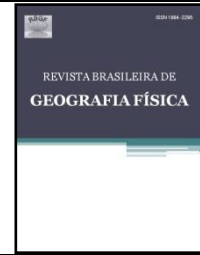




ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## Avaliação do Risco a Inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Norte, Joinville/SC

Pâmela Fermino Campioli<sup>1</sup>, Celso Voos Vieira<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Engenheira Ambiental e Sanitarista, Universidade da Região de Joinville, Rua Paulo Malschitzki, 10, Zona Industrial Norte, Joinville – SC, CEP 89219-710. [pamelacampioli@gmail.com](mailto:pamelacampioli@gmail.com). <sup>2</sup> Dr. Professor, Universidade da Região de Joinville, Rua Paulo Malschitzki, 10, Zona Industrial Norte, Joinville – SC, CEP 89219-710. [celso.v@univille.br](mailto:celso.v@univille.br) (autor correspondente).

Artigo recebido em 10/09/2018 e aceito em 27/01/2019.

### RESUMO

A desarticulação entre o gerenciamento dos recursos hídricos e o planejamento do uso do solo resulta em alterações decorrentes das interferências humanas sobre o ambiente, refletindo principalmente nas bacias hidrográficas. A análise de risco deve levar em consideração tanto a dinâmica dos sistemas ambientais, quanto os sistemas sociais. A bacia hidrográfica do rio Cubatão do Norte possui uma série histórica de inundações registrada pela Defesa Civil de Joinville, evidenciando a grande importância da revisão do Plano Diretor Urbano de Joinville. O mapa de suscetibilidade a inundação foi desenvolvido com a metodologia proposta por Saaty, que condiz em atribuir pesos de importância aos níveis de informações analisadas, que neste caso foram determinados pelas características físicas da bacia: hipsometria, declividade, uso do solo, pedologia e geologia. O mapa de vulnerabilidade a inundação foi criado a partir do zoneamento municipal. Os níveis de informação que mais influenciaram a suscetibilidade a inundação foram a hipsometria e a declividade, seguidos da pedologia, uso do solo e por último, atuando minimamente nos resultados, os aspectos geológicos. As áreas de maior risco a inundação compreenderam as macrozonas de maior densidade populacional situadas nas áreas de baixa altitude e declividade, associadas a Cambissolos flúvicos, depósitos fluviais de planície de inundação e áreas urbanizadas.

Palavra-chave: Inundação, AHP, Risco, Geoprocessamento.

### Flood Risk Assessment in the Cubatão do Norte River Basin, Joinville/Santa Catarina – Brazil

### ABSTRACT

Disarticulation between water resources management and land use planning results in changes caused by human interference with the environment, mainly reflected in river basins. Risk analysis should take into account the dynamics of both environmental and social systems. The hydrographic basin of the Cubatão do Norte river has had an historic series of floods recorded by the Joinville Civil Defense Agency, demonstrating that revising Joinville's Urban Master Plan is of great importance. The flood susceptibility map was developed using the methodology proposed by Saaty, which assigns importance weights to levels of information analyzed, which in this case were determined by the physical characteristics of the basin, i.e. hypsometry, slope, soil use, pedology and geology. The flood vulnerability map was created based on municipal zoning. The information levels that had the largest impact on flood susceptibility were hypsometry and slope, followed by pedology, soil use, and lastly, geological aspects, which had a minimal effect on the results. Areas with the greatest risk of flooding included macrozones with the greatest population density located in low-altitude and low-slope areas, associated with Fluvic Cambisols, fluvial floodplain deposits and urban areas.

Keywords: Flood, Analytical Hierarchy Process - AHP, Rio Cubatão do Norte, Geoprocessing.

### Introdução

Grande parte da história da humanidade foi influenciada pela ocorrência de desastres naturais e, quando não são aplicadas medidas para a redução dos efeitos dos desastres, a tendência é aumentar a intensidade, a magnitude e a frequência dos impactos (Haddad e Teixeira, 2015). Segundo Cunha (2011), são as intervenções humanas nos ambientes que provocam complexas mudanças que

alteraram a dinâmica da natureza em equilíbrio, nos conduzindo a trabalhar a partir dos processos de degradação em desenvolvimento.

Em uma análise dos dados sobre desastres naturais no Brasil no período de 1948 a 2004, disponibilizada pelo International Disaster Database (Guha-Sapir et al., 2017), o mesmo demonstrou que os desastres naturais que provocaram maiores perdas humanas foram as inundações. De acordo com as informações

atualizadas do EM-DAT (Guha-Sapir et al., 2017) foram registrados no ano de 1964 à 2017, 7.784 mortes, 20,2 milhões de pessoas afetadas, que ocasionaram danos na ordem de 9,4 bilhões de dólares.

O que se observa no país é a desarticulação entre os instrumentos de gerenciamento dos recursos hídricos e os de planejamento do uso do solo, que refletem a falta de legitimidade do planejamento e da legislação urbanística nas cidades brasileiras. Essas características são marcadas por forte grau de informalidade e mesmo de ilegalidade na ocupação do solo (Carneiro, 2010).

Com a ocupação urbana na planície de inundação, o processo de extravasamento das águas do leito normal de um rio, que antes era considerado um fenômeno natural, acaba por se caracterizar como um desastre natural. Diante disso a população, via de regra menos favorecidas passa a sofrer consequências negativas, com prejuízos financeiros e sociais (Alcántara-Ayala, 2002; Vestana, 2008).

Por esse motivo, estudos em bacias hidrográficas não se restringem somente em seus aspectos físicos, mas se baseia em aspectos relacionados às dinâmicas natural, econômica e social, considerando as alterações decorrentes das interferências humanas (Vestana, 2008; Lopes et al., 2019). Sendo assim, a análise dos desastres e riscos naturais deve levar em consideração tanto a dinâmica dos sistemas ambientais quanto dos sistemas sociais (Righi, e. Robaina, 2012).

Deve ser ressaltado que é atribuição do município a elaboração, aprovação e fiscalização de instrumentos relacionados ao ordenamento territorial, tais como os planos diretores, o zoneamento, o parcelamento do solo (Correia et al., 2015). Sendo que esses instrumentos devem ser integrados à Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC, a fim de incorporar ações de proteção e defesa civil no planejamento municipal, assim como identificar e mapear as áreas de risco de desastres e, promover a fiscalização das áreas de risco de desastre e vedar novas ocupações nessas áreas (Brasil, 2012).

Segundo Correia et al. (2015) aos desastres naturais estão associados os termos perigo, risco e vulnerabilidade. Risco é a probabilidade de ocorrer consequências danosas ou perdas esperadas (mortos, feridos, edificações destruídas e danificadas), como resultado de interações entre um perigo natural e as condições de vulnerabilidade local (Tsakiris, 2014). De forma simplificada, risco é a probabilidade (mensurável) de um perigo transformar-se num desastre. No entanto, a gravidade dos desastres também pode

estar vinculada aos elementos sociais expostos, ou seja, a fragilidade do ambiente socialmente construído (vulnerabilidade) (Marcelino, 2008).

Desse modo, uma importante ferramenta para os planos diretores e para a elaboração do zoneamento das cidades, dentro das medidas não estruturais para a prevenção de enchentes, são os mapas de inundação, os quais servem para delimitar as zonas de inundação de acordo com o risco de enchente (Morita, 2014; Correia et al. 2015; Lopes et al. 2019). A adoção de mapas de vulnerabilidade a inundações serve de guia para a implementação de políticas públicas de prevenção e de mitigação de impactos de eventos hidrológicos críticos, contribuindo para a utilização racional de recursos públicos. (ANA, 2014).

O Governo Federal fornece auxílio aos municípios que possuem áreas suscetíveis a inundações bruscas, com o intuito de transferir recursos para a execução de ações de prevenção, de resposta e de recuperação de áreas atingidas por eventos extremos. Todavia o município tem a obrigação de realizar o mapeamento das áreas suscetíveis à ocorrência de desastres no seu Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil (Brasil, 2010).

De acordo com Goerl (2012), a adoção de metodologias de mapeamento de risco é de baixo custo e fácil implementação. A adoção destas medidas contribui para a caracterização das áreas de inundação e a mitigação de seus danos (Tsakiris, 2014).

Ressaltam-se os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) utilizados na integração de estimadores sociais e biofísicos para a geração de mapas de perigo, vulnerabilidade e risco. Os SIG's ainda possibilitam a execução do planejamento dos procedimentos de evacuação, monitoramento de desastres, implementação de sistemas de alerta e, inventário e avaliação de danos dos eventos extremos (Correia et al., 2015; Lopes et al., 2019).

Nesse sentido o município de Joinville/SC desde a sua fundação em 1851 sofre com a ocorrência de inundações. O aumento da frequência e da intensidade das inundações no município está associada ao crescimento populacional e a expansão urbana em áreas susceptíveis.

