

Bacias hidrográficas urbanas e a problemática das inundações Estudo de caso: bacia hidrográfica do Rio Cachoeira – Joinville/SC

Cristiane Regina Muller¹
Francisco Henrique de Oliveira²
Edna Lindaura Luiz³

^{1,2,3} Laboratório de Geoprocessamento
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC
Av. Madre Benvenuta, 2007 - Itacorubi - Florianópolis - SC CEP: 88.035-001
muller.cristiane@yahoo.com.br, chico.udesc@gmail.com, elinluiz@uol.com.br

Abstract. The purpose of this paper is to evaluate the susceptibility of flood occurrence in Cachoeira River watershed –Joinville / SC. By this way, it was done an evaluation and also produced thematic maps for some environmental parameters, that conditioning the flooding process in the urban watershed at Joinville, city / SC. The parameters considered were: slope, soil types, geomorphology, land use and occupation. For each parameter it was assigned one weight, according to their contribution to flooding phenomenon. The Geographic Information System (GIS), was used as the main procedure for overlap and cross thematic layers, applying the weighted average algorithm. As graphic result it was obtained the thematic map with definitions of flooding susceptible areas in the watershed of Cachoeira River – Joinville / SC. The areas most susceptible to flood occurrence were those at the bottom of the watershed, especially near the Babitonga Bay, where the heights and slopes are lower. This scenario leads us to consider the tidal lowland, which has a strong influence of flooding occurrence from astronomical and meteorological tides. The use of geotechnology to systematize and analyze the parameters involved in the process was efficient, and allowed the integration of datas from different sources, aiming to understand the susceptibility of flooding process in the studied area.

Palavras-chave: watershed, flooding, geotechnology.

1. Introdução

As atividades humanas são todas desenvolvidas sobre bacias hidrográficas, desta forma no seu exutório estarão representados os processos inerentes ao seu sistema. O que ocorre neste ponto da bacia é a consequência direta das formas de ocupação do território e da utilização das águas que para ali convergem (PORTO, 2008). De acordo com Tucci (1999) o desenvolvimento urbano altera a cobertura vegetal e faz crescer a demanda por recursos hídricos para usos diversos, provocando vários efeitos que alteram os componentes do ciclo hidrológico natural.

No processo de crescimento do núcleo urbano de Joinville/SC ocorreram ocupações urbanas inadequadas, do ponto de vista do ambiente natural. Além da ocupação da planície costeira (manguezais e restinga, dentre outros), a ocupação dos morros urbanos, através de corte de platôs escalonados com a destruição da camada de vegetação, a ocupação dos morros presentes junto ao sítio urbano, a partir de ações de desmatamentos, terraplenagens e cortes de encosta, ocasionaram erosão do solo e produção de sedimentos com consequente assoreamento dos rios da planície da área de estudo.

Inundações são fenômenos naturais decorrentes do extravasamento dos rios sobre as planícies adjacentes ao leito em eventos de cheias (CHRISTOFOLETTI, 1981). Estas planícies são construídas a partir de sedimentos depositados pelos próprios rios. Quando os rios chegam ao mar podem escavar antigos depósitos marinhos, deixando seus próprios sedimentos sobre os marinhos mais antigos e criando planícies e terraços flúvio-marinhos, como é o caso da área de estudo.

Joinville/SC é um importante pólo econômico estadual e também o de maior população no estado de Santa Catarina. Por isso, fenômenos como inundações e alagamentos acarretam grandes prejuízos de cunho econômico e social na região. Conforme Silveira (2008) as

inundações vêm sendo registradas desde a fundação do município, pois este está a apenas 02 (dois) metros acima do nível do mar, ao longo das margens do Rio Cachoeira, junto à sua foz. Isso faz com que periodicamente ocorra uma forte cheia, fazendo com que a cidade fique inundada tanto por causa do aumento da vazão do rio quanto pelo aumento do nível das marés em casos de marés astronômicas e/ou de tempestade.

