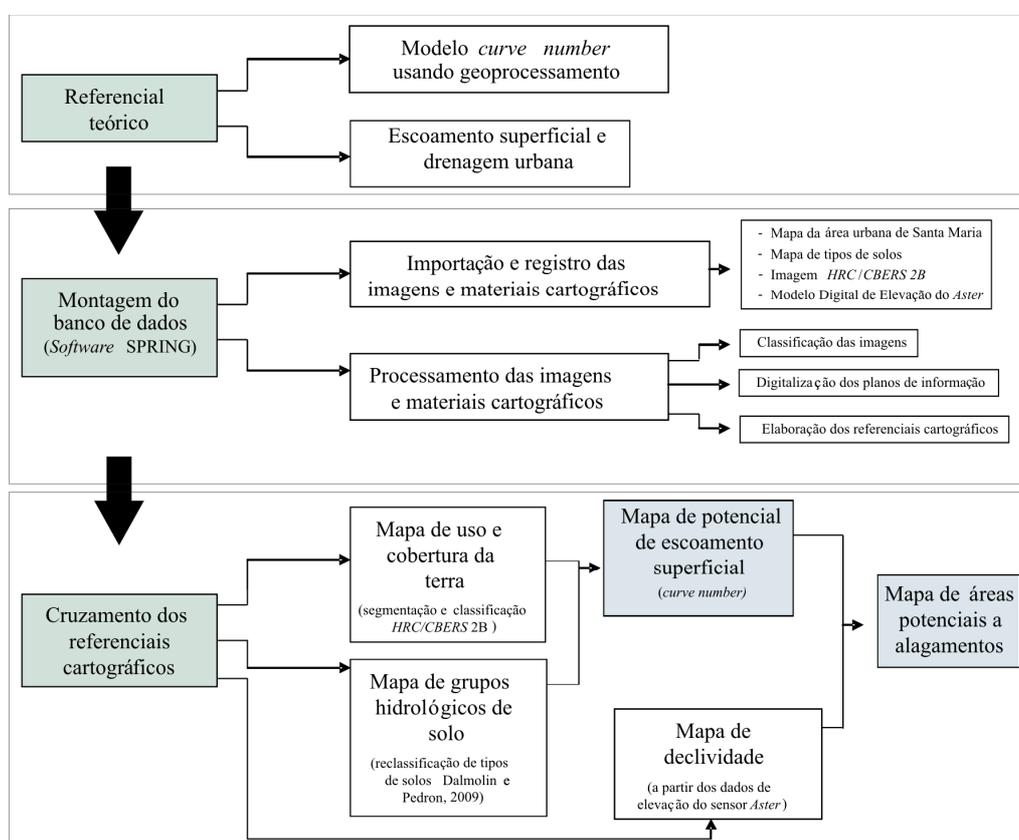


Figura 1. Procedimentos metodológicos da pesquisa.

Para a elaboração dos referenciais cartográficos, foram utilizadas uma imagem do sensor *HRC/CERBS 2B* e o modelo de elevação digital (MDE) do *Aster*. A imagem *CBERS*, datada de 11 de dezembro de 2008, foi utilizada para a elaboração do mapa de uso e cobertura da terra em escala detalhada, aproveitando a sua resolução espacial de 2,7 m. Esta imagem foi segmentada utilizando um algoritmo de crescimento de regiões e depois foi classificada de forma supervisionada por regiões, utilizando um algoritmo baseado na distância de Bhattacharya. O MDE do *Aster* foi reamostrado utilizando um interpolador bicúbico (de trinta para dez metros), e permitiu a obtenção das informações de declive da área selecionada. A imagem *HRC/CBERS* e o MDE do *Aster* foram obtidos gratuitamente, a partir do *download* nas páginas <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>> e <<http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/index.jsp>> respectivamente.

A montagem do banco de dados, o processamento das imagens e a posterior elaboração dos mapas, foram realizados utilizando o *software* SPRING versão 5.1.5.

Para obter o mapa de grupos hidrológicos de solos da área urbana de Santa Maria, foram reclassificados os tipos de solos a partir de uma base de informações já existente. Esta base trata-se do mapa de tipo de solos de Santa Maria, elaborado por Dalmolin e Pedron (2009), que teve a sua adaptação digitalizada sobre a base georeferenciada.

