

PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO NA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS INUNDÁVEIS NO MUNICÍPIO DE PELOTAS (RS)

ALAN DA COSTA VIEGAS¹; JADE SILVA DE OLIVEIRA²; MARCIO PAGANO ARAGONA³; FABRÍCIO DA SILVA TERRA⁴

¹Universidade Federal de Pelotas – alancviegas@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – jade.sdeoliveira@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – marcio.aragona@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – fabricio.terra@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

A inundação conceitua-se como o transbordamento das águas em canais de drenagem, diques, barragens ou reservatórios atingindo áreas marginais (planícies de inundação e várzeas), provocando efeitos diretos e indiretos na sociedade e nas atividades econômicas urbanas e rurais com prejuízos nos setores da saúde pública, construção civil e agropecuária com transtornos para toda a população (O'CONNOR E COSTA, 2004).

Com uma altitude média de 7 m, o município de Pelotas (RS) sofre frequentemente com eventos de inundação. Pelotas encontra-se na região fisiográfica da Encosta do Sudeste estendendo-se desde as ondulações mais baixas da encosta oriental da Serra dos Tapes, de maiores cotas, até a planície sedimentar da margem ocidental do Canal São Gonçalo, com cotas extremamente baixas onde encontra-se extensas áreas de várzea (banhados) e o território urbano (SILVA, 2007). O município possui uma área de 1.609 km² e uma população de 343.651 habitantes com 92 % dos residentes na zona urbana e 8 % na zona rural (IBGE, 2016).

A identificação e o mapeamento das áreas inundáveis torna-se uma informação estratégica a partir do momento que possibilita indicar áreas de leitos de corpos hídricos que não devem ser ocupadas, áreas que não devem ser desflorestadas nem terem seus solos impermeabilizados, áreas que devem ser reflorestadas, áreas de leitos de inundação que devem ser limpos e desobstruídos, áreas que devem ser protegidas por sistemas de drenagem ou construção de barragens (diques), além de áreas que devem ser sempre monitoradas pela defesa civil. Neste sentido, o Processo Analítico Hierárquico (AHP - *Analytical Hierarchical Process*) vem sendo utilizado como uma técnica de geoprocessamento em SIGs, onde a tomada de decisão sobre um problema complexo como esse é feita com base em múltiplos critérios através de uma hierarquia de solução a partir das variáveis de entrada utilizadas para o entendimento do fenômeno estudado (SAATY, 1986).

O objetivo do trabalho foi desenvolver um sistema de informações geográficas (SIG) baseado em AHP a fim de modelar, identificar e mapear áreas, do perímetro urbano e zonas rurais, com diferentes níveis de risco à inundação no município de Pelotas/RS.

2. METODOLOGIA

O clima da região é subtropical, ou temperado. Pelotas distribue-se entre os seguintes solos: neossolos (litólicos e regolífticos) e argissolos vermelho-amarelo, nas maiores altitudes, e planossolos, gleissolos, organossolos e neossolos (quartzênicos e flúvicos), nas menores altitudes (CUNHA E SILVEIRA, 1996).



A variáveis de entrada (planos de informação) utilizadas na elaboração do SIG e modelagem da susceptibilidade à inundação foram: a) classes de solo, b) capacidade de uso das terras, c) altitude, d) declividade, e) densidade de linhas de fluxo d'água e f) índice espectral de água por diferença normalizada (NDWI - *Normalized Difference Water Index*) (MCFEETER, 1996). O SIG foi ambientado no software ArcGIS 10.1 e o sistema referência utilizado foi o UTM Fuso 22S datum SIRGAS 2000.

Os mapas de solo e capacidade de uso das terras na escala 1:100.000 (CUNHA E SILVEIRA, 1996) foram digitalizados, georreferenciados, vetorizados e transformados para o formato matricial (*Polygon to Raster*) com tamanho de pixel de 30 m. Para as informações topográficas (altitude e declividade) foi utilizado o modelo digital de elevação (MDE) oriundo da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução espacial 1 arcosegundo (± 30 m). A declividade foi obtida através da ferramenta *Slope*. A rede de drenagem foi obtida com base no MDE obedecendo os seguintes passos: a) preenchimento de depressões espúrias (*Fill*), b) determinação das direções de fluxo (*Flow Direction*), c) determinação dos fluxos acumulados (*Flow Accumulation*) e d) reclassificação hierárquica dos canais de drenagem conforme Strahler (*Stream Link*, *Stream Order* e *Stream to Feature*). Através rede de drenagem, a densidade de linhas de fluxo d'água foi calculada utilizando a ferramenta *Line Density* (pixel = 30 m). Para o cálculo do NDWI ($[\text{verde} - \text{infravermelho}] / [\text{verde} + \text{infravermelho}]$), foram utilizadas as imagens correspondentes às bandas verde (530-590 nm) e infravermelho próximo (850-880 nm) do sensor OLI/Landsat-8. A data (12/10/2015) das imagens foi escolhida considerando um período de 6 dias anteriores à aquisição com acúmulo de precipitação de 164,3mm e 137,1mm conforme os sites do Laboratório de Agrometeorologia/EMBRAPA e HidroWeb, respectivamente.

