



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

MARCELA PEIXOTO NECTOUX

**ZONEAMENTO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS A EVENTOS DE
INUNDAÇÕES BRUSCAS NA BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI-
ANTAS.**

Porto Alegre

Dezembro 2014

MARCELA PEIXOTO NECTOUX

**ZONEAMENTO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS A EVENTOS DE INUNDAÇÕES
BRUSCAS NA BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI-ANTAS.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO
APRESENTADO AO CURSO DE ENGENHARIA
AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO
DE ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Orientador: Fernando Dornelles

Porto Alegre

Dezembro 2014

MARCELA PEIXOTO NECTOUX

ZONEAMENTO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS A EVENTOS DE INUNDAÇÕES
BRUSCAS NA BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI-ANTAS.

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em **01/12/2014** pela Comissão avaliadora constituída pelos professores:

Banca Examinadora:

.....

Prof. Dr. Fernando Dornelles – Orientador

.....

Prof^a. Dr^a. Alexandra Passuello – DECIV/ UFRGS

.....

Prof. Alfonso Risso – DOH/IPH

.....

Conceito:.....

À minha mãe, minha avó e meu tio.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul que, através de seus professores, servidores e infraestrutura, e com o apoio e financiamento do povo brasileiro, me proporcionaram um ensino superior de qualidade do qual muito me orgulho.

Agradeço ao programa Ciência sem Fronteiras pela oportunidade única do intercâmbio na University of East Anglia que, além de contribuir para minha formação acadêmica, significou um período de grande crescimento pessoal, me tornando uma profissional mais qualificada mas, acima de tudo, uma cidadã mais consciente do seu papel na sociedade.

Agradeço ao meu orientador pelo apoio e supervisão que foram fundamentais na execução deste trabalho e, na sua pessoa, agradeço a todos os professores dos quais fui aluna e que foram generosos em dividir sua experiência e ensinamentos comigo.

Agradeço ao meu colega Ayan Fleischmann pela parceria e interesse nesse projeto, sua ajuda foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos, meu agradecimento especial por estarem sempre ao meu lado como fonte de inspiração e compreensão.

À minha família agradeço por toda a trajetória que me trouxe até aqui e pelo investimento determinado e incansável na minha educação.

*Nothing in life is to be feared, it is only to
be understood. Now is the time to
understand more, so that we may fear less.*

Marie Curie

RESUMO

NECTOUX, M. **Zoneamento das Áreas Suscetíveis a Eventos de Inundações Bruscas na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Ambiental – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

Inundações bruscas são eventos naturais de chuvas intensas e concentradas num espaço de tempo inferior a 6 horas, normalmente ocorrendo locais de declividade acentuada. Sua consequência é a rápida e violenta elevação do nível das águas. As inundações bruscas são um dos tipos mais comuns de desastres naturais no Brasil e no mundo e devido a sua menor previsibilidade, se comparadas às inundações graduais, as inundações bruscas se caracterizam por causarem danos econômicos significativos e riscos à população que reside em áreas vulneráveis. Neste contexto, o zoneamento de áreas suscetíveis à ocorrência de inundações bruscas figura como uma das principais medidas de prevenção de desastres envolvendo este tipo de evento. Este trabalho se propôs a realizar um zoneamento de áreas suscetíveis a inundações bruscas na bacia do Taquari-Antas no Rio Grande do Sul, usando como critério o tempo de concentração. O mapa resultante foi comparado aos registros de municípios atingidos por inundações bruscas e os resultados se mostraram coerentes embora não tenham sido suficientemente detalhados para subsidiar um zoneamento definitivo de áreas inviabilizadas para ocupação urbana.

Palavras-chave: inundações bruscas, zoneamento, tempo de concentração

ABSTRACT

Flash floods are natural phenomena that consist of intense and concentrated rainfall in a period of time of less than six hours, usually occurring in steep slope regions. Their consequences are fast and sudden rise of the water levels. Flash floods are one of the most common types of natural disasters in Brazil and worldwide and, due to their due to their low predictability as compared to gradual flooding, flash floods are characterized by causing significant economic damage and risk to the population living in vulnerable areas. Within this context, zoning areas which are susceptible to flash floods ranks as one of the main measures for preventing disasters involving this type of event. This work aims to conduct a zoning of susceptible flash flood areas in the Taquari- Antas basin in Rio Grande do Sul, using time of concentration as criterion. The resulting map was compared with the records of the cities affected by flash floods, and the results were shown to be consistent, however lacking in detail to subsidise a definitive zoning of derailed urban areas.

Key-words: flash floods, zoning, time of concentration

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 2 – DIAGRAMA DOS PRINCÍPIOS PARA O PLANEJAMENTO DE UM SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA INUNDAÇÕES BRUSCAS. ADAPTADO DE MONTZ & GRUNTFEST, 2002. 30
- FIGURA 3 – LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI-ANTAS. 34
- FIGURA 4 – REGIÕES SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÕES BRUSCAS NA BACIA DO TAQUATI-ANTAS. 48

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – RESUMO ESTATÍSTICO DOS COEFICIENTES DE ESCOAMENTO PARA DIFERENTES CONDIÇÕES DE SATURAÇÃO DO SOLO. (BORGA <i>ET AL.</i> , 2011)	22
TABELA 2 – RELAÇÃO DOS MUNICÍPIOS QUE FAZEM PARTE DA BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI-ANTAS. FONTE:FEPAM.	35
TABELA 3 – FÓRMULAS DE TEMPO DE CONCENTRAÇÃO UTILIZADAS. ONDE TC= TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (HORAS); L= COMPRIMENTO DO CANAL PRINCIPAL(KM); S= DECLIVIDADE MÉDIA DO CANAL PRINCIPAL(ADIMENSIONAL). ADAPTADO DE SILVEIRA (2005).	40
TABELA 4 – TIPOS DE DESASTRES NATURAIS CLIMÁTICOS SEGUNDO CLASSIFICAÇÃO DA DEFESA CIVIL	42
TABELA 5 – EVENTOS DE INUDAÇÃO BRUSCA OCORRIDOS NA BACIA DO TAQUARI-ANTAS ENTRE 2002 E 2012 SEGUNDO REGISTROS DE AVADAN.	45
TABELA 6 – AVALIAÇÃO DOS MUNICÍPIOS INSERIDOS NA BACIA DO TAQUARI-ANTAS EM COMPARAÇÃO COM O ZONEAMENTO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUDAÇÕES BRUSCAS.	50

LISTA DE GRÁFICOS

- GRÁFICO 1 – DESASTRES NATURAIS MAIS RECORRENTES NO BRASIL ENTRE OS ANOS DE 1991 E 2010. FONTE: ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS (2012). 24
- GRÁFICO 2 – POPULAÇÃO AFETADA POR INUNDAÇÕES BRUSCAS ENTRE 1991 E 2010. FONTE: ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS (2012). 25
- GRÁFICO 3 – INUNDAÇÕES BRUSCAS E ALAGAMENTOS POR REGIÃO DO BRASIL NO PERÍODO ENTRE 1991 E 2010. FONTE: ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS (2012). 25
- GRÁFICO 4 – MÉDIAS PLUVIOMÉTRICAS DO PERÍODO DE 1991 A 2010, COM BASE NOS DADOS DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS DA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. FONTE: ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS (2012)... 26
- GRÁFICO 5 – FREQUÊNCIA MENSAL DE EVENTOS DE INUNDAÇÕES BRUSCAS ENTRE OS ANOS DE 1991 E 2010 NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. FONTE: ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS (2012). 26

LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

CEDEC – Coordenadorias Estaduais de Defesa Civil

CEPED - Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres

COBRADE - Classificação e Codificação Brasileira de Desastres

CONPDEC - Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil

FFG – Flash Flood Guidance

HYDRATE - Hydrometeorological Data Resources and Technology for Effective Flash Flood Forecasting

IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas

MDE – Mapa Digital de Elevação.

MI – Ministério da Integração Nacional

PNPDEC - Política Nacional de Proteção e Defesa Civil

S2ID - Sistema Integrado de Informações sobre Desastres.

SEDEC – Secretarias Estaduais de Defesa Civil

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SINDEC- Sistema Nacional de Defesa Civil

SINPDEC - Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1.	Introdução	13
2.	Objetivo de Estudo	15
3.	Revisão Bibliográfica	16
3.1.	Inundações Bruscas (Flash Floods)	16
3.2.	Definição de risco e suscetibilidade de ocorrência de desastres.....	18
3.3.	Causas e princípios que governam o fenômeno de inundação brusca.....	19
3.4.	O coeficiente de escoamento e as inundações bruscas.	22
3.5.	Inundações bruscas no Brasil e no Rio Grande do Sul.....	23
3.6.	Previsão e Prevenção de Inundações Bruscas	26
3.7.	Legislação e Políticas Públicas com relação a inundações bruscas.....	29
3.8.	Caracterização de uma inundação brusca	32
4.	Metodologia	33
4.1.	Caracterização da Bacia do Taquari-Antas.....	33
4.2.	O Projeto Taquari-Antas CEPED RS	37
4.3.	Determinação das áreas suscetíveis a eventos de inundações bruscas na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas.....	38
4.4.	Avaliação dos municípios afetados por eventos de inundações bruscas	40
5.	Resultados e Discussão	45
5.1.	Fontes de incerteza no mapeamento das regiões suscetíveis.....	54
5.2.	Fontes de incerteza relacionadas ao registro de eventos de inundação brusca.....	54
6.	Conclusões e Recomendações	56
7.	Referências Bibliográficas	58

1. INTRODUÇÃO

“Desastres naturais são o resultado da interação entre eventos naturais e uma comunidade vulnerável, causando prejuízos humanos, ambientais e materiais.” (NEDEL & SAUSEN, 2012).

O Rio Grande do Sul, segundo dados apresentados pelas Coordenadorias Estaduais de Defesa Civil (CEDEC) e Secretarias Estaduais de Defesa Civil (SEDEC), é o estado que tem sido mais frequentemente atingido por desastres naturais ao longo dos anos NEDEL & SAUSEN (2012).