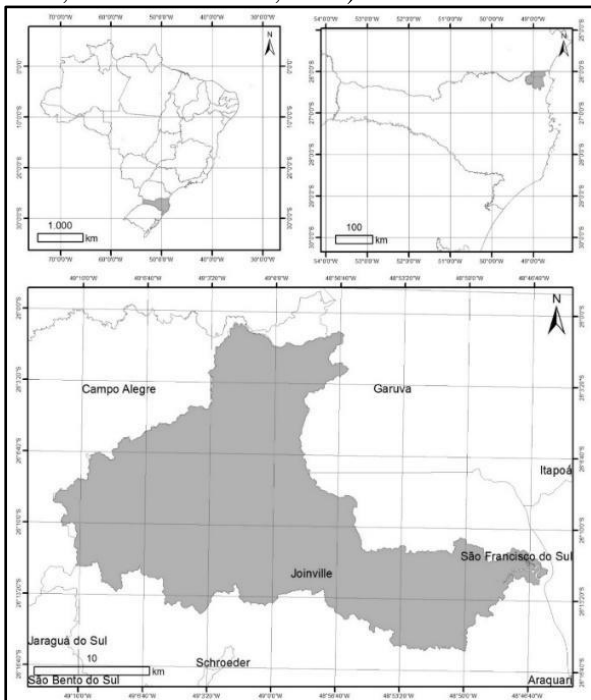
No ano de 1995 o município de Joinville registrou o maior desastre natural apontado pela Defesa Civil, com o rompimento da barragem do Rio Cubatão do Norte. O quadro social foi totalmente desolador: três vítimas fatais, 152 pessoas com ferimentos, 5.725 pessoas desabrigadas, 15.000 desalojados, 38 casas destruídas, 515 casas danificadas e um total de 5.000 casas atingidas. Associado a este cenário

somam-se a destruição de pontes, estradas, queda de árvores, prédios da administração pública interditados e a paralisação do abastecimento de água potável. No total foram acumulados prejuízos na ordem de 46 milhões de reais (Defesa Civil, 2011).

Assim, a proposta do presente estudo foi analisar a suscetibilidade, a vulnerabilidade e o risco de inundação na bacia hidrográfica do Rio Cubatão do Norte, para subsidiar políticas públicas e atualizar o Plano de Contingência da Proteção de Defesa Civil de Joinville, a fim de possibilitar a execução de ações de prevenção em áreas de risco.

### Material e Métodos

**Área de Estudo:** A bacia hidrográfica do Rio Cubatão Norte tem uma área total de 483,8 km<sup>2</sup>, sendo que 388,03 km<sup>2</sup> estão localizadas no município de Joinville em Santa Catarina, representando 80% da bacia, enquanto que 20% se localiza no município de Garuva (Figura 1). O canal principal do Rio Cubatão do Norte possui 88 km de extensão, com sua nascente situada na Serra Queimada, com altitude de 1.100 m e sua foz, no estuário da Baía da Babitonga (Oliveira e Vieira, 2009; Oliveira e Vieira, 2017).



**Figura 1.** Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Norte.

O uso do solo na região das nascentes é caracterizado por áreas remanescentes de florestas nativas, áreas de reflorestamentos e atividades pecuárias. No terço intermediário, localizado junto às planícies aluviais, a ocupação é predominantemente agrícola, com atividades de pecuária e agricultura, voltada para produção local/regional (Oliveira e Vieira, 2017). Tem-se

como característica a pequena propriedade agrícola administrada pela família rural. Neste trecho está localizada a principal Estação de Captação e Tratamento de Água - ETA/Cubatão, responsável por 77% do abastecimento urbano do município. No terço final da bacia são desenvolvidas atividades agropecuárias, bem como a ocupação urbana e industrial, além de ser objeto de turismo ecológico (Carvalho et al., 2002).

**Mapa de suscetibilidade a inundação:** o método proposto para a elaboração do mapa de suscetibilidade a inundação da Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão tem como referência os propósitos do Processo Analítico Hierárquico (AHP) desenvolvido por Thomas Saaty em 1977.

O método proposto por Saaty (1977) gera uma escala de importância por meio de pesos entre as classes dos parâmetros avaliados, pois cada uma dessas classes possui determinada importância que influencia na possível inundação da área analisada.

Todos os níveis de informações foram tratados por meio de ferramentas de geoprocessamento, com a utilização do software ArcGIS 10.3.1 (ESRI, 2011) e projetados para a projeção UTM e datum SIRGAS2000.

Para a primeira etapa do processo foi necessário atribuir pesos aos níveis de informação (layers) avaliados, sendo eles: hipsometria, declividade, uso do solo, pedologia e geologia. Para tanto foi determinado que os maiores valores (pesos) são atribuídos às classes de maior suscetibilidade à inundação.

Sendo assim, as classes dos níveis de informação avaliadas receberam os pesos de acordo com o nível de suscetibilidade a inundação. Nesse sentido, áreas com maior suscetibilidade obtiveram peso próximo a 5, e áreas de menor suscetibilidade, peso próximo a 1.

**Altitude:** Influencia no perigo a inundação principalmente em função do acúmulo de água nas regiões de baixa altitude (Magalhães *et al.*, 2011). Por essa razão foi determinado que em áreas de até 20 m de altitude tem maior probabilidade de inundação recebendo, portanto, peso 5 e, as áreas de maior altitude possuem peso mais baixo, conforme demonstrado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Pesos estabelecidas para as classes de altitude.

Altitude (m)	Peso
0 – 5	5
5,1 – 10	5
10,1 – 20	5
20,1 – 50	4
50,1 – 70	3

70,1 – 90	2
> 90	1

Declividade: Influencia diretamente no acúmulo de água no terreno, visto que áreas planas apresentam maiores probabilidades de sofrer inundação do que áreas mais declivosas (Dalfi *et al.*, 2013; Oliveira e Vieira, 2017). Portanto foi determinado o peso máximo (peso 5) para a áreas planas com até 2 graus de declividade, onde a suscetibilidade de inundação é muito alta. O aumento de declividade possibilita um maior escoamento de água e, portanto, recebem pesos mais baixos, conforme observado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Pesos estabelecidas para as classes de declividade.

Declividade	Peso
0 – 2°	5
2,1 – 5°	4
5,1 – 10°	3
10,1 – 30°	2
30,1 – 90°	1

Uso do solo: Retrata as condições de cobertura do solo, variando desde uma cobertura muito impermeável até uma cobertura completamente permeável. As enchentes são potencialmente ampliadas pela urbanização (Andrade, 2014; Quan, 2014), especialmente devido à impermeabilização dos solos (Ravazzani *et al.*, 2014). Deste modo a identificação das formas de ocupação do solo da bacia e sua mensuração é tarefa importante (Morita, 2014). A perda de cobertura vegetal para uso agrícola e urbano tem produzido como consequência o aumento da frequência de inundações devido à falta de interceptação da precipitação (Ravazzani *et al.*, 2014; Franco *et al.*, 2015). Neste contexto foi definido o peso máximo para as áreas impermeáveis ou que se apresentam periodicamente alagadas e, peso mínimo nas áreas com densa cobertura vegetal, conforme Tabela 3.

**Tabela 3.** Pesos estabelecidas para as classes de uso do solo.

Uso do solo	Peso
Água	5
Manguezal	5
Rizicultura	4
Área urbanizada	4
Solo exposto	3
Vegetação herbácea/arbustiva	2
Silvicultura	2

Campoli, P.; Vieira, C. V.

Campos de altitude	1
Vegetação arbustiva/arbórea	1
Vegetação arbórea	1

Pedologia: O tipo de solo reflete na capacidade de infiltração e escoamento superficial da água (Pinheiro, 2009; Franco *et al.*, 2015). Os solos arenosos propiciam maior infiltração e percolação, reduzindo o escoamento superficial (Oliveira e Vieira, 2017). Já os solos compostos por sedimentos finos (silte e argila), bem como os solos compactados superficialmente, produzem maior escoamento superficial. Dessa maneira as classes de solo identificadas como de composição argilosa ou frequentemente inundadas receberam maiores pesos, conforme visualizado na Tabela 4.