Para a aplicação do AHP, todos os planos de informação em formato matricial (raster) precisaram ser reclassificados com base nas notas atribuídas às diferentes classes de uma mesma variável de entrada. As notas variam, em função da susceptibilidade à inundação, em uma escala de 0 (menos) a 10 (mais) (Tabela 1). Para o cálculo dos pesos de cada variável de entrada, foi utilizada a matriz de comparação "par a par" (matriz de decisão) com base na seguinte escala hierárquica de importância (SAATY, 1986): 1 (mesma importância), 3 (moderada importância), 5 (forte importância), 7 (fortíssima importância) e 9 (extrema importância), onde sempre deve-se comparar a coluna da esquerda com a linha superior (Tabela 2). A escolha dos valores de comparação também se baseou nos mesmos princípios comentados anteriormente para as notas de susceptibilidade. O peso de cada plano de informação (linha) foi calculado somando-se, entre os diferentes planos de informação (colunas), a razão entre o valor do comparador pelo somatório dos valores do comparador de uma mesma variável (final de cada coluna). A equação final resultante utilizada na modelagem da susceptibilidade à inundação, utilizando a ferramenta *Raster Calculator*, foi:

$$\text{Inundação} = 0,028 * \text{Solo} + 0,051 * \text{Capacidade} + 0,049 * \text{Altitude} + 0,336 * \text{Declividade} + 0,173 * \text{Densidade} + 0,363 * \text{NDWI}$$



Tabela 1- Notas de potencial de risco à inundação atribuídas aos planos de informação. O significado das siglas nas colunas “Solo” e “Uso” encontra-se em Cunha e Silveira (1996)

Solo	Nota	Capacidade	Nota	Altitude (m)	Nota	Declividade (%)	Nota	Densidade (m.km ⁻¹)	Nota	NDWI	Nota
Rd	10	VIII sd	10	0	10	0-3	10	0,0-0,45	1	s/ água	0
HGs	10	VI sd	9	1-10	9	4-8	9	0,46-1,23	1	c/ água	10
HO	10	VII sd	9	11-20	8	9-20	5	1,24-1,96	1		
SK	10	III sd	6	21-30	7	21-45	3	1,97-2,64	1		
HPd1	10	II sd	5	31-40	6	46-75	1	2,65-3,33	6		
HPd2	10	IV se	3	41-50	5	76-100	1	3,34-4,06	7		
A	9	III se	2	51-100	4			4,06-4,92	8		
HGe1	9	VIII se	1	101-150	3			4,93-6,20	9		
HGe2	9			151-200	2			6,21-11,62	10		
PBd2	8			201-520	1						
HGPe1	8										
HGPe2	8										
HGP _s	8										
Ae	8										
PBd1	7										
PLe3	7										
PLe4	7										
PLe5	7										
PLe1	6										
PLe2	6										
PVd2	5										
PVd1	4										
AQd	1										

Tabela 2- Matriz de comparação pareada e determinação dos pesos para cada plano de informação. Nota-se que cada célula contém o valor do comparador atribuído dividido pelo somatório da coluna

	Solo	Capacidade	Altitude	Declividade	Densidade	NDWI	Peso
Solo	1/30,0	(1/3)/23,3	(1/3)/25,5	(1/9)/2,7	(1/5)/7,5	(1/9)/2,7	0,028
Capacidade	3/30,0	1/23,3	1/25,3	(1/7)/2,7	(1/5)/7,5	(1/9)/2,7	0,051
Altitude	3/30,0	1/23,3	1/25,3	(1/7)/2,7	(1/7)/7,5	(1/9)/2,7	0,049
Declividade	9/30,0	7/23,3	7/25,3	1/2,7	3/7,5	1/2,7	0,336
Densidade	5/30,0	5/23,3	7/25,3	(1/3)/2,7	1/7,5	(1/3)/2,7	0,173
NDWI	9/30,0	9/23,3	9/25,3	1/2,7	3/7,5	1/2,7	0,363
Somatório	30,0	23,3	25,3	2,7	7,5	2,7	1,000

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O potencial de risco à inundação (Figura 1), apresentou valores de variando de 0,86 a 9,89, sendo 10 o valor de maior potencial. Pode-se observar que a distribuição das susceptibilidades à inundação obedeceu às características geomorfológicas da área de estudo, onde as áreas mais onduladas de cotas mais altas (quadrante NO) apresentaram potencial de risco baixo e baixo/médio. A partir da transição para a planície sedimentar onde o relevo torna-se plano nas menores cotas (quadrante SE), os riscos começaram a aumentar variando de médio a médio/alto, inclusive, para o perímetro urbano do município de Pelotas.