O mapa de potencial de escoamento superficial foi elaborado a partir do cruzamento das informações dos grupos hidrológicos e uso e cobertura da terra. Para cada cruzamento foi determinado um valor numérico, baseado no tabelamento *curve number* para bacias urbanas. A identificação das áreas potenciais a alagamentos foi realizada a partir do cruzamento das informações potencial de escoamento superficial junto às características de declive.

3. Resultados e Discussões

3.1 Mapa de Uso e Cobertura da Terra

A imagem *HRC/CBERS 2B* foi classificada em escala detalhada (1:15.000), com suas classes definidas a partir das tabelas existentes na literatura para mapeamento *curve number*. Dessa forma, foram definidas sete classes de uso e cobertura da terra: vegetação arbórea de cobertura boa; vegetação rasteira (campos) em boas condições; áreas predominantemente residenciais; áreas de comércio, serviços e instituições; áreas industriais; espaços abertos; arruamentos e áreas asfaltadas.

A partir da distinção destas classes dentro da área urbana de Santa Maria, acrescidas dos planos de informação referentes à rede de drenagem, foi possível gerar o mapa de uso e cobertura da terra em escala detalhada (Figura 2).

A partir da medida de classes (Tabela 1), pode-se observar numericamente a distribuição das classes de uso e cobertura da terra presentes na área de estudo.

O mapa distingue bem a distribuição das áreas edificadas, tendo o espalhamento das áreas residenciais predominando para as zonas periféricas e sub-centrais, enquanto as áreas de comércio, serviços e instituições prevalecem nas zonas centrais e ao longo dos principais arruamentos.

As áreas florestadas representam uma boa proporção em relação à área total do município. Porém se devem levar em conta os altos índices de predominância desta classe na zona norte e centro-sul do município, regiões de presença de morros e pouco avanço das áreas edificadas, que elevam significativamente a sua proporção em nível municipal.

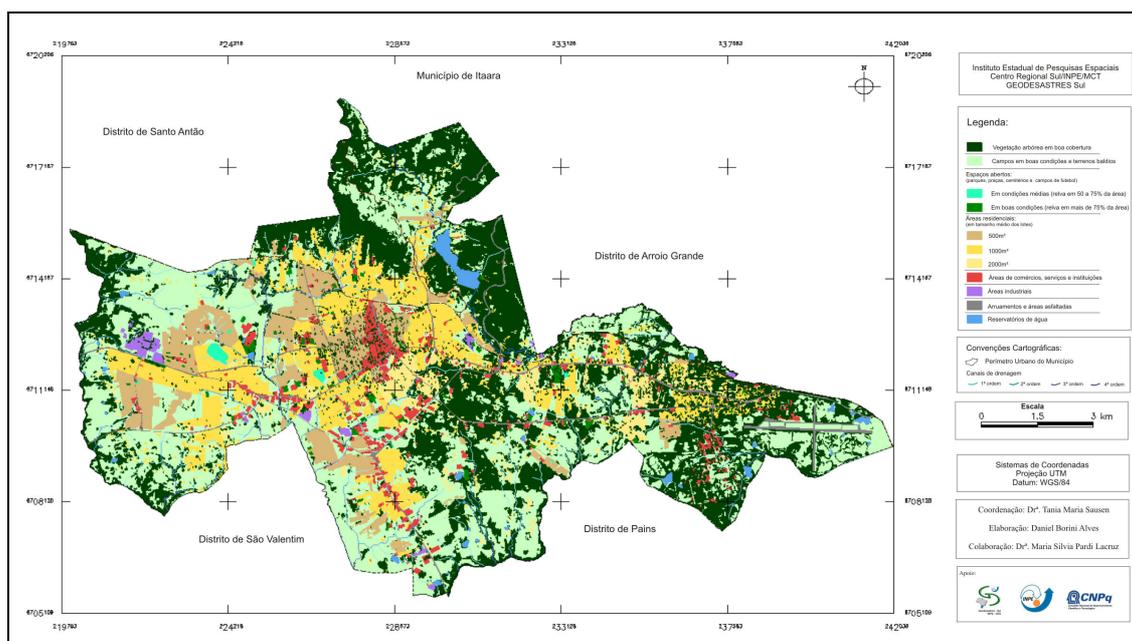


Figura 2. Mapa de uso e cobertura da terra – HRC/CBERS 2B

Tabela 1. Medida de classes do mapa de uso e cobertura da terra.