**Tabela 4.** Pesos estabelecidas para as classes de pedologia.

Pedologia	Peso
Cambissolo flúvico	5
Manguezal	5
Gleissolo háplico	4
Gleissolo melânico	4
Cambissolo háplico	3
Neossolo quartzarênico	3
Planossolo háplico	3
Argissolo amarelo	1
Neossolo litólico	1

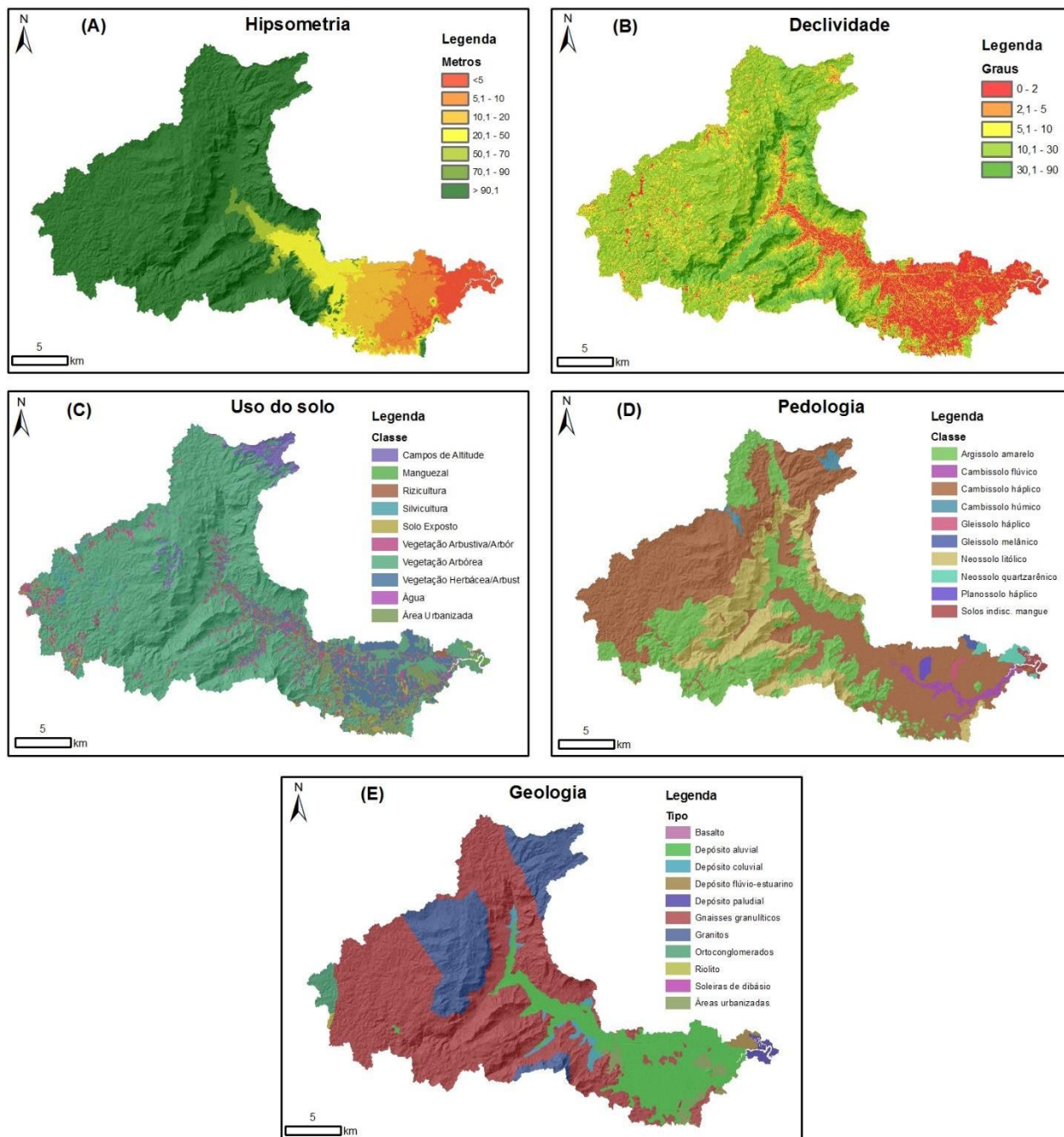
Geologia: As unidades geológicas (Vieira e Horn Filho, 2012) foram avaliadas quanto à maior ou menor permeabilidade, característica esta que intervém fundamentalmente na celeridade e volume das inundações, bem como na parcela de água percolada para os lençóis subterrâneos (Franco *et al.*, 2015). As unidades geológicas que possuem gênese associadas a processos aluviais/fluviais receberam maior peso e unidades associadas ao embasamento cristalino receberam peso mínimo.

**Tabela 5.** Pesos estabelecidas para as classes de geologia.

Geologia	Peso
Depósito aluvial	5
Depósito paludial	5
Depósito flúvio-estuarino	4
Áreas urbanizadas	4
Depósito coluvial	2
Basalto	1
Gnaisses granulíticos	1
Granitos	1

Ortoconglomerados	1
Riolito	1
Diques de diabásio	1

A Figura 2 apresenta os níveis de informação com suas determinadas classes utilizadas na análise de suscetibilidade a inundação. Sendo eles, hipsometria (A), declividade (B), uso e cobertura do solo (C), pedologia (D) e geologia (E).



**Figura 2.** Níveis de informação adotados na análise de suscetibilidade a inundação.

A segunda etapa consiste no processo do julgamento comparativo entre os níveis de informação para determinar a importância mútua de cada nível de informação para construir a Matriz

de Comparação Pareada. Para isso, recorreu-se a uma escala de pesos definida por Saaty (1977), seguindo a ordem de importância apresentada na Tabela 6.

**Tabela 6.** Escala de comparadores com as respectivas intensidades de importância

Intensidade da importância	Importância mútua
----------------------------	-------------------

1	Igualmente importante
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que

Fonte: Adaptado de Saaty, 1997.

Após o cálculo da matriz ainda foi necessária fazer a avaliação de consistência dos resultados, pois quando muitas comparações são analisadas podem apresentar inconsistências. Essa verificação é feita por meio do cálculo do Índice de Consistência (IC) e da Razão de Consistência (RC).

O Índice de consistência prevê uma boa estimativa em relação aos pesos resultantes do AHP, sendo necessário verificar se o valor do autovalor máximo da matriz está próximo do número de indicadores utilizados para o cálculo. Para essa verificação, utiliza-se a equação 1.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{(n-1)} \quad (1)$$

Onde:

$\lambda_{max}$  = autovalor máximo

n = número de indicadores

Para o cálculo da Razão de Consistência, é preciso usar o valor do Índice Randômico (IR), extraído da tabela de valores para matrizes quadradas de ordem n estabelecida pelo *Oak Ridge National Laboratory*, EUA, obtido de acordo com o número de parâmetros utilizados para o cálculo AHP.

Conhecendo os valores de IC e IR, pode-se calcular o valor de RC que deve ser inferior a 0,10 (10%) para que haja consistência dos dados. O cálculo da Razão de Consistência é obtido pela equação 2.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (2)$$

Onde:

IC = Índice de Consistência

IR = Índice Randômico

O mapa de suscetibilidade a inundação resultante foi dividido em cinco categorias, classificando-as em pesos de probabilidade a ocorrência de inundações. As categorias consideradas foram: muito baixa/nula, baixa, média, alta e muito alta, sendo estas descritas na Tabela 7.

Campoli, P.; Vieira, C. V.

**Tabela 7.** Nível de suscetibilidade a inundações.

Categorias	Peso
Muito alta	5
Alta	4
Média	3
Baixa	2
Muito baixa/nula	1

**Mapa de vulnerabilidade a inundação:** a base proposta para a determinação do mapa de vulnerabilidade da área de estudo foi avaliar e atribuir pesos de acordo com nível de exposição em casos de inundação para as classes de macrozoneamento urbanístico estabelecidas na região.

Portanto, foi adotada a mesma metodologia da determinação do mapa de suscetibilidade para atribuição dos pesos, ou seja, foi determinado que os maiores valores foram atribuídos às classes de maior vulnerabilidade, com peso máximo de 5. Nesse sentido as áreas de menor vulnerabilidade receberam peso mínimo de 1 (Tabela 8).

A atribuição dos pesos para as classes do macrozoneamento foi estabelecida de acordo com a sua definição estabelecida pelo Plano Diretor dos municípios de Joinville e Garuva.

Garuva (2015) estabelece duas classes de macrozoneamento inseridas na bacia do Rio Cubatão. Sendo elas, Área Rural de Proteção Ambiental (ARPA) e Área Rural de Utilização Controlada (ARUC).

Joinville (2017), estabelece quatro classes de macrozonas: Área Urbana de Proteção Ambiental (AUPA), Área Urbana de Adensamento Controlado (AUAC), Área Urbana de Adensamento Secundário (AUAS) e Área Urbana de Adensamento Prioritário (AUAP).

De acordo com Garuva (2015), a macrozona ARUC corresponde à porção do território que, por suas características naturais, econômicas e culturais se destinam às atividades produtivas extrativas, agrícolas, h hortifrutigranjeiras, pecuárias e turísticas, predominantemente ligadas à produção agrofamiliar. De acordo com essas definições, pode-se atribuir peso 2 para a ARUC, pois é definida como uma área controlada e limitada a

infraestrutura, sendo pouco exposta socialmente a riscos ambientais.

As macrozonas Área Rural de Proteção Ambiental (ARPA) e Área Urbana de Proteção Ambiental (AUPA) representam regiões caracterizadas por áreas acima da isoípsa 40, consideradas como reservas paisagísticas que necessitam de grandes restrições de ocupação para efetiva proteção, recuperação e manutenção (Joinville, 2017). Nesse sentido a ARPA e a AUPA por serem reservas protegidas e possuírem intensas restrições a ocupações, receberam peso 1 por haver mínima exposição social.

A macrozona Área Urbana de Adensamento Controlado (AUAC) representa regiões que possuem mínimas condições de infraestrutura, inviabilidade ou restrições para a melhoria do sistema viário, deficiência de acesso ao transporte coletivo, aos equipamentos públicos e serviços essenciais (Joinville, 2017). De acordo com essa definição foi estabelecido peso 3 para a mesma, pois as condições de moradia e serviços são um pouco limitadas devido às fragilidades ambientais da região, mas que ainda sim possui infraestrutura disponível para a ocupação humana.