Apesar desta metodologia não ter sido pensada nem desenvolvida para a modelagem de susceptibilidade à inundação em áreas urbanas, em função da baixa resolução espacial (30 m) dos planos de informação utilizados, algumas importantes indicações e informações de risco de caráter mais geral puderam ser observadas, principalmente em relação à parte sul da cidade. Ainda no quadrante SE, fora do perímetro urbano, os canais de drenagem e as áreas de banhados (várzeas), onde normalmente cultivam-se lavouras de arroz no sistema de “inundação” sobre solos mal drenados, também apresentaram potenciais de risco variando de médio/alto a alto. Os potenciais mais altos de risco à inundação foram coincidentes com os corpos hídricos identificados pelo plano de informação NDWI.

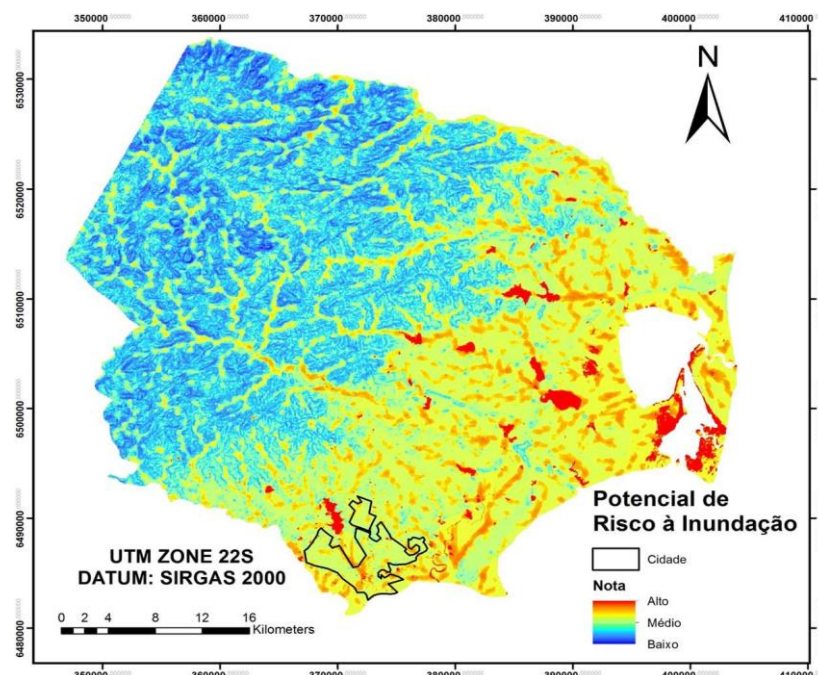


Figura 1 - Mapa de potencial de risco à inundação no município de Pelotas.

4. CONCLUSÕES

Através do método do Processo Hierárquico Analítico (AHP) é possível modelar, identificar e mapear a ocorrência da inundação no município estudado de forma mais verossímil à realidade. As variáveis de entrada utilizadas mostraram-se satisfatórias para tal modelagem. Esta metodologia pode ser utilizada para gerar mapas de potenciais de risco que podem ser utilizados para prevenção de desastres naturais relacionados à inundação. Ainda, é necessária uma base de dados mais completa e com maior detalhamento espacial e outros planos de informação para verificar se os resultados terão maior representatividade, principalmente para o perímetro urbano.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

O'CONNOR, J. E.; COSTA, J. E. **The World's Largest Floods, Past and Present: Their Causes and Magnitudes** [Circular 1254]. Washington, D.C., U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, 19 p, 2004.

SILVA, C. S. Inundações em Pelotas/RS: **O Uso de Geoprocessamento no Planejamento Paisagístico e Ambiental**. Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis, 199 p, 2007.

SAATY, T.L. Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process. **Management Science**, 32(7) pp. 841 – 855, 1986.

CUNHA, N.G.; SILVEIRA, R. J. C. **Estudo dos Solos do Município de Pelotas**. EMBRAPA/CPACT, 50 p, 1996.

MCFEETERS, S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, 5, pp. 1425–1432, 1996.