Classes de uso e cobertura da terra	Área (ha)	Proporção (%)
Vegetação arbórea de cobertura boa	3.580,59	27,66
Vegetação rasteira (campos) em boas condições	5.382,49	41,57
Áreas predominantemente residenciais: (tamanho médio dos lotes)		
<500m ²	986,61	7,62
1000m ²	1.621,25	12,53
2000m ²	412,31	3,18
Áreas de comércio, serviços e instituições	460,83	3,56
Áreas industriais	76,52	0,59
Espaços abertos: parques, praças, cemitérios e campos de futebol:		
Em boas condições (relva em mais de 75% da área)	101,95	0,79
Em condições médias (relva em 50 a 75% da área)	40,41	0,31
Arruamentos e áreas asfaltadas	130,92	1,01
Água		
Canais de 1 ^a ordem	20	0,15
Canais de 2 ^a ordem	9,85	0,07
Canais de 3 ^a ordem	6,50	0,05
Canais de 4 ^a ordem	5,13	0,04
Reservatórios de água	110,98	0,87
Total	12.946,34	100

3.3 Mapa de Grupos Hidrológicos de Solo

De acordo com as descrições dos tipos de solos por Dalmolin e Pedron (2009), os argissolos vermelhos e argissolos vermelho-amarelos, considerados bem drenados, foram reclassificados no Grupo Hidrológico B, enquanto os argissolos amarelos e bruno acinzentados, considerados mal drenados, foram reclassificados no Grupo Hidrológico C. Os planossolos, devido a apresentarem características de má drenagem e

suscetibilidade a inundações, foram agrupados em sua maioria no Grupo Hidrológico D, variando para C quando de textura arenosa/argilosa. Os neossolos litólicos e regolíticos foram reclassificados no Grupo Hidrológico D devido à característica de contato lítico. Não se observaram solos com características do Grupo Hidrológico A.

A partir dessas constatações, foi possível gerar o mapa de grupos hidrológicos de solos da área urbana de Santa Maria (Figura 3), onde se observa a predominância dos Grupos Hidrológicos B e C alternando com algumas áreas de presença do Grupo Hidrológico D.

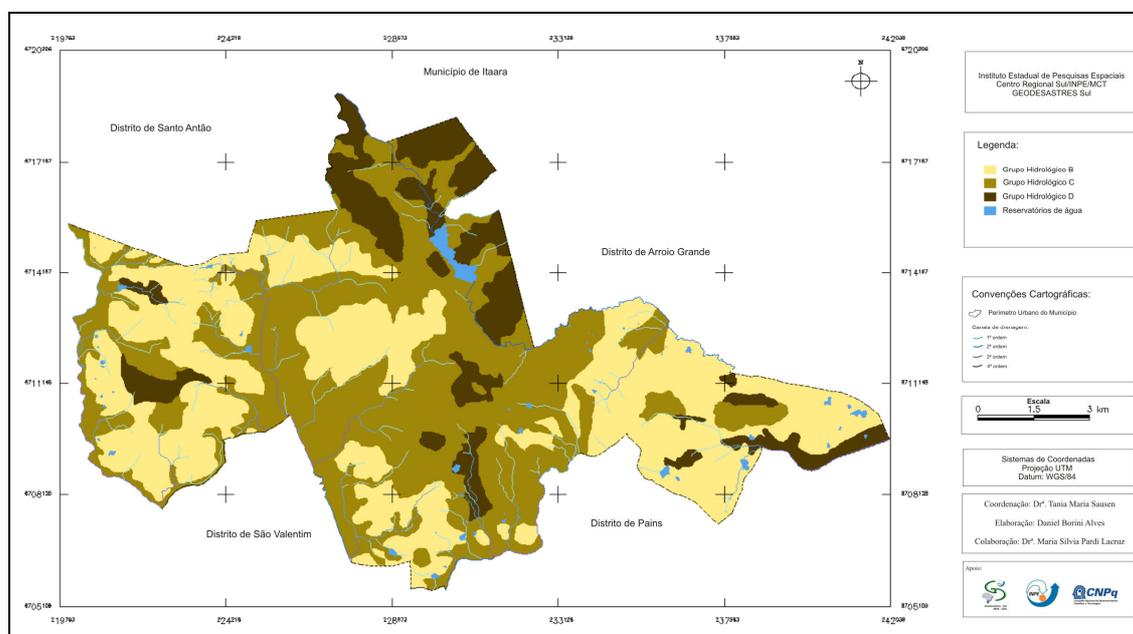


Figura 3. Mapa de grupos hidrológicos de solo.