A macrozona Área Urbana de Adensamento Secundário (AUAS) representa regiões que possuem boas condições de infraestrutura, sistema viário estruturado, transporte coletivo, equipamentos públicos comprovadamente capazes de absorver a quantidade de moradores desejada, maior volume de atividades voltadas preponderantemente ao setor terciário, com possibilidade de absorver atividades ligadas ao setor secundário de baixo impacto ambiental, e existência de vazios urbanos (Joinville, 2017). Sendo uma classe urbanizada,

mas que ainda apresenta vazios urbanos, foi adotado peso 4 pela sua parcial exposição social.

A macrozona Área Urbana de Adensamento Prioritário (AUAP) representa regiões que possuem boas condições de infraestrutura, sistema viário estruturado, transporte coletivo, equipamentos públicos comprovadamente capazes de absorver a quantidade de moradores desejada, maior volume de atividades voltadas preponderantemente ao setor terciário de baixo impacto ambiental e existência de expressivos vazios urbanos (Joinville, 2017). Sendo uma classe totalmente urbanizada, adotou-se peso 5 por estar, socialmente, inteiramente exposta.

**Tabela 8.** Pesos estabelecidos para as classes de macrozoneamento

Macrozoneamento	Peso
AUAP	5
AUAS	4
AUAC	3
ARUC	2
ARPA	1
AUPA	1

A Figura 3 apresenta as classes do macrozoneamento da bacia hidrográfica do Rio Cubatão utilizadas para estabelecer os níveis de vulnerabilidade à desastres ambientais.

**Mapa de Risco a inundação:** é o resultado da somatória dos pesos do mapa de suscetibilidade de inundação e o mapa de vulnerabilidade, computado pela ferramenta *raster calculator* do software ArcGIS 10.3.1.

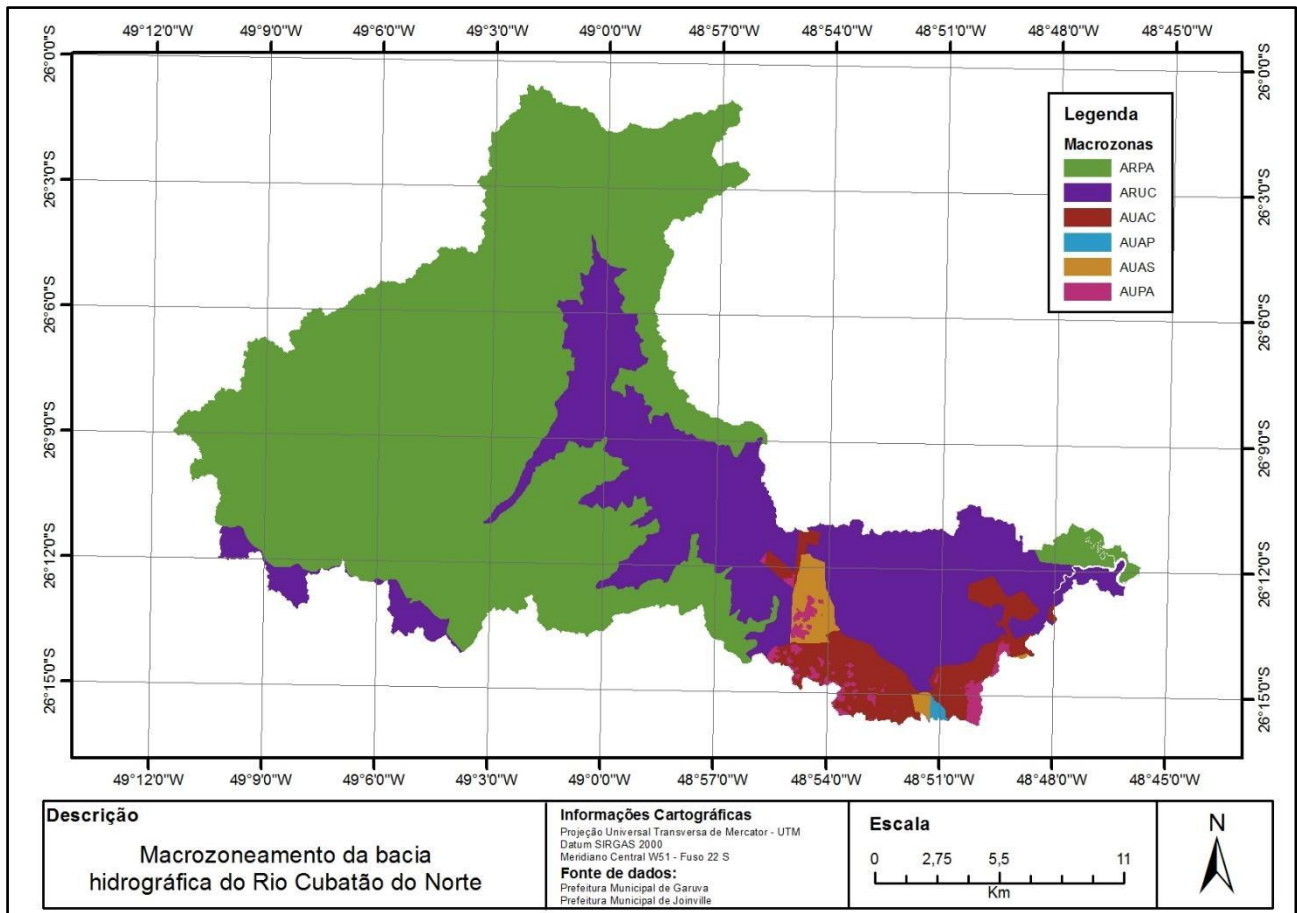


Figura 3. Mapeamento do macrozoneamento da bacia hidrográfica do Rio Cubatão.

## Resultados e Discussão

### Mapa de suscetibilidade a inundação

Os valores atribuídos na Matriz de Comparação Pareada representam a intensidade de importância dos parâmetros avaliados entre si, para a suscetibilidade a inundação. Foram realizadas ao todo oito simulações, com a proposição de pesos

distintos. O modelo de melhor ajuste demonstrou que a hipsometria e a declividade são igualmente importantes, a hipsometria é fortemente mais importante que uso do solo e a pedologia é extremamente mais importante que a geologia. As demais relações são apresentadas na matriz de comparação pareada (Tabela 9).

Tabela 9. Matriz de Comparação Pareada

Parâmetros	Hipsometria	Declividade	Uso do solo	Pedologia	Geologia
Hipsometria	1	1	5	5	9
Declividade	1	1	5	3	9
Uso do solo	0,2	0,2	1	0,333	7
Pedologia	0,2	0,333	3	1	3
Geologia	0,111	0,111	0,143	0,333	1

O critério dos pesos (Tabela 10) é o resultado da relação dos valores de importância atribuídos na matriz de comparação pareada. O mesmo apresenta a porcentagem de influência de cada nível de informação (*layer*) na geração do mapa de suscetibilidade. Os níveis de informação que mais influenciaram o mapa de suscetibilidade foram a hipsometria e a declividade, seguidos da pedologia, uso do solo e por último, atuando minimamente nos resultados, a geologia.

Tabela 10. Critério dos pesos

Parâmetros	Peso (%)
Hipsometria	39,65
Declividade	34,86
Pedologia	12,95
Uso do solo	9,37
Geologia	3,15

Por serem utilizados cinco parâmetros na análise, o valor de IR para calcular a RC foi de 1,12. O resultado da Razão de Consistência foi de 0,0918, ou seja, não ultrapassou o valor indicado de 0,10 o que demonstrou coerência (IC) e confiabilidade (RC) dos dados gerados.