Do total de pessoas afetadas e danos causados por desastres naturais nas últimas décadas, em todo o globo, cerca de um terço dos prejuízos e dois terços das população afetadas foram causados por inundações. (GOEL, KOBİYAMA & PELLERIN, 2012)

Dentre os tipos de inundações conhecidas, destacam-se as chamadas *flash floods*, ou inundações bruscas, como são conhecidas no Brasil. Basicamente pode-se dizer que inundações bruscas são caracterizadas como sendo eventos rápidos com pouco tempo para reação, o que aumenta os riscos à vidas humanas e danos à propriedade.

Entretanto, apesar do impacto severo causado por inundações bruscas, este tipo de fenômeno natural segue sendo pouco compreendido e documentado (GAUME *et al.*, 2009).

No Brasil, dentre os desastres naturais que mais ocorrem na região Sul do país estão as inundações bruscas (NEDEL & SAUSEN, 2012). Segundo dados apresentados no Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (2012), o Estado do Rio Grande do Sul apresentou 832 registros oficiais de inundações bruscas entre os anos de 1991 e 2010, período no qual 68,7% dos municípios gaúchos foram atingidos por este tipo de evento.

O trabalho contínuo do desenvolvimento a longo prazo de uma base de dados confiável sobre a ocorrência de eventos de inundações bruscas tornaria possível uma análise mais confiável deste tipo de fenômeno sendo portanto um planejamento que merece atenção do meio acadêmico e dos órgãos responsáveis por este tipo de estudo (NORBIATO, BORGA & DINAL, 2009).

No âmbito da prevenção contra inundações bruscas, o zoneamento de áreas suscetíveis figura como uma das alternativas mais efetivas e economicamente viáveis para fundamentar a tomada de decisões acerca das medidas a serem tomadas pelos órgãos responsáveis pelo gerenciamento deste tipo de desastre natural.

2. OBJETIVO DE ESTUDO

O objetivo do presente trabalho é primeiramente caracterizar um evento de inundação brusca para que, a partir da aplicação destas características à bacia do Taquari-Antas, seja possível obter um mapa das áreas suscetíveis a ocorrência de inundações bruscas.

Com vistas a verificar a representatividade deste mapa, se objetiva comparar as áreas indicadas no mapa de zoneamento de áreas suscetíveis a inundações bruscas com os municípios que possuem registros na Defesa Civil da ocorrência desse tipo de evento para que possa ser feita uma discussão da aplicabilidade deste tipo de zoneamento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Desastres naturais representam anualmente uma média de perdas econômicas de 40 bilhões de euros (MUNICH, 2003 *apud* GAUME *et al.* 2009). Dentre os fenômenos naturais que causam estes desastres no mundo todo, as inundações e enxurradas merecem destaque.

Para a mitigação de enchentes, podem ser adotadas medidas estruturais e/ou não-estruturais. O primeiro grupo refere-se aos dispositivos projetados para conter o escoamento ou amortecê-lo como, por exemplo: diques, barragens, reservatórios, trincheiras, entre outros. Porém, Tucci (1995) estabelece como princípio para a aplicação de dispositivos de drenagem, que estes não devem ampliar a cheia natural relativa ao espaço urbano.

As medidas não-estruturais, por sua vez, incluem os Planos Diretores que promovem o zoneamento, a previsão de enchentes, a realocação de população, planos de evacuação, medidas de convivência segura com as inundações e os seguros contra inundações.

No Brasil, a ocorrência e a intensidade dos desastres naturais dependem mais do grau de vulnerabilidade das comunidades afetadas do que a da magnitude dos eventos adversos. Isto acontece em parte porque, devido à urbanização, os assentamentos precários implantaram-se e expandiram-se nas cidades ocupando áreas de elevada declividade e margens de rios, resultando em parcelas urbanas de extrema vulnerabilidade a deslizamentos de encostas, inundações e enxurradas (BERTONE & MARINHO, 2013).

3.1. INUNDAÇÕES BRUSCAS (FLASH FLOODS)

Para o propósito do presente trabalho, se faz necessário que seja esclarecida a nomenclatura e definição dos eventos de inundações conhecidos mundialmente como *flash floods*.

Na literatura especializada brasileira estes eventos são denominados *inundações bruscas*, e portanto serão assim referidas no discorrer deste trabalho. Esta nomenclatura

é a mais utilizada uma vez que a tradução mais aproximada do inglês e também porque permite um contraponto com o termo *inundações graduais*.

No entanto, é importante destacar que estes eventos naturais também são referidos no Brasil como *exurradas*. Inclusive, a partir de 2012, esta terminologia foi escolhida pela Defesa Civil para classificar este tipo de desastre natural. Esta nomenclatura é útil pois permite um entendimento intuitivo do que consiste o evento.

Embora não haja uma definição apenas para as inundações bruscas, algumas características são senso comum na literatura especializada, conforme resumido por Montz & Grunfest (2002):

- As inundações bruscas ocorrem subitamente, com pouco tempo para alertas de emergência.
- São inundações que se movimentam rapidamente e são geralmente violentas, resultando em um risco elevado de perda de vidas e danos a propriedades;
- São geralmente pequenas em escala com relação à área afetada;
- As inundações bruscas são frequentemente associadas a outros eventos como aumento no nível de rios e deslizamentos de terra.

Uma vez que um dos objetivos deste trabalho é caracterizar um evento de inundação brusca, a definição de inundação brusca que será considerada para tanto é aquela dada pela Organização Mundial de Meteorologia, no seu guia de práticas em hidrologia.

“Inundações bruscas são o rápido aumento do nível das águas como resultado de uma chuva excessiva ou de um rompimento de barragem. Inundações bruscas ocasionadas pela chuva são, portanto, eventos de fluxo de água excessivos que se desenvolvem poucas horas (tipicamente menos do que 6h) após o início da chuva. Geralmente estes eventos ocorrem em regiões montanhosas ou em áreas urbanas com intensa impermeabilização.” (World Meteorological Organisation, 2009).

Esta definição foi escolhida uma vez que é amplamente citada na literatura e é uma das únicas que estabelece um limite de tempo que classifica este tipo de evento natural.

3.2. DEFINIÇÃO DE RISCO E SUSCETIBILIDADE DE OCORRÊNCIA DE DESASTRES

Uma vez que este trabalho objetiva o zoneamento de áreas suscetíveis a inundações bruscas, e, ao longo do trabalho, serão citadas muitas vezes situação de “risco” e “vulnerabilidade” relacionadas às inundações bruscas, é necessário apresentar brevemente uma definição destes conceitos.

Diversas nomenclaturas envolvem a questão de análise da ocorrência de desastres. Esta variedade de definições é ainda agravada por questões de tradução uma vez que a literatura estrangeira, muitas vezes, serve de base conceitual para vários artigos sobre este tema.

Varnes (1985) apresenta a seguinte fórmula que relaciona *risco*

$$Rt = E * Rs$$

Onde Rt = risco total sendo este função de E = elementos de risco (população atingida, atividades econômicas na área em questão) e Rs = risco específico que por sua vez pode ser descrito como:

$$Rs = H * V$$

Onde a variável H = perigo e V = vulnerabilidade, o que significa que o risco específico se refere a uma situação onde há o perigo, mas também existe vulnerabilidade do corpo receptor.

O que é mais importante definir com relação ao risco, é que ele está sempre relacionado a uma probabilidade, ou seja, onde há perigo em relação a ocorrência de um determinado fenômeno e existe uma probabilidade de ele de fato ocorrer, então está configurado o risco.

A *vulnerabilidade* por sua vez, está relacionada ao potencial, ou condições físicas, para a ocorrência de danos em virtude a um fenômeno natural. (VARNES, 1985) O termo vulnerabilidade é também definido no glossário da Defesa Civil (DE CASTRO, 1998) como sendo a condição intrínseca do sistema receptor que, em interação com a

magnitude do evento, caracteriza os efeitos adversos, que podem ser medidos de acordo com a intensidade dos danos ocasionados. Vulnerabilidade é, portanto, segundo a Defesa Civil, o inverso da segurança.

Por exemplo, declividades altas potencializam o efeito das inundações bruscas, conferindo maior velocidade ao escoamento superficial. Portanto regiões de altas declividades estão mais suscetíveis a eventos de inundações bruscas. Vale ressaltar portanto que a *suscetibilidade* é a predisposição de ocorrência de um determinado processo físico em uma área específica, não sendo considerados os dados e a probabilidade de ocorrência no tempo.

Pelling *et al.* (2004) considera que a suscetibilidade está vinculada somente às condições físicas do meio, ou seja, trata da intensidade de um determinado ambiente sofrer impacto devido a um fenômeno natural, especificamente, estando a vulnerabilidade, em contrapartida, associada á condução dos elementos sob ameaça podendo ser avaliada pelo dano esperado

Kobiyama *et al.* (2006) corrobora esta diferenciação entre suscetibilidade e vulnerabilidade, exemplificando que, quando um evento natural extremo costuma ocorrer em uma determinada região, se configura a suscetibilidade. Se a região com potencial de ser atingida é habitada, com possibilidade de prejuízos, está configurada a vulnerabilidade daquela região.

Bertone & Marinho (2013) ainda resumem que uma condição de risco se apresenta quando dois elementos são unidos: a suscetibilidade e a vulnerabilidade, potencializada pela probabilidade dos eventos climáticos. (BERTONE & MARINHO, 2013)

Portanto, este trabalho se propõe a determinar a critérios para o zoneamento da *suscetibilidade* da bacia do Taquari-Antas a eventos de inundações bruscas.

3.3. CAUSAS E PRINCÍPIOS QUE GOVERNAM O FENÔMENO DE INUNDAÇÃO BRUSCA.

Segundo Sene (2012), a principal causa de inundações bruscas são as chuvas intensas. Mas, também figuram como causas eventuais o rompimento de barragens e

problemas de drenagem pluvial. Gaume *et al.* (2009) afirmam que usualmente as inundações bruscas são geradas por precipitação de mais de 100mm em algumas horas e afetando áreas limitadas.