Em consonância com outras cidades brasileiras, a ausência de um planejamento territorial efetivo e comprometido com a realidade e a fragilidade ambiental na qual se insere, fez com que a malha urbana decorrente da explosão demográfica de Joinville se expandisse de forma desordenada e, por vezes, em locais não apropriados ao assentamento humano, como margens de rios e encostas.

Neste contexto, tem-se a aplicação de técnicas de geoprocessamento no estudo dos fatores condicionantes para a ocorrência de inundações na bacia hidrográfica do Rio Cachoeira – Joinville/SC, apresentando uma proposta metodológica aplicável para subsidiar os instrumentos legais que conduzem o ordenamento territorial.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Rio Cachoeira está totalmente inserida na área urbana de Joinville/SC e sua foz está na baía da Babitonga, a qual se liga ao oceano atlântico, Figura 1. Drena uma área de 83,12 km², que representa 7,3% da área do município. Apesar de apresentar uma área de contribuição pequena, as inundações na bacia são condicionadas por outros aspectos, tal como as chuvas abundantes e regulares na região.

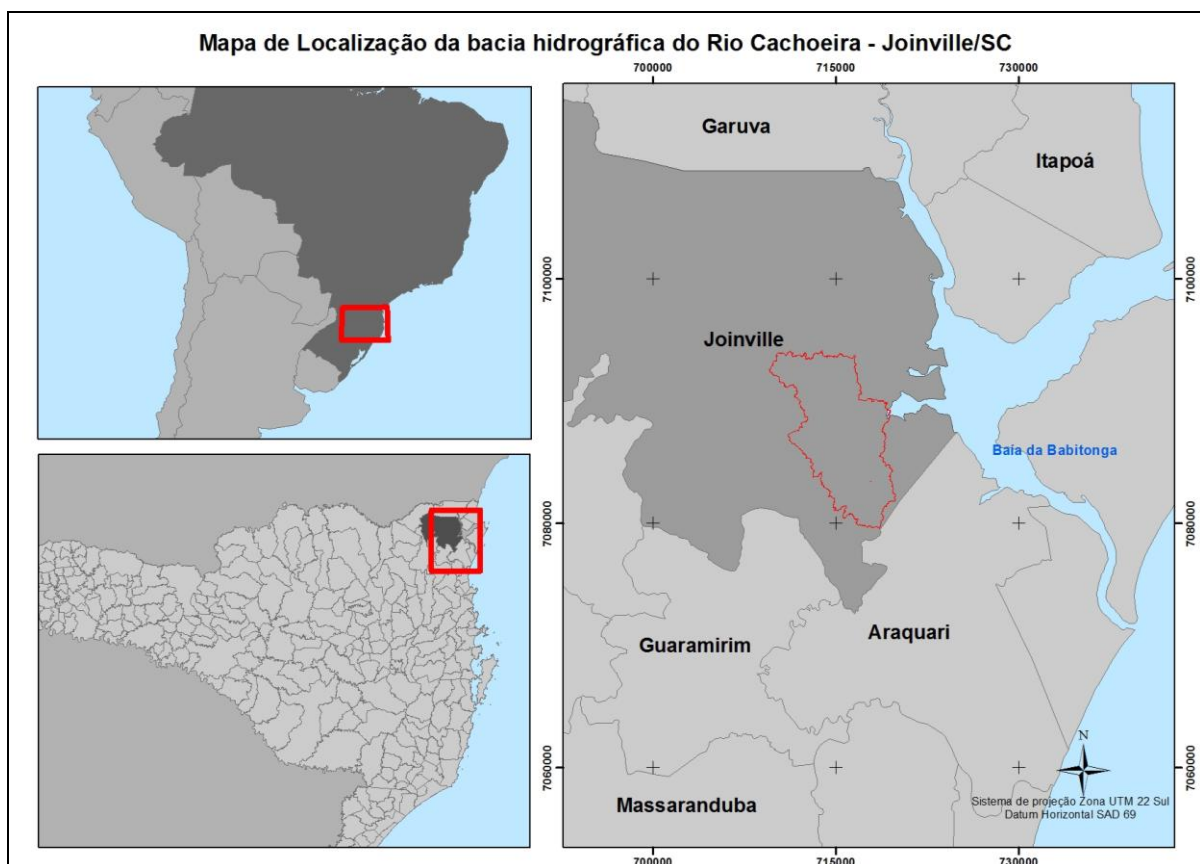


Figura 1 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Cachoeira – Joinville/SC.

Esta bacia está situada nos Domínios Morfoestruturais dos Depósitos Sedimentares Quaternários, na Unidade Geomorfológica correspondente a Planície Costeira, ou Planície Quaternária, formada pela sedimentação flúvio-marinha (KNIE, 2002). Encontra-se inserida em dois grandes compartimentos de relevo: o de dissecação em colinas, morros e montanhas, modelados em rochas cristalinas antigas, e o de acumulação, modelado em sedimentos recentes de origem marinha, lacustre, coluvionar e fluvial.

O clima na qual esta área está inserida é o subtropical úmido, fortemente marcado por duas estações bem distintas durante o ano: o verão e o inverno. Os totais pluviométricos anuais no município de Joinville estão entre 1900-2500 mm.

A foz encontra-se numa região estuarina sob a influência das marés, onde se encontram remanescentes de manguezais. Durante os períodos de amplitude da maré, pode-se verificar a inversão do fluxo da água do rio (remanso) até quase a metade de seu percurso causado pelo ingresso de água salgada através do canal (IPPUJ, 2009).