Associando as condições geomorfológicas, analisa-se que na área norte do perímetro urbano de Santa Maria, de formação Serra Geral, os solos presentes foram reclassificados em sua maioria como Grupo Hidrológico C e D, enquanto, na área de Depressão Central, a predominância é de Grupos Hidrológicos B e C.

3.4 Mapa de Potencial de Escoamento Superficial

Os valores *curve number* foram obtidos a partir do cruzamento das classes de uso e cobertura da terra com os grupos hidrológicos de solo, dispostos na Tabela 2.

Considerando que os solos da área urbana de Santa Maria foram reclassificados entre os grupos hidrológicos B, C e D, o limite inferior de *curve number* encontrado nos cruzamentos refere-se ao de áreas de vegetação arbórea de cobertura boa em grupo hidrológico B (valor 55), enquanto que o limite superior encontrado refere-se ao cruzamento da classe de arruamentos asfaltados com ambos os grupos hidrológicos (valor 98). Para o limite inferior apresentado se desconsidera as superfícies de presença de água, pois esta classe foi conservada no cruzamento dos mapas para melhor visualização do escoamento superficial.

O cruzamento dos mapas de uso e cobertura da terra e de grupos hidrológicos de solos possibilitou a elaboração do mapa de potencial de escoamento superficial da área urbana de Santa Maria (Figura 4).

Tabela 2. Valores *curve number* para bacias urbanas, em condições de umidade II.

Tipo de uso e cobertura da terra e suas condições	Grupo Hidrológico			
	A	B	C	D
Vegetação arbórea de cobertura boa	25	55	70	77
Vegetação rasteira (campos) em boas condições	30	58	71	78
Áreas predominantemente residenciais (tamanho médio dos lotes)				
<500m ²	77	85	90	92
1000m ²	61	75	83	87
2000m ²	54	70	80	85
Áreas de comércio, serviços e instituições	89	92	94	95
Áreas industriais	81	88	91	93
Espaços abertos: parques, praças, cemitérios e campos de futebol:				
Em boas condições (relva em mais de 75% da área)	39	61	74	80
Em condições médias (relva em 50 a 75% da área)	49	69	79	84
Arruamentos e áreas asfaltadas	98	98	98	98

Fonte: Adaptado a partir de Wilken (1978), Tucci (1997), Risso et al.(2008).