Borga *et al.* (2011) ainda afirmam que, além de serem associadas com chuvas rápidas, de alta intensidade, e que ocorrem localmente, as inundações bruscas são geralmente associadas com chuvas convectivas. O mesmo estudo também apresenta resultados condizentes com esta colocação: no estudo extensivo de inundações bruscas em toda a Europa, a duração da chuva variou de 1 a 26h em bacias de até 1000 km², sendo essencialmente associadas a chuvas do sistema convectivo.

Quanto à influência da declividade na avaliação de risco de inundações bruscas, as regiões montanhosas apresentam-se como as mais suscetíveis a este tipo de fenômeno, uma vez que as inundações começam nas partes mais altas da bacia sendo sucedidas pela inundação dos vales a jusante.

Marchi *et al.* (2010) argumentam que a bacia não precisa ter necessariamente uma declividade elevada para que favoreça um evento de inundação brusca. Entretanto, certamente é um fator relevante, principalmente quando associado a efeitos orográficos de precipitação, o que promove uma rápida concentração de fluxo.

Quanto aos fatores responsáveis pela ocorrência dos fenômenos de inundações bruscas, Rozalis *et al.* (2010) argumenta que estes são bastante complexos e principalmente dizem respeito à intensidade da chuva, sua duração, volume e distribuição espacial e temporal. Além disso, fatores físicos e hidrológicos como as características da bacia (i.e. área, topografia, forma, uso do solo, cobertura vegetal, condições precedentes entre outros) exercem influência sobre a ocorrência desse tipo de fenômeno.

Portanto, uma condição comum para a ocorrência de inundações bruscas é a combinação de uma chuva convectiva que significam um maior volume de precipitado, e ainda, uma condição de topografia que promova um rápido fluxo de escoamento. Dessa forma, as taxas de escoamento de inundações bruscas são superiores aos outros tipos de inundações e devido à rápida resposta da bacia à intensa pluviosidade.

Uma vez que inundações bruscas afetam áreas relativamente pequenas, as perdas associadas a este tipo de evento são usualmente menos significativas se comparadas a outros desastres naturais de maior escala. Entretanto, com relação a perda de vidas humanas e danos por unidade de área, o impacto de uma inundação brusca tende a ser superior às inundações graduais e até furacões (MONTZ & GRUNTFEST, 2002).

Gaume *et al.*, (2009) apresentam em seu estudo os eventos mais significativos envolvendo vítimas fatais das inundações bruscas ocorridas na Europa no período entre 1946 e 2007:

- Lynmouth (Reino Unido), 1952- 34 mortes;
- Barcelona (Espanha), 1962- mais de 400 mortos;
- Região Piamontesa (Itália), 1968- 72 mortes;
- Região Piamontesa (Itália), 1994- 69 mortes;
- Aaude (França), 1999-35 mortos.

Vale ressaltar que um dos principais problemas subsequentes de inundações bruscas, e que aumentam o risco para as regiões afetadas, são os destroços normalmente arrastados por este tipo de evento. Isto ocorre devido as elevadas velocidades de escoamento observadas em eventos de inundações bruscas. O arraste de destroços aumenta a magnitude dos danos e os riscos à população afetada por desastres deste tipo.

Ainda sobre a vulnerabilidade de algumas situações, Antoine *et al.* (2001) *apud* Ruin *et al.*(2008) reportam que cerca de 40% das vítimas de inundações bruscas são atingidas durante a utilização de veículos automotores, ou seja, as vítimas se encontravam no interior de um veículo no momento do evento e não conseguiram sair ou foram vitimadas na tentativa de retirar o carro do local afetado.

Esta estatística é bastante importante uma vez que o ambiente urbano está cada vez mais sujeito a fenômenos de inundações bruscas devido à crescente impermeabilização do solo, ainda, o número de veículos nas cidades também é bastante significativo, o que torna os usuários deste meio de transporte um foco na prevenção e mitigação de inundações bruscas.

Muitos pesquisadores acreditam na possibilidade de que as perdas associadas às inundações bruscas aumentem nos próximos anos devido às mudanças climáticas que têm sido observadas em todo o globo. Outro motivo de preocupação é a crescente atividade humana em áreas de risco de inundações bruscas. (GRUNTFEST & HANDMER, 2001 *apud* MONTZ & GRUNTFEST, 2002)

Um questionamento bastante comum acerca de inundações bruscas é a diferença deste tipo de fenômeno com outros tipos de inundação. Segundo Rozalis *et al.* (2010), a diferença maior reside no fato de que as inundações bruscas tendem a ocorrer no mesmo local e tempo da chuva que causou o dito fenômeno. Este fato permite apenas algumas horas para que alertas sejam emitidos e, na maioria dos casos, não há tempo hábil para alertas de emergência.

Quanto à sazonalidade dos eventos de inundações bruscas, Gaume *et al.* (2009) na compilação de dados de diversos eventos de inundações bruscas na Europa encontrou evidências da sazonalidade associada a este fenômeno. As observação apresentadas indicam que as *flash floods* mais severas se deram às margens do mar mediterrâneo, o que indica que os fatores climáticos são importantes no mecanismo das inundações bruscas.

3.4. O COEFICIENTE DE ESCOAMENTO E AS INUNDAÇÕES BRUSCAS.

Borga *et al.* (2011) encontraram uma diferença estatisticamente significativa entre os coeficientes de escoamento de solos secos e saturados como pode ser visto na Tabela 1. Estes dados mostram que as condições de saturação do solo representam uma influência significativa no coeficiente de escoamento mesmo em eventos extremos de inundações.

Tabela 1 – Resumo estatístico dos coeficientes de escoamento para diferentes condições de saturação do solo. (BORGA *et al.*, 2011)

Condição inicial de saturação do solo	Nº de casos	Média do Coeficiente de escoamento	Desvio padrão
Seco	17	0,31	0,20
Normal	30	0,35	0,17
Saturado	11	0,40	0,13

Este resultado demonstra também a importância da avaliação da condição de saturação do solo na previsão de inundações bruscas, e, ainda, a influência da impermeabilização do solo na geração de escoamento em inundações bruscas.

Esta linha de pensamento é corroborada nos resultados apresentados por Rozalis *et al.* (2010), uma vez que estes relacionam um impacto significativo do grau de urbanização no volume de escoamento e com o pico de vazão, sendo este impacto mais sensível em eventos de fluxo moderado ou baixo

Estes resultados nos levam a crer que a modificação no uso do solo, mesmo em bacias que atualmente não apresentam um risco elevado para inundações bruscas, podem representar uma fragilidade nestes ambientes.

Davis (2011) *apud* Rozalis *et al.* (2010), afirma que o desenvolvimento urbano cria condições de impermeabilização favoráveis à geração rápida de fluxo. Além disso o ambiente urbano oferece um risco maior a este tipo de fenômeno uma vez que a ocupação do solo nas grandes cidades tende a se concentrar em áreas de risco de inundações

Um resultado importante apontado por Rozalis *et al.* (2010) é que uma mudança em um baixo percentual do uso do solo (CN) resultou em uma mudança significativa no pico de vazão demonstrando a não linearidade dos processos de chuva e escoamento e enfatizando a possibilidade do aumento na frequência de inundações bruscas como resultado de uma intensa urbanização.

O levantamento da umidade do solo para avaliação da suscetibilidade de inundações críticas, portanto, é um passo importante para que se possa localizar nas bacias os locais mais propensos a este tipo de evento (NORBIATO, BROGA & DINAL, 2009).

3.5. INUNDAÇÕES BRUSCAS NO BRASIL E NO RIO GRANDE DO SUL

Um estudo apresentado por Nedel & Sausen (2012), que analisou as inundações bruscas ocorridas na região Sul do Brasil entre os anos de 1980 e 2009, mostrou que o

estado de Santa Catarina é o que mais sofre com este tipo de fenômeno (974 ocorrências), seguido pelo Rio Grande do Sul (925) e pelo estado do Paraná (316).

O Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, publicado em 2012, apresenta diversos dados compilados dos eventos ocorridos entre os anos de 1991 e 2010. O Gráfico 1 apresenta os desastres naturais mais comuns neste período em todo o país, e nota-se que, com a excessão dos eventos de seca que são uma questão muito mais relacionada com o planejamento do que com a previsão de fenômenos, as inundações bruscas são a principal causa de desastres naturais. As vítimas e população total afetada por estes eventos pode ser visualizada no Gráfico 2.

Gráfico 1 – Desastres naturais mais recorrentes no Brasil entre os anos de 1991 e 2010. fonte: atlas brasileiro de desastres naturais (2012).