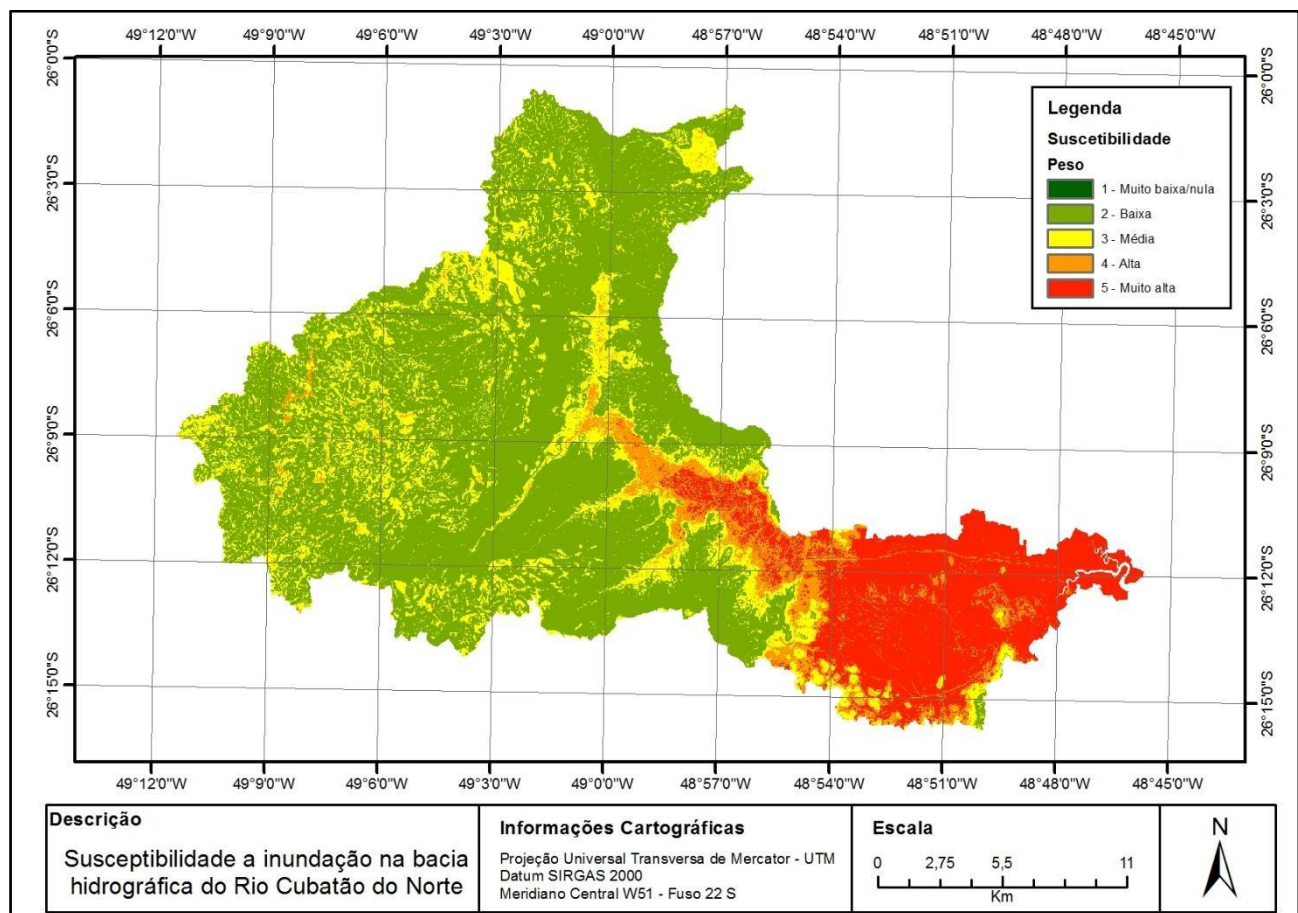
A Figura 4 apresenta o resultado do método AHP para a suscetibilidade a inundações da área de estudo. Observa-se que as áreas de menor valor de altitude e declividade apresentaram os maiores níveis de suscetibilidade a inundações, com valores entre alto (4) a muito alto (5). Os valores são explicados justamente por esses níveis de informação apresentarem a maior importância de acordo com a matriz de comparação pareada (Tabela 9 e 10).

Quanto a pedologia, os tipos de solo de maior contribuição para o incremento dos valores de suscetibilidade foram as áreas com ocorrência de Cambissolo Háplico e Flúvico, que juntamente

com os baixos valores de declividade e hipsometria resultaram em valores entre alto (4) a muito alto (5) a inundações.

As classes de uso e ocupação do solo de maior peso foram água, manguezal, rizicultura e área urbanizada, que contribuíram para a alta de suscetibilidade a inundações nessas regiões. As classes de menor peso foram as áreas de vegetação herbácea/arbustiva e arbórea, que influenciaram para a redução da suscetibilidade a inundações.

Em contrapartida, a geologia mesmo com baixa influência no critério dos pesos, auxiliou na alta suscetibilidade quando combinada com os demais parâmetros. As unidades geológicas que mais contribuíram para o incremento dos níveis de suscetibilidade foram os depósitos aluviais, paludiais, flúvio-estuarinos e áreas urbanizadas, todos com ocorrência na planície costeira.

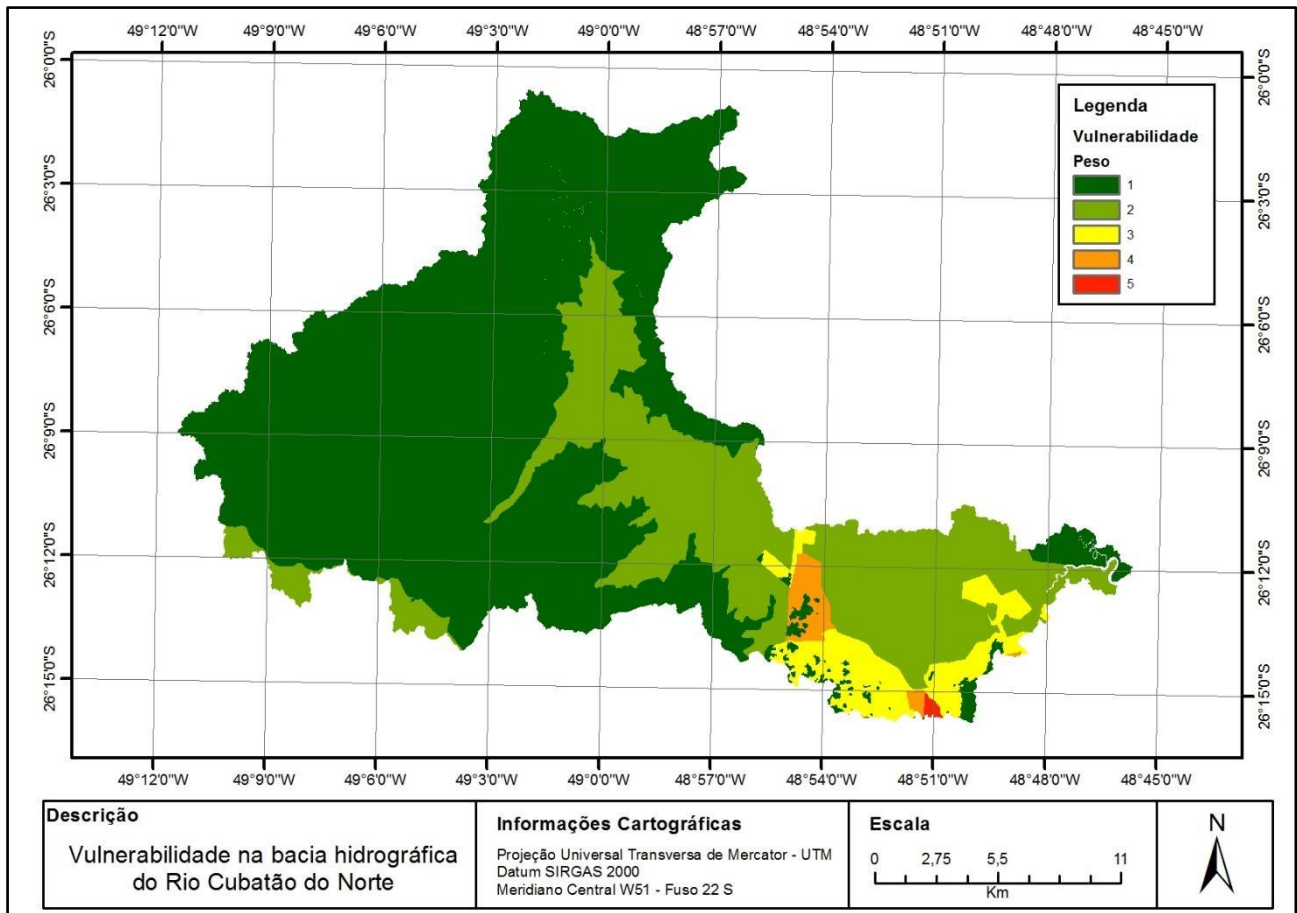


**Figura 4.** Mapa de suscetibilidade a inundações da bacia hidrográfica do Rio Cubatão.

*Mapa de vulnerabilidade a inundações*

Na Figura 5 encontra-se o resultado do mapa de vulnerabilidade a inundações, representado

pelos os pesos inseridos no macrozoneamento da área de estudo.



**Figura 5.** Mapa de vulnerabilidade a inundações da bacia hidrográfica do Rio Cubatão.

As áreas de maior vulnerabilidade (pesos 4 e 5), representam as macrozonas de maior adensamento urbano e infraestrutura pública instalada. Nestas zonas são permitidos usos residenciais, comerciais e industriais, situados na parte baixa da bacia hidrográfica (Figura 6).

As regiões de média vulnerabilidade representam as áreas do perímetro urbano de Joinville que possuem ocupação controlada pelo Poder Público, pelo menos em tese. Nessas áreas (Figura 6) encontram-se extensos bairros residenciais e a zona industrial do município.

As regiões de menor vulnerabilidade (pesos 1 e 2), representam cerca de 94% da bacia e

são identificadas por macrozonas caracterizadas por serem áreas protegidas ambientalmente e de restrição de uso. Essas macrozonas possuem grande limitação de instalação de infraestrutura pública e de densificação de lotes, principalmente por estarem situadas na zona rural.

Todavia, na parte baixa da bacia, próximas às áreas de maior vulnerabilidade, também é possível identificar pequenos agrupamentos de edificações em zonas rurais (peso 2), que representam ocupações irregulares (Figura 6). Esses agrupamentos indicam o parcelamento irregular do solo em zona rural.