As baixas altitudes junto a foz, associadas ao efeito das marés astronômicas e meteorológicas, e das precipitações pluviométricas, causam frequentes problemas de inundações na região central, atingindo também alguns afluentes (IPPUJ, 2009).

2.2 Materiais

Dados:

- Ortofotos da Área Urbana de Joinville, escala 1:5.000, 2007;
- Mapa de Solos, SEPLAN, Prefeitura de Joinville, escala 1:10.000, 2009;
- Dados da varredura da área urbana pelo Laser Scanner, 1:1000 (4pontos/m²), 2007;
- Base cartográfica municipal, escala 1:1000, 2007;
- Aerofotos do levantamento aerofotogramétrico de Santa Catarina – vôo Cruzeiro do Sul, escala 1:25.000, 1978;

Software e Hardware

- Plataforma Arcgis (extensões ArCHydroTools e Spatial Analyst);
- Estereoscópio de Mesa Sokkisha Ms 16.

2.3 Método

O método proposto nesta pesquisa toma como referência os pressupostos de Medeiros & Câmara (2001) os quais abordam a temática de geoprocessamento para projetos ambientais apresentando métodos baseados no processo de “selecionar e combinar, através de procedimentos de síntese disponíveis num SIG, as variáveis geográficas, considerando os limites por elas estabelecidos” (MEDEIROS & CÂMARA, 2001). Estes limites são a delimitação de formas de relevo, solos, cobertura vegetal, dentre outras variáveis ambientais, no caso desta pesquisa, relacionadas ao processo de inundação. De acordo com estes autores, cada variável contém uma característica espacial específica e a combinação entre elas (por sobreposição ou “cruzamento”) promove a subdivisão do espaço geográfico em regiões equiprobemáticas, supostamente concretas.

Conforme Medeiros & Câmara (2001) a áreas potencialmente sujeitas a inundações foram-se por processos similares, possuindo certos atributos ou indicadores ambientais para caracterizá-las: morfologia suave, normalmente limitadas pelas encostas dos vales; nível freático elevado e por conseguinte, com drenagem interna deficiente; vegetação com espécies adaptadas a condições de umidade excessiva; e inundações ocasionais de cursos d’água.