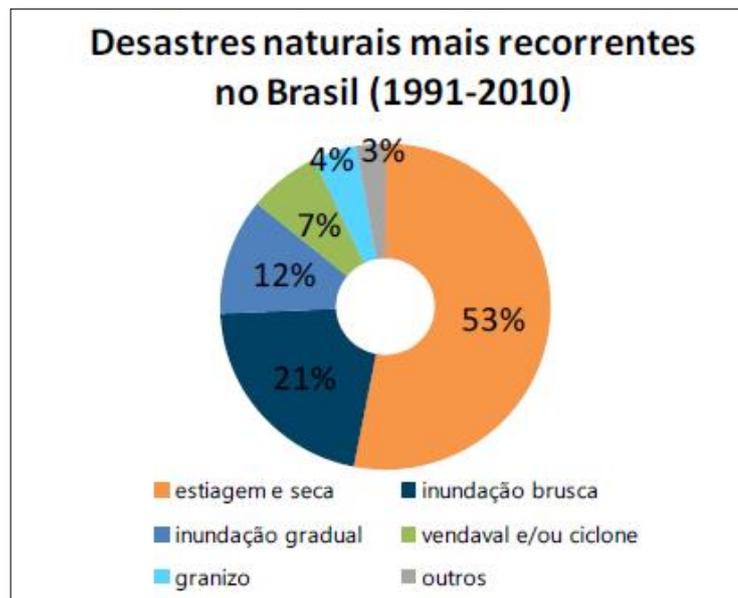
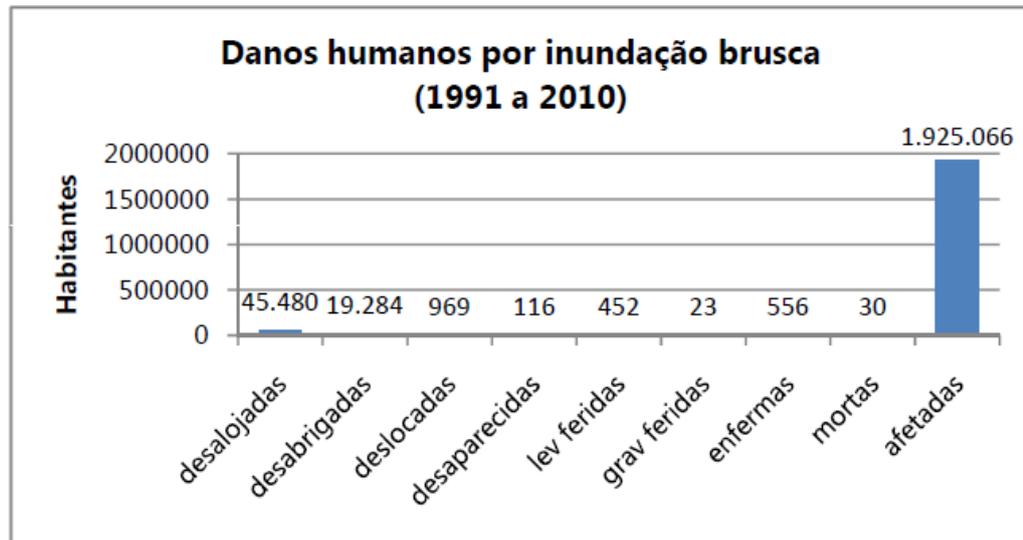
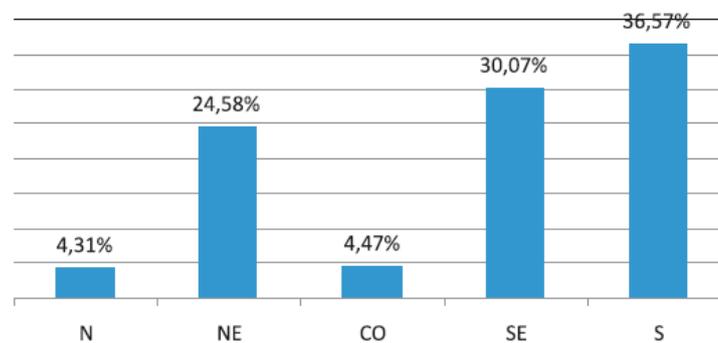


Gráfico 2 – População afetada por inundações bruscas entre 1991 e 2010. fonte: Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (2012).



A partir da análise do Gráfico 3 é possível concluir que a região sul é a que apresenta o maior número de eventos de inundações bruscas no Brasil. Sendo o estudo deste tipo de fenômeno fundamental nesta região.

Gráfico 3 – Inundações bruscas e alagamentos por região do Brasil no período entre 1991 e 2010. fonte: Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (2012).



O Gráfico 4 apresenta as médias pluviométricas do Estado do Rio Grande do Sul, a partir do qual é possível perceber que não há no estado uma estação do ano de chuvas bem definida. Entretanto, a partir da visualização do Gráfico 5 é possível verificar que os eventos se concentraram nos meses de janeiro, julho, novembro e dezembro. Sendo que a média de precipitação mensal não apresenta correlação alguma com a ocorrência de inundações bruscas, este índice não é adequado para sazonalização de suas ocorrências, no entanto pode-se inferir que o período de verão apresenta uma maior frequência de ocorrência, justamente a estação climática mais favorável a ocorrência de chuvas convectivas.

Gráfico 4 – Médias pluviométricas do período de 1991 a 2010, com base nos dados das estações pluviométricas da Agência nacional de águas (ana), no Estado do Rio Grande do Sul. fonte: Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (2012).

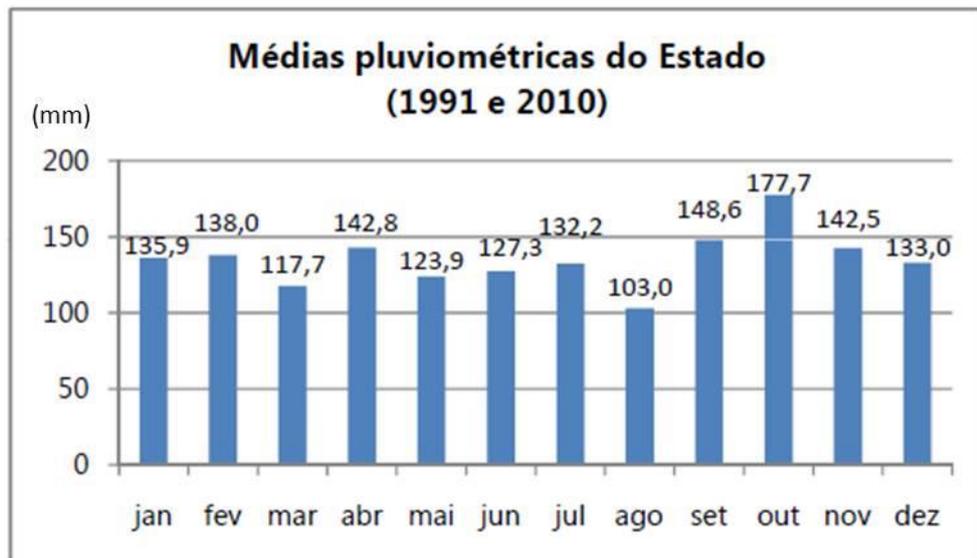
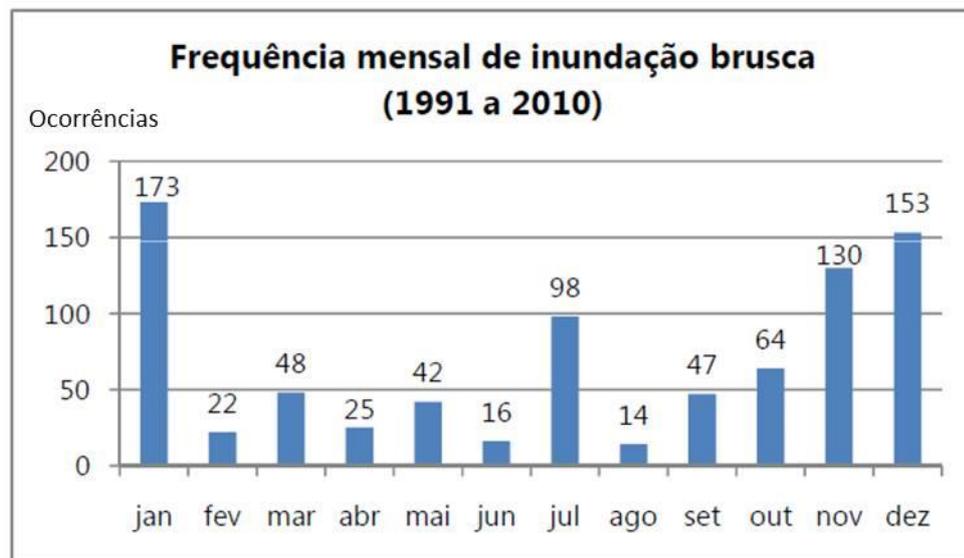


Gráfico 5 – Frequência mensal de eventos de inundações bruscas entre os anos de 1991 e 2010 no Estado do Rio grande do sul. fonte: Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (2012).



3.6. PREVISÃO E PREVENÇÃO DE INUNDAÇÕES BRUSCAS

Inundações bruscas representam um desafio no âmbito de previsão, e consequente prevenção, de desastres relacionados às inundações bruscas. Isto se deve ao fato da reduzida extensão espacial e temporal do evento, características que dificultam a observação nos sistemas convencionais. Outro empecilho para a previsão de inundações é a confiabilidade dos equipamentos de medição, que frequentemente são afetados no caso de chuvas de alta intensidade. (RUIN *et al.*, 2008)

Com relação ao monitoramento da precipitação em tempo real, importante ferramenta na previsão de inundações bruscas, dado o reduzido espaço de tempo envolvido, resultados obtidos por Bacelar *et al* (2013) mostram que, muitas vezes, a previsão de chuvas por meio de radar tende a ser subestimada quando comparada à previsão realizada a partir de dados pluviométricos. O mesmo estudo ressalta a importância da obtenção de dados em diversos pontos da bacia hidrográfica em análise para que sejam corretamente informadas as áreas de risco que possam ser atingidas por picos de cheia a jusante.

Segundo Marchi *et al.* (2010), 50% dos dados de picos de vazão das bacias estudadas foram obtidos através de investigações posteriores às inundações por meio das marcas de cheia. Portanto, a investigação após o evento de cheia é essencial para a obtenção de dados para estudo, bem como a integração destes dados nos métodos de levantamento de risco de inundações bruscas.

Borga *et al.* (2011) apresentam em seu estudo os requerimentos técnicos para um instrumento hidrometeorológico de previsão de inundações bruscas, que deve incluir:

- Um sistema de detecção baseado em sensoriamento remoto (radar ou satélite);
- Um modelo numérico de previsão (NWP) capaz de prover informações quantitativas de previsão de precipitação (QPF);
- Um modelo hidrológico de previsão capaz de estimar a resposta da bacia pelo incremento de vazão.

Segundo Sene (2012) os fatores de risco para inundações bruscas são os seguintes:

- Aumento em atividades recreacionais em regiões de montanhas
- Ocupação de bacias de inundação
- Impermeabilização do solo
- Assoreamento dos rios, reduzindo seu canal e, por consequência, sua capacidade de arraste.

Um dos métodos encontrados na literatura para alertas de inundações bruscas é o método chamado FFG (Flash Flood Guidance). Este método constitui-se do cálculo da

chuva necessária, de uma certa duração e considerada como sendo uniforme no tempo e espaço, para causar uma mínima inundação na bacia em estudo.

O FFG é estimado a cada dia para diagnosticar a probabilidade de ocorrência de inundações bruscas ao longo das próximas 24h. O alerta é então emitido baseado na comparação entre o FFG e a chuva observada ou prevista. Se a medição de chuva for maior que a FFG então a inundação na bacia é considerada provável. (NORBIATO, BROGA & DINAL, 2009).