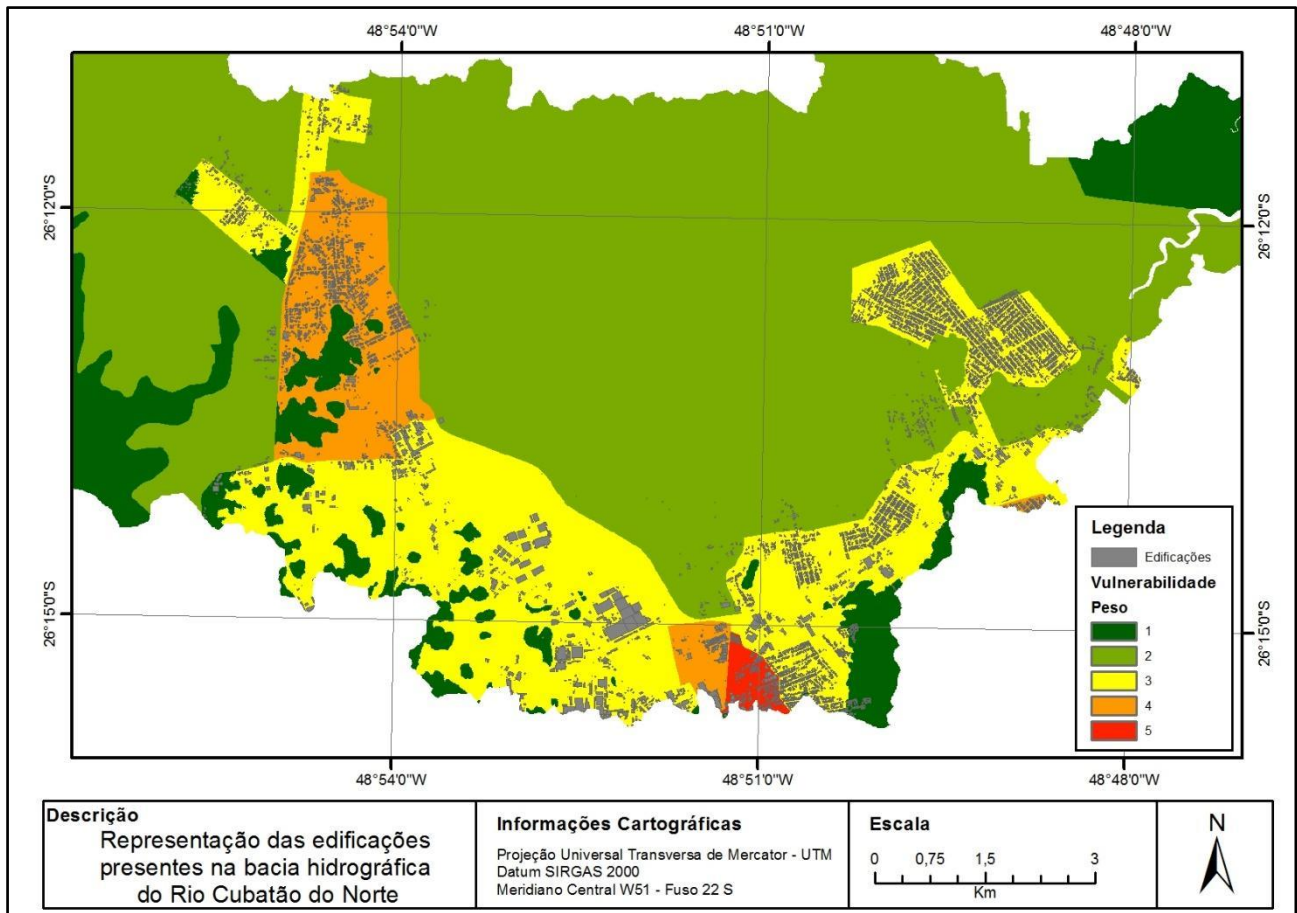


Figura 6. Representação das edificações na bacia hidrográfica do Rio Cubatão no mapa de vulnerabilidade.

#### Mapa de Risco

A Tabela 11 representa o grau de risco a inundações na bacia hidrográfica do Rio Cubatão, referente a somatória do mapa de suscetibilidade e o mapa de vulnerabilidade a inundação, resultando no mapa de risco da área de estudo (Figura 7).

**Tabela 11.** Grau de risco a inundação.

Categorias	Peso
Muito baixa/nula	0 - 2
Baixa	2,1 - 4
Média	4,1 - 6
Alta	6,1 - 8
Muito alta	8,1 - 10

As zonas com grau de risco muito alto (peso 8,1 – 10) ocorrem nas porções de menor altitude e declividade da bacia, localizadas nas macrozonas AUAP e AUAS, de ocupação prioritária. Essas áreas também estão associadas as classes de menor altitude da bacia hidrográfica, depósitos aluviais de planície inundação e Cambissolos flúvicos.

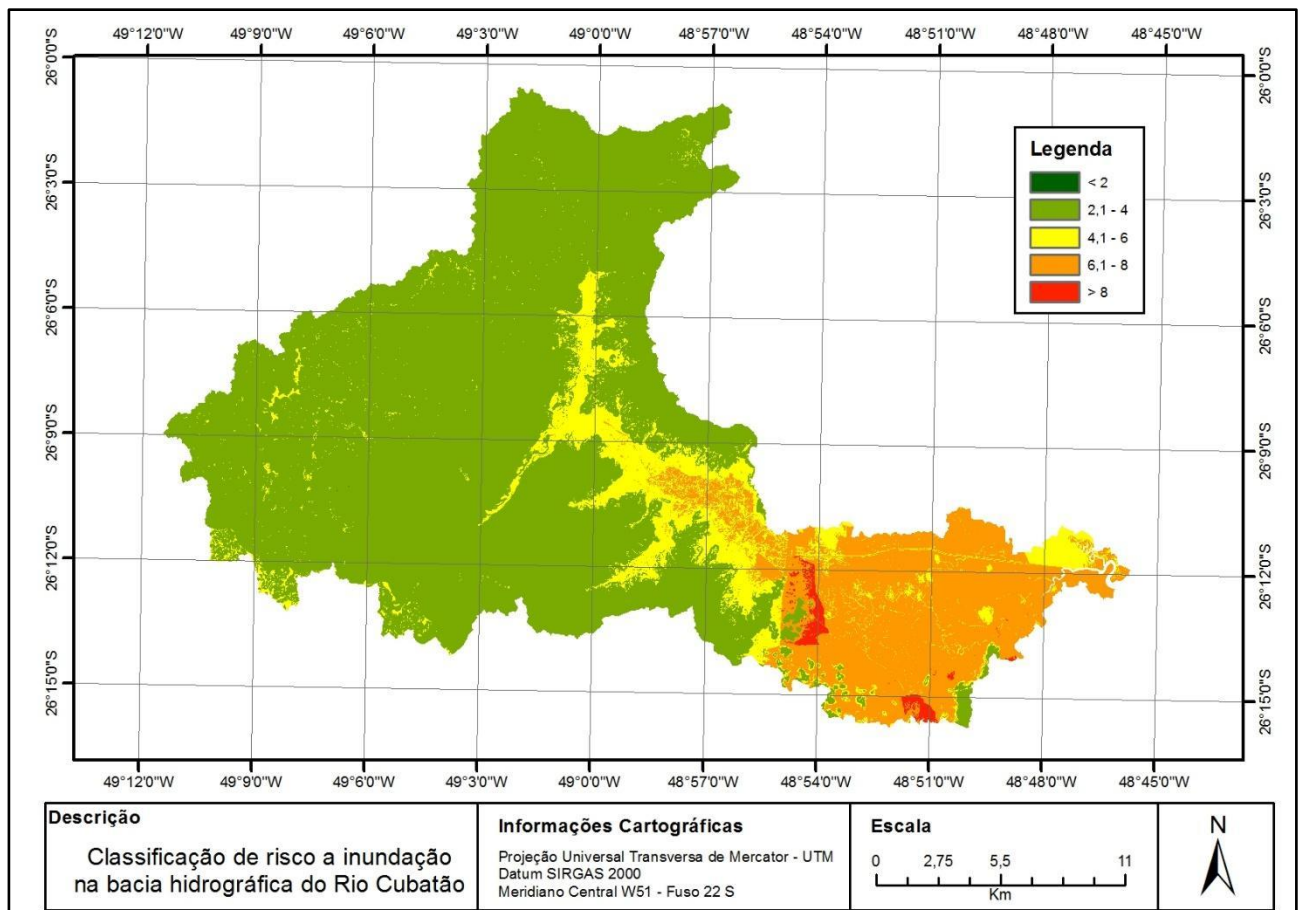
As zonas de alto risco a inundação (peso 6,1 – 8) igualmente estão situadas na parte baixa da

bacia, em áreas alta e muito alta suscetibilidade, porém de baixa vulnerabilidade. As zonas de alto risco encontram-se nas macrozonas AUAC e ARUC, classificadas como de uso controlado, urbano e rural, respectivamente.