Para a realização da análise de suscetibilidade a inundação elaborou-se uma base de dados georreferenciada construída através do levantamento das variáveis ambientais inerentes ao processo de inundação na área de estudo, a bacia hidrográfica do Rio Cachoeira – Joinville/SC. Os quatro planos de informação temática que fizeram parte deste estudo caracterizaram a área de estudo nos seguintes aspectos: declividade, uso do solo, solos, e

geomorfologia. Esta etapa da pesquisa realizou-se com o a utilização da plataforma ESRI por meio do uso do software da família ArcGIS 10.

Para a realização das avaliações utilizou-se um algoritmo classificador de média ponderada aplicável a uma estrutura de matrizes, no qual cada célula corresponde a uma unidade territorial (Dias et. al, 2004). A aplicação da média ponderada, de acordo com Eastman et al. (1995) é a técnica mais utilizada em projetos que envolvam análise espacial.

A aplicação deste método implica a inferência aos dados de entrada de pesos em função da importância destes para com a hipótese sobre consideração, no caso da presente pesquisa relacionado ao processo de inundação. A ponderação das classes para cada plano de informação é realizada através de pesos definidos empiricamente. Os planos de informação ponderados são então somados através de uma soma ponderada na qual cada plano de informação recebeu pesos segundo sua importância relativa.

O algoritmo utilizado, aplicável a estruturas de matrizes ou matriciais, é apresentado pela fórmula (1):

$$MP_n = \frac{\sum_k [P_k (N_k)]}{\sum_k P_k} \quad (1)$$

onde:

MP_n = média ponderada a ser atribuída a cada unidade de resolução espacial;

P_k = peso atribuído ao plano de informação “k”;

N_k = valor representativo de uma classe do plano de informação “k”,

n = número de planos de informação envolvido no cômputo.

Conforme Xavier da Silva (2001), o somatório dos pesos dos planos de informação ao ser normalizado, passando a ser expresso no intervalo entre 0 e 1, com a soma dos pesos significando a unidade (1), tem-se postulado a inserção na avaliação de todas as variáveis (planos de informação com suas possíveis classes) contribuintes para a possibilidade de ocorrência do evento estimado. A fórmula da média ponderada, modificada, será:

$$(POSS)_i = MP_n = \frac{\sum_k [P_k (N_k)]}{\sum_k P_k} \quad (2)$$

onde:

(POSS)_i = possibilidade de ocorrência de um evento ou entidade ambientais.

Os planos temáticos selecionados para avaliação do processo de inundação e as respectivas inferências de pesos são apresentados nos Quadro 1, Quadro 2, Quadro 3 e Quadro 4.

Quadro 1 - Peso atribuído às classes do plano de informação Declividade.

	Classe Temática	Peso
	> 5%	5
	5 a 12%	4
	12 a 20%	3
	20 a 30%	2
	30 a 47%	1
	> 47%	1

Quadro 2 - Peso atribuído às classes do plano de informação Uso do Solo.

	Classe Temática	Peso
	Vegetação Rasteira	3
	Vegetação Arbustiva	2
	Vegetação Arbórea	1
	Mangue	5
	Cultura	3
	Solo Exposto	4
	Mancha Urbana	5

Quadro 3 - Peso atribuído às classes do plano de informação Solo.

	Classe Temática	Peso
	Cambissolo Háptico	2
	Cambissolo Flúvico	4
	Gleissolo	5
	Argissolo	2
	Neossolo	1
	Solo indiscriminado de mangue	5

Quadro 4 - Peso atribuído às classes do plano de informação Geomorfologia.