O fator tempo é decisivo no que tange a resposta às inundações bruscas. Segundo resultados apresentados por Ruin, *et al.* (2008), bacias de até 10 km² apresentam o primeiro pico-resposta de vazão com um retardo de meia hora em média, o que é insuficiente para que se crie um sistema de alerta.

Ruin, *et al.* (2008), chamam atenção ao fato de que mesmo que não haja tempo suficiente para que sejam colocados em prática sistemas de alarme antes da resposta de vazão, os mesmos ainda são importantes já que a inundação deve continuar ao longo de todo o evento de chuva.

Em vistas desta característica, o monitoramento de inundações bruscas requer estimativas de chuva em escalas espaciais de 1 km no mínimo, e escalas de tempo entre 15 e 30 minutos, e menor ainda áreas urbanas. Estes parâmetros normalmente são atendidos por radares meteorológicos. (BORGA *et al.*, 2008).

Incertezas relacionadas à meteorologia e hidrologia ainda são obstáculos ao progresso dos modelos de previsão das condições de inundações bruscas. Entretanto, observações em tempo real e sistemas multi-sensor tem colaborado no aprimoramento destes modelos. MONTZ & GRUNTFEST, 2002.

Goel, Kobiyama e Pellerin (2012) citam o mapeamento das áreas de risco como uma medida mitigadora relacionada às inundações que merece destaque devido ao seu baixo custo e alta aplicabilidade. O mapeamento das áreas suscetíveis a inundação figura então como uma das etapas mais importante de todas as medidas de controle de inundações.

Corroborando esta mesma posição, Gaume *et al.* (2009) afirmam que o esforço de gerar mapas de inundações bruscas, como o apresentado para a Europa no estudo referido, ajudará a revelar de que forma os fatores hidrológicos e meteorológicos contribuem para o acontecimento de inundações bruscas.

Ambos estudos servem como justificativa para o método de zoneamento de áreas suscetíveis a inundação bruscas, objetivo do presente trabalho.

3.7. LEGISLAÇÃO E POLÍTICAS PÚBLICAS COM RELAÇÃO A INUNDAÇÕES BRUSCAS

Devido a sua característica local, a pequena escala espacial e a natureza súbita, as inundações bruscas devem ser administradas por autoridades locais, contando com o envolvimento da população nas áreas de risco. Entretanto as inundações bruscas não acontecem com uma frequência suficiente em cada localidade para que se estabeleça uma equipe técnica experiente (BORGA, *et al.*, 2011).

No Brasil, não existe até o momento uma sistematização confiável sobre a ocorrência de inundações bruscas e demais desastres naturais. Entretanto, a estrutura organizacional que atua na proteção em relação a eventos hidroclimáticos é de certa forma centralizada na Defesa Civil Nacional.

Bertone & Marinho (2013) oferecem uma visão geral desta estrutura organizacional vigente no país:

“Constitucionalmente, a União possui a competência de legislar sobre defesa civil e deve atuar na defesa contra calamidades públicas. Aos Estados compete, por meio dos bombeiros militares, a execução de atividades de defesa civil; aos Municípios, compete o planejamento da ocupação do solo, ação intimamente ligada à prevenção de inundações e deslizamentos.”

Um novo marco na Defesa Civil no Brasil foi a Lei nº 12.608 de 2012 que determina a identificação de áreas de risco como obrigatória para o planejamento municipal, autoriza a criação de um sistema de informações e monitoramento de

desastres e organiza as competências dos órgãos governamentais e dos entes federativos no âmbito do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC). Além disso, esta lei dispõe sobre a instituição da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) e sobre o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CONPDEC).

No planejamento a respeito dos desastres naturais, as ações devem ser integradas combinando estratégias base-topo e topo-base. Dessa forma, as experiências locais poderão de beneficiar dos monitoramentos e previsões realizadas regionalmente.

Outro ponto fundamental é que futuros cenários econômicos, demográficos e climáticos, devem ser levados em consideração no processo de tomada de decisão, para que sejam estabelecidas políticas de mitigação de risco de longo prazo (BORGA *et al.*, 2011).

A existência de um planejamento para eventos de inundações bruscas é fundamental uma vez que levantamentos e observações pós-evento são críticas para a obtenção de informações que contribuam para o contínuo conhecimento deste tipo de fenômeno.

A Figura 1 apresenta um modelo conceitual para este tipo de planejamento no qual as etapas de Monitoramento e Prvisão dão subsídios para a Tomada de decisão e possível Alerta, e então se segue a etapa de Preparação e Mitigação, recomeçando o ciclo do planejamento.

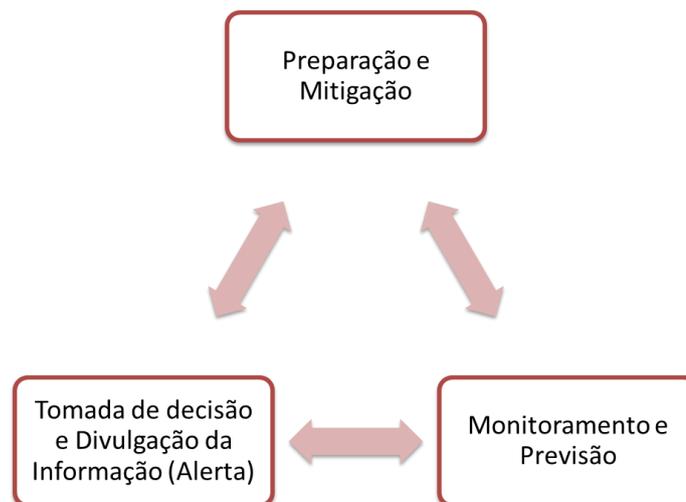


Figura 1 – Diagrama dos princípios para o planejamento de um sistema de proteção contra inundações bruscas. adaptado de Montz & Grunfest, 2002.

O ciclo apresentado na Figura 1 também pode ser interpretado como uma sequência de preparação, resposta e recuperação que deve se refletir no planejamento local (BORGA *et al.*, 2011). A integração de medidas estruturais como bacias de retenção, bem como medidas não estruturais como zonamento de uso do solo e sistemas de alerta de inundações bruscas são fundamentais para uma estratégia de planejamento eficiente.

Os desafios relacionados com a análise de risco de inundações bruscas podem ser resumidos conforme Borga *et al.*(2011) sugere:

- Sistemas tradicionais de defesa contra inundações são muitas vezes insuficientes;
- A natureza multi-risco associada às inundações bruscas, principalmente no que tange a regiões montanhosas.
- A necessidade de se desenvolver estratégias específicas de preparação incorporadas no planejamento.

Existe um grande número de referências na literatura a respeito dos alarmes falsos, ou seja, dispositivos que muitas vezes dão alertas de emergência sem que o evento efetivamente aconteça, ou não aconteça na intensidade prevista. Os administradores públicos geralmente têm uma grande preocupação com este tipo de problema uma vez que o sistema de alerta corre o risco de perder a credibilidade junto à comunidade em função de alarmes falsos.

Na pesquisa bibliográfica para o propósito deste trabalho foram encontradas diversas tentativas de levantamentos gerais a respeito de inundações bruscas uma vez que, quanto mais completos forem os dados levantados sobre este assunto, melhor para a sua compreensão. Dentre os projetos encontrados, o HYDRATE da União Européia merece destaque. O título completo do projeto é “Hydrometeorological Data Resources and Technology for Effective Flash Flood Forecasting”.

O principal objetivo deste projeto, que reúne diversos pesquisadores de vários países da comunidade européia, é melhorar as bases científicas para a previsão de inundações bruscas a partir do entendimento de eventos passados de forma a aprimorar as ferramentas de sistemas de alarme (BORGA *et al.*, 2011).

3.8. CARACTERIZAÇÃO DE UMA INUNDAÇÃO BRUSCA

Fazendo um apanhado geral das características das inundações bruscas apontadas nos estudos revisados, é possível estabelecer alguns critérios que definem a ocorrência deste tipo de fenômeno:

- Declividade da bacia, maiores declividades aumentam a suscetibilidade a eventos de inundações bruscas.
- Tamanho da bacia, geralmente até 10 km² entretanto, esta variável está relacionada à declividade e, conseqüentemente, ao tempo de concentração.
- Altos índices de pluviosidade em um reduzido espaço de tempo (menor que 6 horas)
- CN, o grau de saturação do solo no momento do evento de chuva está diretamente relacionado com a probabilidade de ocorrência de uma inundação brusca. Nesse aspecto a condição antecedente de umidade, componente usada para estimar CN é muito importante.

Considerando as informações existentes para a bacia do Taquari-Antas, escolhida para aplicação do zoneamento sugerido pelo presente trabalho, o parâmetro físico que melhor caracteriza a suscetibilidade a inundações bruscas, e que relaciona os demais fatores expostos acima, é o tempo de concentração de cada sub-bacia contida na referida área de estudo.

O parâmetro de ocorrência das chuvas não foi considerado para o zoneamento proposto neste trabalho. Segundo Borga *et al.* (2008), o monitoramento de inundações bruscas requer estimativas de chuva em escalas espaciais de 1km no mínimo, entre 15 e 30 minutos e ainda menos em áreas urbanas.