Zonas de médio grau de risco (peso 4,1 – 6) encontram-se em áreas cujas altitudes são superiores a 20 m situadas nos fundos de vale da bacia. Essas áreas possuem pesos de suscetibilidade variando de médio a alto e de vulnerabilidade com peso baixo a muito baixo. As macrozonas que representam os níveis de vulnerabilidade são de uso controlado (ARUC e AUAC) de proteção ambiental (ARPA).

As zonas de baixo grau de risco (2,1 – 4) localizam-se na porção mais elevada da bacia, nas áreas de planalto e das escarpas da Serra do Mar. Essas regiões possuem suscetibilidade variando de média a baixa, enquanto a vulnerabilidade possui pesos de baixo a muito baixo, em virtude de extensas áreas de proteção ambiental.

Não ocorreram zonas de risco a inundação classificadas como muito baixa e nula (peso 0 – 2). A inexistência de zonas de risco muito baixa e nula evidencia que os níveis de suscetibilidade a inundação foram determinantes no incremento dos níveis de risco.



**Figura 7.** Mapa de risco a inundação da bacia hidrográfica do Rio Cubatão.

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) elaborou um mapeamento das áreas suscetíveis a inundação em municípios brasileiros priorizados pelo Governo Federal (Bitar, 2015). O município de Joinville foi um dos municípios contemplados pelo estudo.

A análise comparativa do mapa das áreas suscetíveis a inundação do CPRM (Figura 8) e o mapa de suscetibilidade a inundação elaborado no presente estudo (Figura 4) evidenciou grande compatibilidade entre as classes de níveis médio, alto e muito alto dos níveis de suscetibilidade.

A Defesa Civil de Joinville elaborou um mapa de áreas suscetíveis a inundação (Figura 9), considerando as vias e os aglomerados urbanos de maior exposição no município (Joinville, 2013). Ressalta-se que a abordagem empregada no estudo da Defesa Civil (Joinville, 2013) expressa um elevado grau de empirismo. As informações contidas no mapa dependem de informações obtidas com os moradores e técnicos da secretaria. Desta maneira, regiões sem ocupação ou de baixa densidade populacional apresentam lacunas e baixa acurácia dos dados.

Estudos de caso relacionados ao mapeamento de suscetibilidade a inundação

utilizando o método AHP (Yang, 2013; Andrade et al. 2014; Rezende, 2017), igualmente indicaram resultados similares ao presente estudo. Demais estudos evidenciaram que o uso do solo (Ravazzani et al., 2014) a declividade e a altimetria (Franco et al., 2015) foram os níveis de informação de maior contribuição para o delineamento da mancha de inundação e processos erosivos (Oliveira e Vieira, 2017).

Destaca-se ainda as vantagens do método AHP em identificar níveis de suscetibilidade em regiões de difícil acesso para coleta de dados “in loco” (Chen, 2011; Andrade et al. 2014) e no delineamento de políticas de uso do solo (Righi, e. Robaina, 2012; Quan, 2014; Siddayao et al., 2014; Kazakis, 2015) para o controle de inundação.

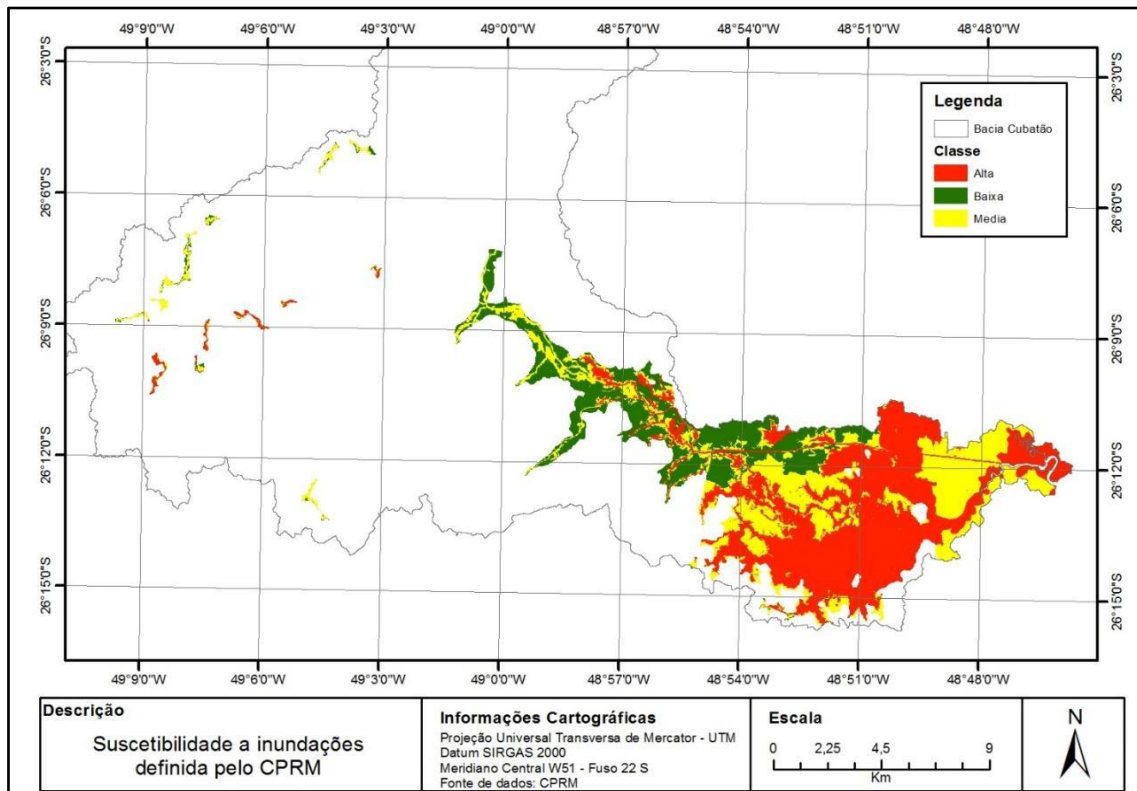


Figura 8. Mapa de suscetibilidade a inundações da bacia hidrográfica do Rio Cubatão definida pelo CPRM.

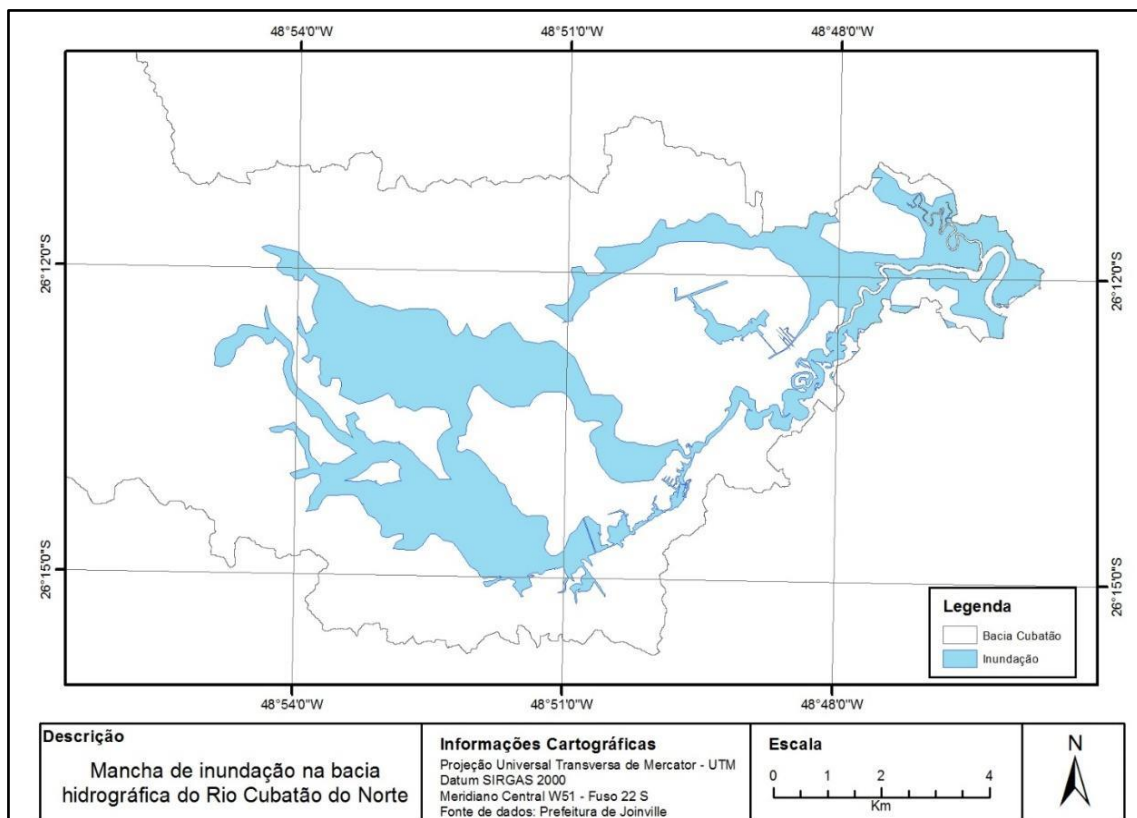


Figura 9. Mapa da mancha de inundação na bacia hidrográfica do Rio Cubatão definida pela Defesa Civil de Joinville.