	Classe Temática	Peso
	Elevações na forma de colinas	1
	Elevações na forma de morrarias	1
	Elevações na forma de montanhas	1
	Terraço Fluvial	4
	Terraço Lagunar	5
	Planície Colúvio-Alúvionar	4
	Planície de Maré	5

Para executar o processamento das avaliações ambientais dos planos temáticos, visando determinar as áreas de suscetibilidade à inundação, hierarquizou-se a contribuição e importância de cada tema (plano de informação). A modelagem do problema no sistema SIG, foi realizada empregando teoricamente o que é discutido na literatura sobre o fenômeno das inundações. Desta forma, utilizou-se os seguintes parâmetros de definição: geomorfologia (peso 35%), uso e ocupação do solo/cobertura vegetal (peso 30%), declividade (peso 20%), solos (peso 15%). Os tipos de solo recebem as menores porcentagens por já refletirem em si a influência de outras variáveis como tipo de relevo e declividade.

3. Resultados e Discussão

A aplicação da modelagem ambiental proposta resultou no mapa contendo as áreas de suscetibilidade a inundação na bacia hidrográfica do Rio Cachoeira – Joinville/SC apresentado em cinco classes de suscetibilidade a inundação: muito alta, alta, média, baixa e muito baixa/nula. Identifica-se que a área de estudo caracteriza-se por apresentar predominância de áreas de suscetibilidade à inundação entre alta e muito alta (56%), conforme visualiza-se na Figura 2 e Quadro 5.