Estes parâmetros normalmente são atendidos apenas por radares meteorológicos e até o presente momento, a bacia que a bacia Taquari-Antas não possui um monitoramento de pluviosidade na resolução necessária

4. METODOLOGIA

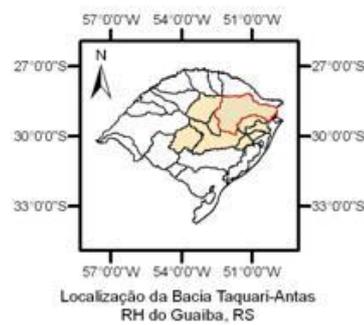
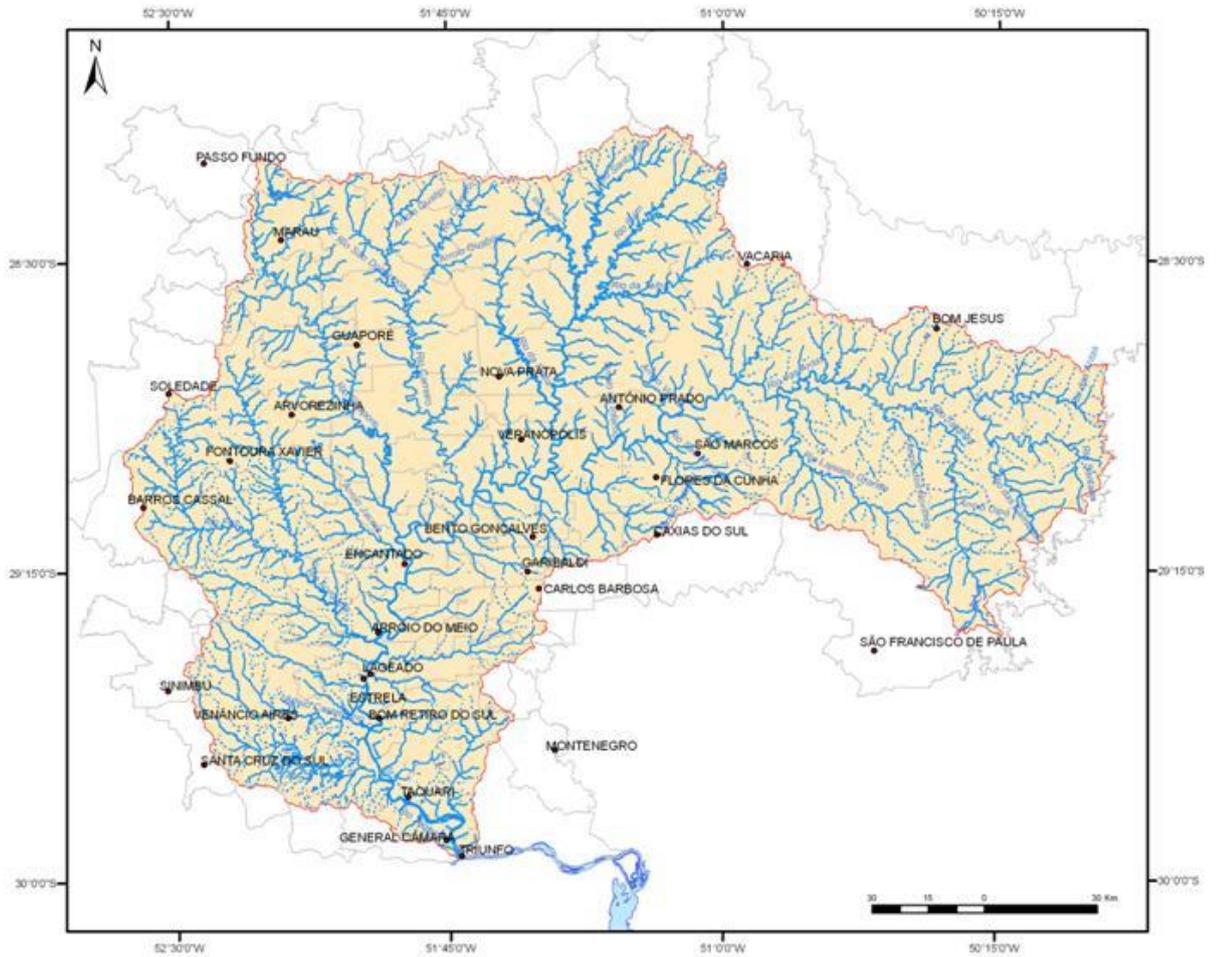
De modo a atingir o objetivo do presente trabalho, os critérios de definição de áreas suscetíveis a inundações bruscas apresentados na Revisão Bibliográfica foram aplicados à Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, situada na região nordeste do Rio Grande do Sul.

A justificativa para escolha desta bacia como objeto de estudo, bem como sua caracterização e a metodologia aplicada para gerar os mapas de suscetibilidade a eventos de inundação brusca e sua comparação com as informações de eventos ocorridos nos municípios inseridos na bacia serão apresentados a seguir.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO TAQUARI-ANTAS

A bacia Hidrográfica do Taquari-Antas abrange uma área de 26.428 km² o que equivale a 9% do território do Rio Grande do Sul estando 120 municípios incluídos, total ou parcialmente, na referida bacia.

O rio Taquari possui sua nascente no Planalto dos Campos Gerais, sendo nesta região denominado de Rio das Antas até confluir com o Rio Carreio próximo a São Valentim do Sul quando passa a ser chamado de Taquari.



Fonte: DRH-SEMA - Junho/2008
Sistema de Coordenadas: SAD 1969
Projeção: Transversa de Mercator

Figura 2 – Localização da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas.

Fonte: Fepam

A população contida na Bacia representa 16% do total do Rio Grande do Sul, com 1.2 milhões de habitantes, caracterizando-se por um elevado índice de industrialização. Entretanto, a bacia pode ser considerada como uma bacia rural uma vez que a apresenta apenas algumas manchas urbanas concentrada nas cidades mais populosas da bacia. A Tabela 2 apresenta a listagem dos municípios incluídos na bacia do Taquari-Antas.

Tabela 2 – Relação dos municípios que fazem parte da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas.
Fonte:Fepam.

1 Água Santa	41 Fontoura Xavier	81 Pouso Novo
2 André da Rocha	42 Forquetinha	82 Progresso
3 Anta Gorda	43 Garibaldi	83 Protásio Alves
4 Antônio Prado	44 General Câmara	84 Putinga
5 Arroio do Meio	45 Gentil	85 Relvado
6 Arvorezinha	46 Guabijú	86 Roca Sales
7 Barão	47 Guaporé	87 Salvador do Sul
8 Barros Cassal	48 Ibiraiaras	88 Santa Clara do Sul
9 Bento Gonçalves	49 Ibirapuitã	89 Santa Cruz do Sul
10 Boa Vista do Sul	50 Ilópolis	90 Santa Tereza
11 Bom Jesus	51 Imigrante	91 Santo Antônio do Palma
12 Bom Retiro do Sul	52 Ipê	92 São Domingos do Sul
13 Boqueirão do Leão	53 Itapuca	93 São Francisco de Paula
14 Brochier	54 Jaquirana	94 São Jorge
15 Camargo	55 Lagoa Vermelha	95 São José do Herval
16 Cambará do Sul	56 Lageado	96 São Joé dos Ausentes
17 Campestre da Serra	57 Maratá	97 São Marcos
18 Canudos do Vale	58 Marau	98 São Pedro da Serra
19 Capão Bonito do Sul	59 Marques de Souza	99 São Valentim do Sul
20 Capitão	60 Mato Castelhano	100 Serafina Corrêa
21 Carlos Barbosa	61 Mato Leitão	101 Sério
22 Casca	62 Montauri	102 Sinimbu
23 Caseiros	63 Monte Alegre dos Campos	103 Soledade
24 Caxias do Sul	64 Monte Belo do Sul	104 Tabaí
25 Ciríaco	65 Montenegro	105 Taquari
26 Colinas	66 Muçun	106 Teutônia
27 Coqueiro Baixo	67 Muitos Capões	107 Travesseiro
28 Coronel Pilar	68 Muliterno	108 Triunfo
29 Cotiporã	69 Nova Alvorada	109 União da Serra
30 Cruzeiro do Sul	70 Nova Araça	110 Vacaria
31 David Canabarro	71 Nova Bassano	111 Vale Verde

32 Dois Lagedos	72 Nova Brésia	112 Vanini
33 Doutor Ricardo	73 Nova Pádua	113 Venâncio Aires
34 Encantado	74 Nova Prata	114 Veranópolis
35 Esmeralda	75 Nova Roma do Sul	115 Vespasiano Correa
36 Estrela	76 Paraí	116 Vila Flores
37 Fagundes Varela	77 Passo do Sobrado	117 Vila Maria
38 Farroupilha	78 Passo Fundo	118 Vista Alegre do Prata
39 Fazenda Vila Nova	79 Paverama	119 Wetfália
40 Flores da Cunha	80 Poço das Antas	120 Pinto Bandeira

De acordo com as características geomorfológicas e hidrológicas, a bacia do Taquari-Antas pode ser dividida em três trechos distintos segundo informações fornecidas pela Fepam:

- O primeiro trecho está compreendido entre as nascentes e a foz do rio Quebra-Dentes, corre na direção leste-oeste, perfaz 183 km de extensão, com uma declividade média de 4,8 m/km, caracterizando-se por possuir declividade acentuada, com rios encaixados e muitas corredeiras.
- O segundo trecho, compreendido entre a foz do rio Quebra-Dentes e a foz do rio Guaporé, tem a direção predominante nordeste-sudoeste, com uma extensão de 207 km e uma declividade média de 1,6 m/km, caracterizando-se por uma declividade menos acentuada, mas ainda apresentando vales encaixados e algumas corredeiras.
- O último trecho, já com denominação de Taquari, começa na foz do rio Guaporé e termina na confluência com o rio Jacuí, seguindo a direção predominante norte-sul e apresentando uma extensão de 140 km e uma declividade média de 0,2 m/Km. Caracteriza-se como um rio de planície, com pouca declividade e raras corredeiras.

A bacia do Taquari-Antas é bastante suscetível a inundações graduais uma vez que as chuvas que são distribuídas em áreas extensas da bacias se concentram rapidamente gerando grandes volumes de água que se propagam com velocidade rio abaixo.

Em 1967, um evento de chuva gerou picos de vazão de intervalo inferior a 24h em dois postos de medição distantes 380 km um do outro, o que evidencia o baixo tempo de concentração da bacia do Taquari-Antas.

Com relação às inundações bruscas, objeto deste trabalho, ao longo da história, diversos episódios de inundações sendo o evento significativo mais recente, as chuvas ocorridas no dia 04/01/2010 e que ocasionaram inundações em diversos municípios da bacia.