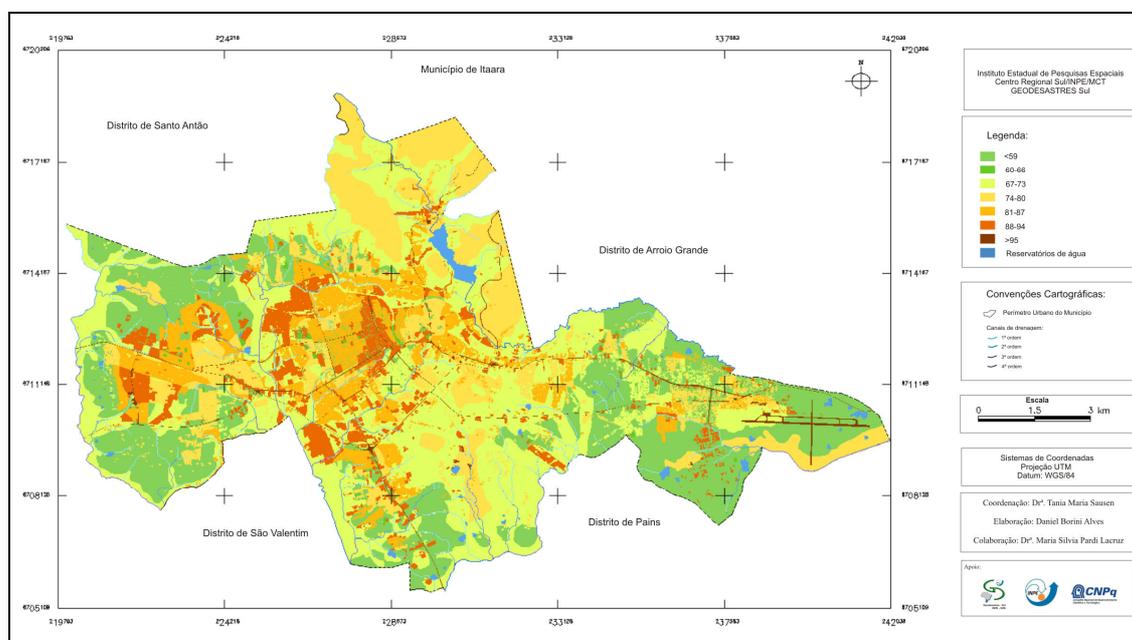


Figura 4. Mapa de potencial de escoamento superficial.

A partir da distinção numérica do parâmetro *curve number* para as diferentes superfícies, estas foram classificadas de acordo com os seguintes intervalos: <59; 60 - 66; 67 - 73; 74 - 80; 81 - 87; 88 - 94; >95. A distribuição numérica nas classes (Tabela 3) destaca a classes inferiores a 80, com uma proporção superior a 80% em relação à área total do perímetro urbano de Santa Maria.

As áreas com *curve number* superior a 81, que indicam um alto grau de escoamento superficial, somam 2.716,56 hectares, que representam aproximadamente vinte por cento da área total urbana do município. Estas áreas estão localizadas principalmente no centro urbano e em áreas residenciais a oeste e centro-oeste do perímetro urbano.

Tabela 3. Medida de classes do mapa de potencial de escoamento superficial.

Classes	Área (ha)	Proporção (%)
<59	3.369,26	26,02
60 – 66	38,33	0,30
67 – 73	4.325,9	33,41
74 – 80	2.496,29	19,28
81 – 87	1.425,76	11,01
88 – 94	996,26	7,70
>95	142,08	1,10
Água	152,46	1,18
Total	12.946,34	100

3.5 Identificação das áreas potenciais a alagamentos

O cruzamento das informações de escoamento superficial e de declividade foi realizado a partir do seguinte parâmetro: áreas com *curve number* elevado (maior que 81 na condição II de umidade anterior) em área de declividade menor que três por cento, foram consideradas potenciais a alagamentos.

É importante ressaltar que as informações de declividade retratam a predominância de áreas de baixo declive, onde as áreas menores que oito por cento representam cerca de setenta por cento da área total do município. Na área norte, região de morros, encontram-se as declividades mais acentuadas do município.

Desta forma, o mapa de áreas potenciais a alagamentos (Figura 5), apresenta as superfícies de alto índice de escoamento superficial e baixa declividade, onde a retenção de água é maior. Sendo assim, se determinam algumas áreas de maior probabilidade de ocorrência de alagamentos, distribuídas principalmente em algumas áreas residenciais a centro-oeste e oeste do município, com tendência a terem problemas quando ocorrem períodos chuvosos. Essas áreas totalizaram cerca de 643 hectares.