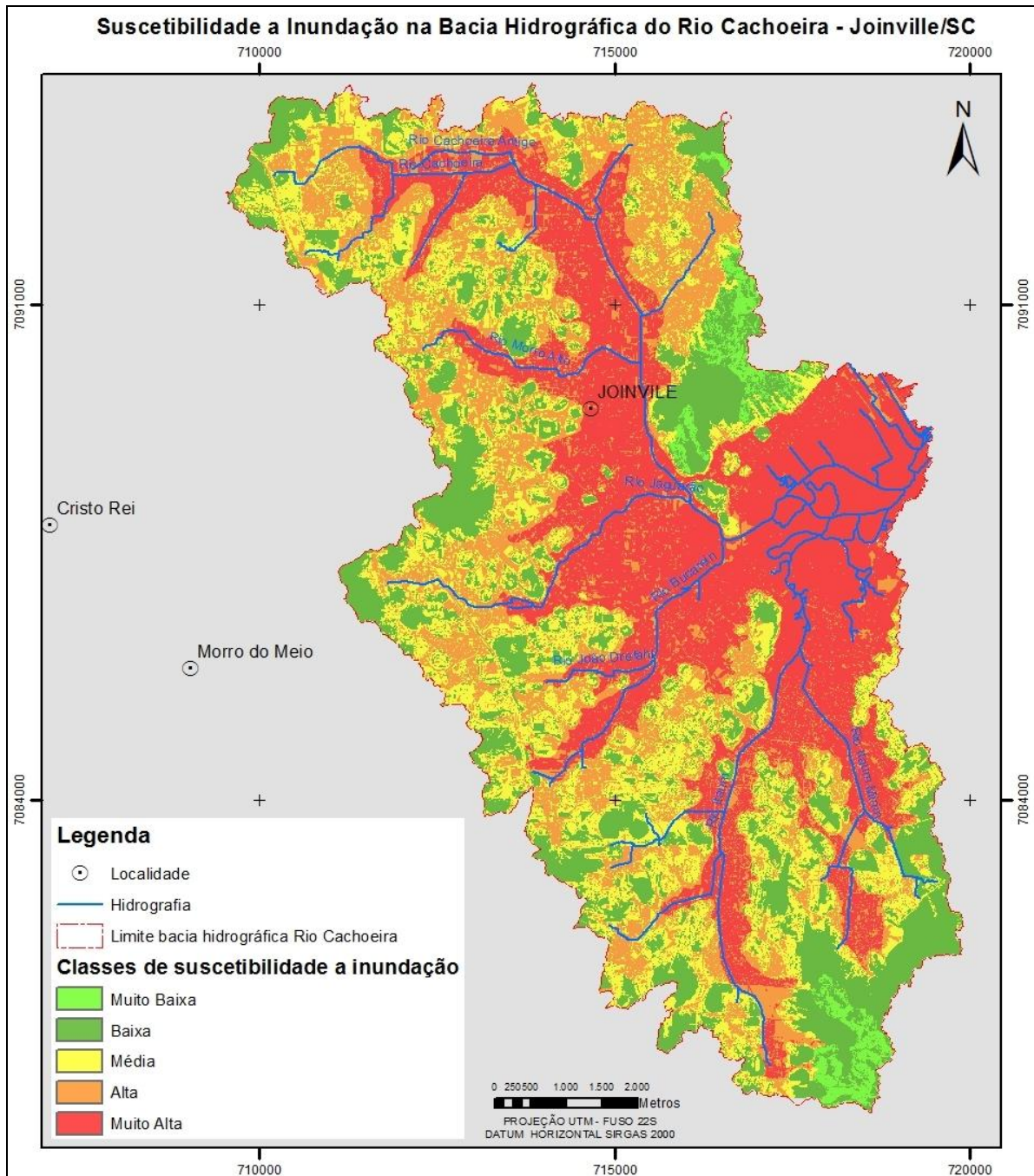


Figura 2 - Mapa de suscetibilidade a inundações na bacia hidrográfica do Rio Cachoeira – Joinville/SC.

Quadro 5 – Áreas divididas por classe de suscetibilidade a inundações.

	Classes de suscetibilidade a inundações	Área (%)
	Muito Alta	32
	Alta	24
	Média	22
	Baixa	21
	Muito baixa/nula	2

O índice elevado de suscetibilidade a inundações na área urbana da bacia hidrográfica do Rio Cachoeira correlaciona-se diretamente a geomorfologia da região, cujas feições

geomorfológicas apresentam alta suscetibilidade a inundações (planície de maré, terraço fluvial, terraço lagunar e planície colúvio aluvionar, configurando as feições encontradas no fundo dos vales), associadas à altas taxas de impermeabilização do solo (áreas urbanizadas) e baixas declividades (< 12%). Além disso, estas áreas apresentam solos hidromórficos (gleissolo, solos indiscriminados de mangue, cambissolos flúvicos), os quais não permitem muita infiltração de água e até pode ocorrer de o lençol freático extravasar na superfície, contribuindo para as inundações.

As classes de suscetibilidade a inundações baixa e muito baixa/nula, (23%), relacionam-se as áreas nas quais o uso do solo apresenta cobertura vegetal mais representativa (vegetação arbustiva e arbórea), declividades superiores a 20%, e feições geomorfológicas relacionadas a elevações na forma de morrarias e montanhas.

Em relação as tipologias de uso e cobertura do solo inseridas nas áreas de alta suscetibilidade a inundações tem-se que a área urbana, correspondente a área impermeabilizada, apresenta 77,6% de predominância em relação as demais classes de uso e cobertura do solo da área de estudo, Quadro 6.

Quadro 6 – Tipologias de uso e cobertura do solo presentes em área de alta suscetibilidade a inundações na bacia hidrográfica do Rio Cachoeira.

Uso e Cobertura do Solo	Área (%)	Uso e Cobertura do Solo	Área (%)
Área urbana	77,6	Solo exposto	2,6
Mangue	10,3	Rio	2,2
Vegetação rasteira	4,2	Vegetação arbórea	0,4
Vegetação arbustiva	2,7	Cultura	00

O índice que representa a alta taxa de impermeabilização na bacia hidrográfica do Rio Cachoeira, diretamente condiciona a elevados índices de escoamento superficial, visto que a infiltração da água precipitada é reduzida. Por tratar-se da área densamente ocupada, verifica-se o percentual reduzido da vegetação (arbórea, arbustiva e rasteira), correspondente a apenas 7,3% do total da área, sendo a vegetação fundamental para retardar os picos de inundações, além de condicionar melhor infiltração da água precipitada no solo.