4.2. O PROJETO TAQUARI-ANTAS CEPED RS

Em 2011 ocorreu o desastre na região serrana do Rio de Janeiro, com deslizamentos de terra que vitimaram fatalmente mais de 900 pessoas. A partir deste evento, o governo federal iniciou um esforço para identificar as áreas de risco e reestruturar a o sistema nacional de proteção e defesa civil.

Nesse contexto se encaixa a bacia Taquari-Antas por se tratar de uma das regiões de maior importância econômica do estado, englobando cidades como Lajeado, Venâncio Aires e Caxias do Sul e, ao mesmo tempo, ser uma das bacias mais críticas em termos de riscos de desastres naturais, estando incluída no Atlas de Vulnerabilidade a Inundações do Brasil, criado pela ANA em conjunto com órgão estaduais.

Dessa forma se justificou o interesse em desenvolver um estudo integrado de ações de prevenção associados a regimes hidrológicos que beneficiem a população, a administração local e as estruturas municipais de defesa civil das dezenas de municípios componentes da bacia do Taquari-Antas.

O projeto Taquari-Antas partiu de uma iniciativa da Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Estado do Rio Grande do Sul (CEDEC/RS), que solicitou apoio ao Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED/RS) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) para, com financiamento e apoio da Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC) do Ministério da Integração Nacional (MI), desenvolver um trabalho voltado a prevenção de riscos a inundações graduais da bacia do Taquari-Antas.

O projeto foi intitulado “Desenvolvimento e apoio à implantação de uma estratégia integrada de prevenção de riscos associados a regimes hidrológicos na bacia do Taquari-Antas – RS” e está inserido no Plano Nacional de Gestão de Riscos e Respostas a Desastres Naturais.

A intenção do projeto é obter e integrar os variados dados existentes, analisar os padrões de eventos ocorridos, estudar cenários e definir a importância relativa das ações necessárias e recomendadas (estruturais e não-estruturais) para minimizar a chance de ocorrência e reduzir a gravidade das consequências dos desastres associados ao regime hidrológico da Bacia.

Os resultados dos estudos serão construídos na forma de uma estratégia de gestão de riscos integrada, que indique e priorize ações de prevenção que possam, dessa forma, servir de orientação na atuação da CEDEC/RS e SEDEC/MI, bem como de gestores públicos, nos municípios desta região.

Uma vez que o referido projeto está sendo também desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da UFRGS, e que a bacia do Taquari-Antas apresenta características de suscetibilidade também com relação a inundações bruscas, surgiu a oportunidade de aplicar a metodologia de classificação de inundações bruscas sugerida neste trabalho à Bacia do Taquari-Antas, uma vez que já existiam mapas e outros dados fundamentais para o estudo.

4.3. DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS A EVENTOS DE INUNDAÇÕES BRUSCAS NA BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI-ANTAS.

O primeiro passo da metodologia para elaboração de um mapa de suscetibilidades de inundações bruscas na bacia do Taquari-Antas foi a obtenção do Modelo Digital de Elevação (MDE) para a região.

O MDE obtido foi o produzido pelo Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) com resolução de 90 m. Este arquivo é uma estrutura raster, ou seja uma matriz, que define as elevações e depressões do terreno. O primeiro item a ser trabalhado neste arquivo, com o auxílio de um *software* SIG, foi a eliminação de depressões que são fontes de erros na geração do MDE. O algoritmo do *software* utilizado realiza o preenchimento de regiões mais baixas do que a célula vizinha.

O passo seguinte na metodologia foi a definição das direções de fluxo do escoamento superficial. O método utilizado foi um o algoritmo D8 (*deterministic eight-*

neighbor) que consiste na derivação da direção de fluxo para cada pixel. A lógica é atribuir uma direção de fluxo de cada célula para uma das oito células adjacentes a esta.

A seguir, as áreas de fluxo geradas são acumuladas sendo possível então criar a rede de drenagem. O algoritmo utilizado atribui um valor 1 (um) para as células que fazem parte da rede de drenagem ou o valor 0 (zero) para aquelas células que não fazem parte da drenagem.

Outra questão determinante nesta metodologia foi a escolha do *threshold*, ou seja, arbitrar o número de células que dão o limite inferior da rede de drenagem. Uma vez que eventos de inundação brusca ocorrem em margens de tempo e espaço reduzidos, foi fundamental que se estabelecesse uma rede de drenagem bastante discretizada para que todas as sub bacias pudessem ser consideradas.

A partir da metodologia sugerida por Fan *et al.* (2013), este valor foi escolhido através da comparação visual dos resultados para cada limite arbitrado (100, 250, 500 e 1000 células) usando imagens de satélite do *Google Earth*.

O valor de *threshold* escolhido após a aplicação desta metodologia foi de 250 células. Uma vez que cada quadrícula do MDE utilizado possui uma resolução de 90 m, a área de cada pixel é aproximadamente $0,0081 \text{ km}^2$. Portanto, a área mínima estabelecida para a determinação da rede de drenagem foi de $2,025 \text{ km}^2$.

Uma vez aplicado este valor de área mínima, para que cada célula do arquivo tenha como atributo o valor correspondente ao somatório das áreas de todos os pixels cujo escoamento contribui para o pixel em questão (FAN *et al.*, 2013), foi gerado um mapa com todas as sub bacias originadas deste procedimento.

A partir do MDE, da geração da rede de drenagem, do estabelecimento das direções de fluxo do escoamento e de delimitadas as mini bacias de acordo com o *threshold* escolhido, foi possível calcular as declividades e comprimentos dos canais principais de cada uma das mini bacias.

O próximo passo foi calcular os tempos de concentração de cada uma destas sub bacias. Para este cálculo foram escolhidas duas fórmulas: Kirpich, e Corps Engineers conforme apresentado na Tabela 3. A justificativa para esta escolha foi discutida por

Silveira (2005) que avaliou 23 fórmulas de tempo de concentração para bacias urbanas e rurais com o objetivo de fornecer indicadores para a escolha dependendo do caso.

Uma vez que bacia Taquari-Antas é uma bacia rural foram buscadas as equações que tiveram os melhores resultados: Kirpich, Vent te Chow e Corps Engineers. As duas primeiras subestimam aproximadamente o tempo de concentração enquanto a última superestima. Dessa forma Silveira (2005) sugere a combinação destas três fórmulas para melhor ajustar os resultados uma vez que o erro padrão das três é semelhante.

Uma vez que o erro médio de Kirpich é igual ao de Corps Engineers tendo apenas sinal inverso, a média entre estas duas equações foi estabelecida para o cálculo do tempo de concentração de cada uma das mini bacias.

Tabela 3 – Fórmulas de tempo de concentração utilizadas. Onde Tc= tempo de concentração (horas); L= comprimento do canal principal(km); S= declividade média do canal principal(adimensional). Adaptado de Silveira (2005).

Nome	Equação
Kirpich	$T_c = 0,0663L^{0,77} S^{-0,385}$
Corps Engineers	$T_c = 0,191L^{0,76} S^{-0,19}$

4.4. AVALIAÇÃO DOS MUNICÍPIOS AFETADOS POR EVENTOS DE INUNDAÇÕES BRUSCAS

De forma a comparar o resultado das áreas suscetíveis a inundações bruscas, foram pesquisados os municípios pertencentes à bacia do Taquari-Antas que informaram eventos deste tipo.

O órgão que controla as ocorrências de desastres naturais no Brasil é a Defesa Civil. Este órgão possui um portal na internet chamado S2ID (Sistema Integrado de Informações sobre Desastres) que disponibiliza os registros de ocorrência de desastres conforme reconhecidos pela SEDEC.

Existem, no Banco de Dados do S2ID, informações a respeito de nove tipos de documentos que estão descritos abaixo conforme definições da Defesa Civil:

- **Avadan** - Formulário de Avaliação de Danos e tem por finalidade informar, com exatidão, ao SINDEC sobre as características dos desastres; avaliar os danos

humanos, materiais e ambientais provocados pelo desastre; informar sobre os prejuízos econômicos e sociais resultantes.

O Avadan deve ser preenchido no máximo 5 dias após a ocorrência do desastre, por equipe habilitada, e encaminhado simultaneamente aos órgão de articulação do SINDEC, em nível estadual e federal.

- **Decreto-** Instrumentos legais para declaração de situação de emergência ou estado de calamidade pública.
- **Fide-** Formulário de Informações do Desastre
- **Imagens-** Fotografias tiradas dos eventos e danos causados por desastres.
- **Jornal-** Notícias veiculadas nos jornais da região a respeito de desastres ocorridos.
- **Nopred-** Formulário de Notificação Preliminar de Desastre e tem por finalidade alertar o SINDEC sobre a ocorrência de um desastre e encaminhar oficialmente as informações preliminares sobre os mesmos aos órgãos de coordenação do SINDEC.

O Nopred deve ser preenchido até 12 horas após a ocorrência do desastre, por equipe habilitada, e encaminhado imediata e simultaneamente aos órgão de coordenação e de articulação do SINDEC, em nível estadual e federal.

- **Outros Documentos-** Documentos diversos presentes na base de dados que não se encaixam nas outras categorias.
- **Portaria-** Ato administrativo com informações a respeito de aplicação de leis ou recomendações em geral
- **Relatório de Danos-** Documento complementar de avaliação dos danos causados pelo evento

Além da opção do tipo do documento, outros filtros disponíveis no Portal são o intervalo das datas dos registros a ser pesquisada, o estado da federação, o municípios e o tipo de desastre.

Para a pesquisa dos municípios afetados por inundações bruscas na bacia do Taquari-Antas foram realizadas pesquisas na base de dados para todos os tipos de documentos citados anteriormente.

Foi utilizado o intervalo de tempo *default* do Portal, de 01/01/1900 até 31/12/2020, o estado classificado foi o Rio Grande do Sul e o item de município não foi marcado uma vez que a pesquisa buscava encontrar registros para mais de um município.

O tipo de desastre classificado no filtro foi o de código 12302- *Enxurradas ou inundações bruscas*. Vale destacar neste momento, entretanto, que existem inúmeros desastres relacionados no S2ID, muitos deles podem acontecer concomitantemente com eventos de inundações bruscas, ou serem confundidos com este tipo de evento.