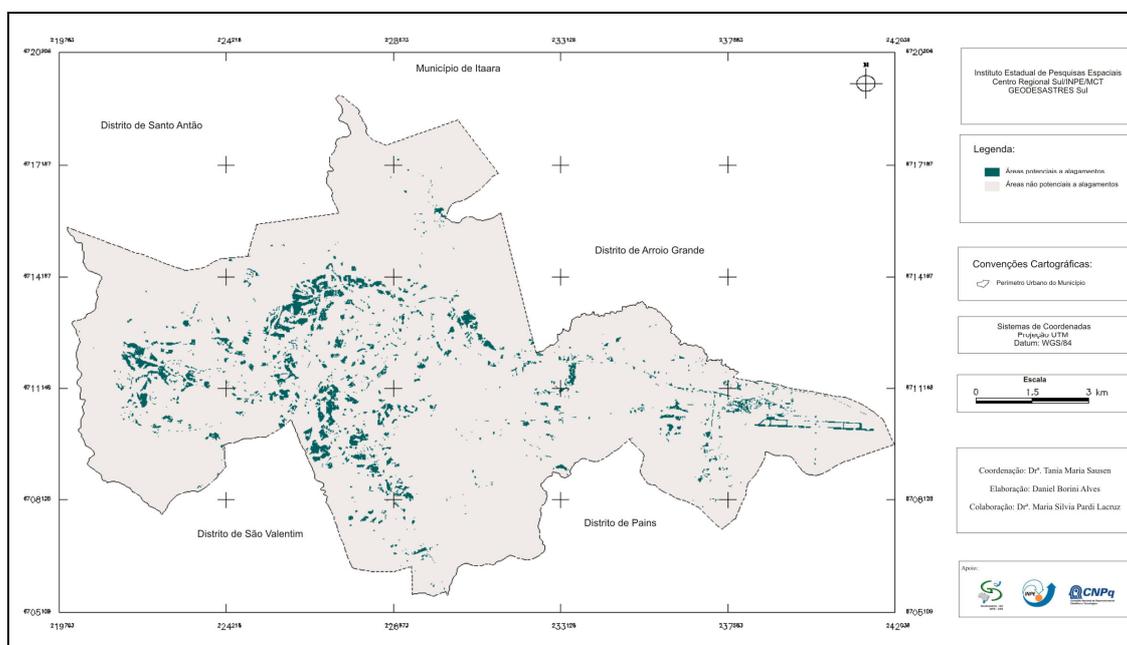


Figura 5. Mapa de áreas potenciais a alagamentos da área urbana de Santa Maria.

4. Conclusões

A partir dos resultados obtidos com o desenvolvimento desta pesquisa, é possível afirmar que o modelo hidrológico de precipitação vazão *curve number* demonstra-se como uma boa estratégia metodológica para a identificação das características de escoamento superficial para ambientes urbanos. Ao propor a análise do uso e cobertura da terra, juntamente com as características de solo, este modelo permite a produção de informações sobre o escoamento superficial, sendo estas capazes de suprir a carência de dados hidrológicos existente em grande parte dos municípios brasileiros.

Destaca-se ainda que a utilização de técnicas de geoprocessamento na aplicação do modelo demonstrou-se muito eficiente, por permitir a produção de informações espacializadas sob uma base geográfica. Esse procedimento possibilita a identificação e comparação das características de escoamento superficial para diferentes superfícies.

Desta forma, acredita-se que o mapa de potencial de escoamento superficial seja um bom instrumento para a análise do escoamento superficial da área urbana de Santa Maria, e um importante referencial na identificação de áreas potenciais a alagamentos de acordo com as condições pluviométricas que se apresentam.

Indica-se aos pesquisadores interessados na aplicação do modelo, a certificação sobre a disponibilidade de referências cartográficas que contenham as características de tipos de solos da área a ser estudada, e de imagens de alta resolução que permitam a análise do uso e cobertura da terra. Convém ainda ressaltar que a obtenção de outros dados, como a localização de bocas de lobo e a distinção das diferentes direções de fluxos de água subterrânea, podem subsidiar a otimização da aplicação do modelo para identificação das áreas potenciais a alagamentos.

Os mapas elaborados nesta pesquisa serão apresentados e discutidos junto a representantes da Defesa Civil de Santa Maria, buscando a comparação das informações geradas com as ocorrências de alagamentos no município, podendo auxiliar na indicação de novas áreas potenciais a ocorrência destes eventos. Os referenciais cartográficos elaborados são de grande utilidade no processo de planejamento urbano do município.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de Iniciação Científica CNPq/INPE concedida ao primeiro autor.

Referências Bibliográficas

Dalmolin, R. S. D.; Pedron, F. A. Solos do município de Santa Maria. **Ciência&Ambiente**. Santa Maria, n. 38, jan.-jun. 2009.

Pickbrenner, K.; Pedrollo, M. C.; Risso, A. Determinação do CN utilizando geoprocessamento: simulação hidrológica na Bacia do rio Criciúma. **Anais... XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. João Pessoa, 2005.

Risso, A.; Gonçalves, L. S.; Silva, F. C. **El cálculo del escurrimiento superficial en áreas urbanas utilizando geoprocessamiento**. In: I Escuela de primavera sobre soluciones espaciales para el manejo de desastres naturales y respuestas de emergencias-inundaciones. 2008.

SCS – Soil Conservation Service. **National Engineering Handbook**, USDA, 1972.

Tucci, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1997.

Tucci, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2000.

Wilken, P. S. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: CETESB, 1978.