### Conclusão

Os níveis de informação que mais influenciaram a suscetibilidade foram a Campioli, P.; Vieira, C. V.

hipsometria e a declividade, seguidos da pedologia, uso do solo e por último, atuando minimamente nos resultados, os aspectos geológicos.

As regiões de menor vulnerabilidade representam cerca de 94% da bacia e são identificadas por zonas compostas por áreas protegidas ambientalmente e de grande restrição de uso. Não obstante, as áreas de maior exposição estão inseridas nas áreas de menor altitude, nas proximidades da foz da bacia hidrográfica.

O mapa de risco (susceptibilidade + vulnerabilidade) indica que as áreas de risco alto e muito alto estão associadas aos zoneamentos de ocupação prioritária. Essas áreas também estão associadas as classes de menor altitude e declividade da bacia hidrográfica, constituída por depósitos aluviais de planície inundaçã o e Cambissolos flúvicos.

As áreas de risco médio e baixo encontram-se nas áreas mais elevadas da bacia hidrográfica, em zonas de uso controlado e de proteção ambiental. Deve ser ressaltado que não foram identificadas áreas com risco muito baixo e nulo.

Desse modo salienta-se a importância do Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na integração de estimadores sociais e biofísicos para a geração de mapas de susceptibilidade, vulnerabilidade e risco.

## Referências

- Alcántara-Ayala, I., 2002. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorfology* 47, 107-124.
- Andrade, S.L., Ferreira, V.O., Silva, M.M., 2014. Elaboração de um mapa de risco de inundações da bacia hidrográfica do córrego São Pedro, área urbana de Uberlândia-MG. *Caderno de Geografia* 24, 1-16.
- Bitar O.Y., 2015. Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/15138/CS-Joinville.pdf?sequence=1>. Acesso: 11 jun. 2018.
- BRASIL, 2010. Lei nº 12.340, de 1 de dezembro de 2010. Dispõe sobre as transferências de recursos da União aos órgãos e entidades dos Estados, Distrito Federal e Municípios para a execução de ações de prevenção em áreas de risco de desastres e de resposta e de recuperação em áreas atingidas por desastres e sobre o Fundo Nacional para Calamidades Públicas, Proteção e Defesa Civil.
- BRASIL, 2012. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC.
- Carneiro, P.R.F., Cardoso, A.L., Zampronio, G.B., Martingil, M.C., 2010. A Gestão Integrada de Recursos Hídricos e do Uso do Solo em bacias urbano-metropolitanas: o controle de inundações na bacia dos rios Iguaçú/Sarapuí, na Baixada Fluminense. *Ambiente e Sociedade* (Online) 13, 29-49.
- Carvalho, R.J., Gonçalves, M.L., Voltz, R.R., Barbosa, A., 2002. Descrição dos aspectos fisiográficos da bacia do rio Cubatão, região nordeste de Santa Catarina. *Revista Saúde e Ambiente* 3, 49-59.
- Chen, Y-R., Yeh, C-H., Yu, B., 2011. Integrated application of the analytic hierarchy process and the geographic information system for flood risk assessment and flood plain management in Taiwan. *Natural Hazards* 59, 1261–1276.
- Correia, E.F.G., Ribeiro, G.P., Baptista, A.C., 2015. Modelagem hidrológica da bacia hidrográfica do rio bengalas, Nova Friburgo, RJ, utilizando o potencial de geotecnologias na definição de áreas de risco de inundaçã o. *Revista Brasileira de Cartografia* 67, 1183-1202.
- Cunha, R.C., Dupas, F.A., Pons, N.A. D., Tundisi, J.G., 2011. Análise da influência das variáveis ambientais utilizando inferência Fuzzy e zoneamento das vulnerabilidades. Estudo do caso da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos – SP. *Geociências* 30, 399-414.
- Dalfi, R.L., Santos, A.R., Campos, R.F., Moreira, T.R., Eugenio, F.C., Santos, G.M.A.D., 2013. Cenários distintos no mapeamento de áreas de inundaçã o nos bairros do município de Alegre, ES. *Cadernos de Geociências* [online] 10, 76-86.
- DEFESA CIVIL. Coordenadoria de Defesa Civil, 2011. Plano de Alerta e Atendimento a emergências de Inundaçã o do Rio Cubatão do Norte. Joinville: PMJ. Disponível: <https://www.joinville.sc.gov.br/wp-content/uploads/2017/12/Plano-de-Alerta-e-Atendimento-a-Emerg%C3%AAs-de-Inunda%C3%A7%C3%A3o-do-Rio-Cubat%C3%A3o-do-Norte-nov2011.pdf>. Acesso 18 dez. 2018.
- ESRI. Environmental Systems Research Institute, 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Franco, A.C.V., Dal Santo, M.A., 2015. Contribuição da morfometria para o estudo das inundações na sub-bacia do rio Luís Alves/SC. *Mercator* 14, 151-167.

- GARUVA, 2015. Lei Complementar nº 92, de 22 de dezembro de 2015. Dispõe sobre a aprovação do Plano Diretor do Município de Garuva.
- Goerl, R.F., Kobayama, M., Pellerin, J.R.G.M., 2012. Proposta Metodológica para Mapeamento de Áreas de Risco a Inundação: Estudo de Caso do Município de Rio Negrinho – SC. *Boletim de Geografia* 30, 81-100.
- Guha-Sapir, D., Below, R., Hoyois, P., 2018. EM-DAT: International Disaster Database. Disponível: <https://www.emdat.be>. Acesso: 4 abr. 2018.
- Haddad, E.A., Teixeira, E., 2015. Economic impacts of natural disasters in megacities: The case of floods in São Paulo, Brazil, *Habitat International* 45, 106-113.
- JOINVILLE, 2017. Lei Complementar nº 470, de 09 de janeiro de 2017. Redefine e institui, respectivamente, os Instrumentos de Controle Urbanístico - Estruturação e Ordenamento Territorial do Município de Joinville, partes integrantes do Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável do Município de Joinville.
- Kazakis, N., Kougias, I., Patsialis, T., 2015. Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope–Evros region, Greece. *Science of The Total Environment* 538, 555-563.
- Lopes, E.R.N et al., 2019. Avaliação do risco de inundação em Sorocaba - Brasil, usando lógica e geotecnologia fuzzy. *Brazilian Journal of Development* 5, 1422-1434.
- Magalhães, I. A. L., Thiago, C. R. L., Agrizzi, D. V., Santos, A. R. S., 2011. Uso de Geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: Uma análise comparativa entre dois métodos. *Caderno de Geociências* 8, 63-70.
- Morita, M., 2014. Flood risk impact factor for comparatively evaluating the main causes that contribute to flood risk in urban drainage areas. *Water* 6, 253–270.
- Oliveira, A., Vieira, V., 2009. Semi-detailed Geomorphological Map of Northeastern Santa Catarina State, Brazil—the Garuva Sheet. *Journal of Maps* 5, 66–74.
- Oliveira, N.G., Vieira, C.V., 2017. Soil loss estimate in the Cubatão do Norte river hydrographic basin, northeast of Santa Catarina, Brazil, *International Journal of Development Research* 7, 13887-13895.
- Pinheiro, A., Poeta, L.T., Kaufmann, V., 2009. Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. *Ambiente e Água* 4, 188-199.
- Quan, R., 2014. Risk assessment of flood disaster in Shanghai based on spatial–temporal characteristics analysis from 251 to 2000. *Environmental Earth Sciences* 72, 4627–4638.
- Ravazzani, G., Gianoli, P., Meucci, S. Mancini, M., 2014. Assessing downstream impacts of detention basins in urbanized river basins using a distributed Hydrological model. *Water Resources Management* 28, 1033–1044.
- Rezende, P.S., Marques, D.V., Oliveira, A. L., 2017. Construção de modelo e utilização do método de processo analítico hierárquico – AHP para mapeamento de risco a inundação em área urbana. *Caminhos da Geografia* 18, 01-18.
- Righi, E., Robaina, L.E.S., 2012. Risco à inundação no médio Curso Do Rio Uruguai: Estudo De Caso No Município de São Borja – RS. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 13, 279-286.
- Saaty, T.H., 1977. A scaling method form priorities in hierarquical structures. *Journal of Mathematical Psychology* 15, 234-281.
- Siddayao, G.P., Valdez, S.E., Fernandez, P. L., 2014. Analytic Hierarchy Process (AHP) in Spatial Modeling for Floodplain Risk. Assessment. *International Journal of Machine Learning and Computing* 4, 450-457.
- Tsakiris, G., 2014. Flood risk assessment: Concepts, modelling, applications. *Natural Hazards and Earth System Science* 14, 1361–1369.
- Vestana, R.V., 2008. A importância da Hidrologia na prevenção e mitigação de desastres naturais. *Ambiência* 4, 151-162.
- Vieira, C.V., Horn Filho, N.O., 2012. Mapeamento geológico costeiro do canal do Palmital, litoral Norte de Santa Catarina. *Geosul* 27, 33-54.
- Yang, X., Ding, J. e Hou, H., 2013. Application of a triangular fuzzy AHP approach for flood risk evaluation and response measures analysis. *Natural Hazards* 68, 657-674.