4. Conclusões

Em consonância com o que cita Tucci (2005) as inundações urbanas têm se configurado como uma das grandes preocupações para a população mundial, e seus efeitos sentem-se, principalmente, em razão da ocupação desordenada das margens de rios e impermeabilização do solo de bacias em drenagem urbana.

A modelagem ambiental proposta, utilizando um Sistema de Informação Geográfica, por meio do aplicativo da plataforma ERSI, ArcGis 10, demonstrou resultados satisfatórios na avaliação da suscetibilidade a inundações, atestando a possibilidade de replicação do método para estudos de planejamento em outras bacias hidrográficas. Assim como, apresenta-se em consonância com as diretrizes da PNPDEC (Lei 12608/2012), ao mostrar-se aplicável ao mapeamento de risco utilizando como unidade de análise a bacia hidrográfica.

Salienta-se a importância da geomorfologia em estudos de planejamento ambiental municipal devido as informações fornecidas e que permitem pensar o espaço de forma mais racional e embasada em conhecimento profundo das características (potencialidades e fragilidades) naturais do ambiente, além dos subsídios fornecidos pelas geotecnologias para o desenvolvimento das análises.

Como recomendações para a continuidade deste trabalho citam-se as seguintes:

- Aplicação do método de modelagem ambiental a outra bacia hidrográfica;

- Desenvolver modelos ambientais de suscetibilidade a inundações aplicáveis aos municípios nos quais a disponibilidade de produtos cartográficos em escalas adequadas ao planejamento urbano não estejam disponíveis;
- Verificação do comportamento das áreas de ocorrência de alagamentos/enxurradas junto à modelagem ambiental proposta.

Agradecimentos

FAPESC - Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina.

GEOLAB – Laboratório de geoprocessamento da UDESC.

IPPUJ - Fundação Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville

Referências Bibliográficas

DIAS et. al. Geoprocessamento aplicado a análise ambiental: o caso do município de Volta Redonda – RJ. In: Silva & Zaidan. **Geoprocessamento e Análise Ambiental: Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004, 363p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. v.1. São Paulo: Edgard Blücher, 1981, 313 p.

EASTMAN, J. R.; JIN, W.; KYEM, P. A. K.; TOLEDANO, J. Raster procedures for multi-criteria/multi-objective decisions. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 61, n. 5, p. 539-547, 1995.

MEDEIROS, J. S. DE; CÂMARA, G. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. 1 -36. Capítulo 10: Geoprocessamento para Estudos Ambientais, 2001. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap10-aplicacoesambientais.pdf>>. Acesso em 21.jan.2011.

KNIE, J. L. W. **Atlas ambiental da região de Joinville: Complexo hídrico da Baía da Babitonga**. Florianópolis: FATMA/GTZ, 2002, 144 p.

IPPUJ - FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE JOINVILLE. **Joinville Cidade em dados 2009**. Joinville: Prefeitura Municipal, 2009. 164 p.

PORTO, M. F. do A; PORTO & PORTO, R. L. L. **Gestão de Bacias Hidrográficas**. In: Estudos Avançados, vol. 22, n. 63. São Paulo, 2008.

SILVEIRA, Wivian Nereida. **Análise histórica de inundações no município de Joinville - SC, com enfoque na bacia hidrográfica do Rio Cubatão do Norte**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental/UFSC. Florianópolis, 2008.

TUCCI, C. E. M. **Água no meio urbano**. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (organizadores). **Águas doces no Brasil**. São Paulo: Escrituras Editora, 1999. 475-508 p.

_____. **Gestão das inundações urbanas**. Global Water Partnership. Edição em arquivo digital. Brasília, 2005.

XAVIER DA SILVA, J. **Geoprocessamento para Análise Ambiental**. Edição do Autor, RJ, 2001., 228p.