Na Tabela 4 é possível verificar os tipos de desastres naturais relacionados a eventos climáticos apresentados como opção no Portal da Defesa Civil. Ressalta-se que os códigos dispostos abaixo foram modificados em 2012 com o lançamento do COBRADE que classificou os termos relacionados a alagamentos em apenas três tipos: Inundações, enxurradas e alagamentos.

Tabela 4 – Tipos de desastres naturais climáticos segundo classificação da Defesa Civil

Número de registro	Tipo de evento
11101	Impacto (queda) de meteoritos
12101	Vendavais ou tempestades
12102	Vendavais muito intensos ou ciclones extratropicais
12103	Vendavais extremamente intensos, furacões, tufões ou ciclones tropicais
12104	Tornados e trombas d'água
12201	Onda de frio intenso
12202	Nevadas
12203	Nevascas ou tempestades de neve
12204	Aludes ou avalanches de neve
12205	Granizos
12206	Geadas
12207	Ondas de calor
12208	Ventos quentes e secos
12301	Enchentes ou inundações graduais
12302	Enxurradas ou inundações bruscas
12303	Alagamentos
12304	Inundações litorâneas provocadas pela brusca invasão do mar
12401	Estiagens

Número de registro	Tipo de evento
12402	Secas
12403	Queda intensa dos índices de umidade relativa do ar
12404	Incêndios florestais das estações estivais
13101	Terremotos, sismos e ou abalos sísmicos
13102	Maremotos e tsunamis
13201	Erupções vulcânicas
13301	Escorregamentos ou deslizamentos
13302	Corridas de massa
13303	Rastejos
13304	Quedas, tomabamentos e ou rolamentos de matacões e ou rochas

Além deste tipos enumerados ainda existe uma vasta lista com eventos de natureza de saúde pública como epidemias ou infestações de animais, entre outros eventos que não cabem citar para o propósito deste trabalho.

Apenas os documentos Avadan, Decreto, e Noped obtiveram resultados com os filtros utilizados. Entretanto, os Decretos no Banco de Dados abrangem apenas os anos entre 2008 e 2010 e, além disso, nestes documentos não consta a data do evento, apenas a data de assinatura do Decreto. A Noped, por sua vez, apenas os anos entre 2007 e 2012.

Foi estabelecido então, para a avaliação dos municípios afetados por inundações bruscas, os registro de Avadan uma vez que para este tipo de documento haviam registros entre 2002 e 2012 (ano em que esta modalidade de registro foi extinta) e além disso, no conteúdo do documento há uma descrição do evento e dos danos causados, com data e hora do ocorrência.

Os registros de Avadan também foram utilizados como fonte de dados no relatório de Avaliação de Perdas e Danos- Inundações Bruscas em Pernambuco (Banco Mundial, 2012) corroborando o uso deste documento para este tipo de avaliação.

Outra razão que justifica a utilização deste documento como base de dados é que mais de uma classificação de desastre pode ser incluída no documento, ou seja, se

ocorreu uma inundação brusca concomitante com um vendaval os dois eventos podem ser registrados no mesmo Avadan.

É importante destacar, entretanto, que o registro de Avadan foi extinto pela Defesa Civil a partir de 2012, tendo sido substituído pelo Fide. Dessa forma, os registros de eventos mais recentes não puderam ser considerados na avaliação realizada.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da avaliação dos municípios afetados, encontrou-se 93 registros de inundações bruscas na bacia do Taquari-Antas de um total de 424 registros para o estado do Rio Grande do Sul, representando, portanto, 22% dos registros.

Outro dado importante é que dos 120 municípios inseridos na Bacia Taquari-Antas, 59 apresentaram ao menos um registro de inundação brusca, o que representa aproximadamente 50% do total de municípios.

A Tabela 5 apresenta a listagem dos eventos registrados ordenada alfabeticamente por município.

Tabela 5 – Eventos de inundação brusca ocorridos na Bacia do Taquari-Antas entre 2002 e 2012 segundo registros de Avadan.

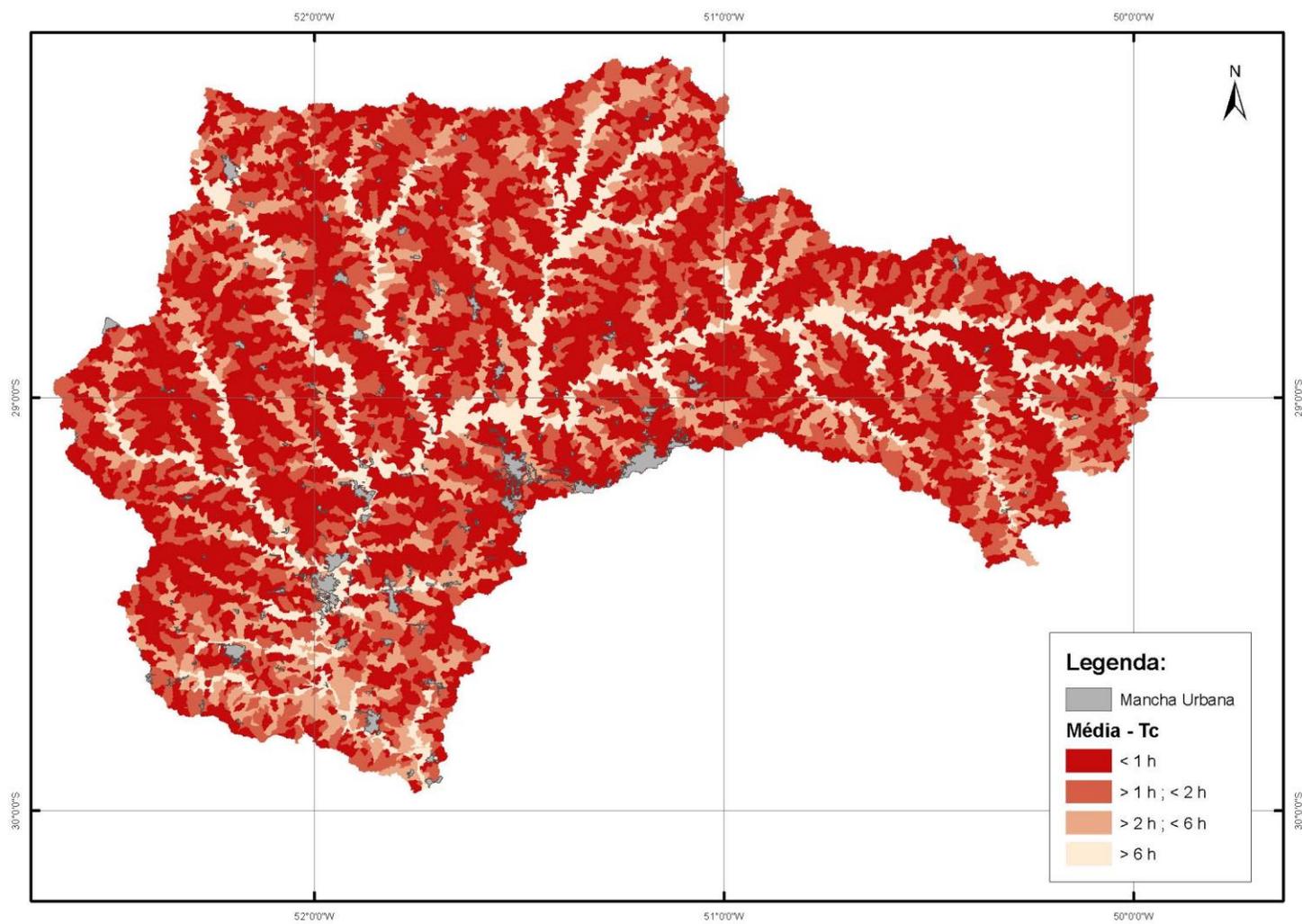
Data do evento	Município afetado	Córrego afetado
25/11/2009	Água Santa	Não informado
29/08/2011	Água Santa	Rio Carreteiro
04/10/2010	Anta Gorda	Rio Guaporé e Arroios Zeferino e Monjolo
04/01/2010	Arroio do Meio	Rio Forqueta
08/12/2009	Arvorezinha	Não informado
04/01/2010	Arvorezinha	Não informado
22/04/2011	Arvorezinha	Não informado
20/07/2011	Arvorezinha	Não informado
02/12/2009	Barros Cassal	Não informado
04/01/2010	Barros Cassal	Não informado
14/02/2011	Bom Jesus	Rio Cerquinha
05/01/2010	Bom Retiro do Sul	Faxinal
23/04/2011	Bom Retiro do Sul	Faxinal
23/09/2007	Boqueirão do Leão	Não informado
24/11/2009	Boqueirão do Leão	Não informado
04/01/2010	Boqueirão do Leão	Não informado
14/04/2011	Boqueirão do Leão	Arroio Galdino
14/04/2011	Canudos do Vale	Araguari, alta forquetinha
05/01/2010	Casca	Não informado
29/08/2011	Casca	Não informado
23/01/2010	Caseiros	Não informado
22/02/2007	Caxias do Sul	Não informado
07/02/2012	Caxias do Sul	Não informado
20/07/2011	Ciríaco	Não informado
17/01/2010	Círiaco	Não informado
23/11/2009	Colinas	Não informado

Data do evento	Município afetado	Córrego afetado
04/01/2010	Colinas	Não informado
08/07/2003	Cotiporã	Não informado
05/01/2010	Cotiporã	Não informado
04/01/2010	Cruzeiro do Sul	Rio Taquari e arroios
04/01/2010	Dois Lajeados	Não informado
04/01/2010	Encantado	Não informado
28/03/2011	Fagundes Varela	Não informado
02/12/2009	Flores da Cunha	Não informado
22/10/2008	Fontoura Xavier	Não informado
08/09/2009	Fontoura Xavier	Não informado
20/11/2009	Fontoura Xavier	Não informado
03/01/2010	Fontoura Xavier	Não informado
05/04/2010	Fontoura Xavier	Não informado
02/08/2011	Fontoura Xavier	Não informado
04/01/2010	Forquetinha	Rio Forquetinha e Arroio Alegre
14/04/2011	Forquetinha	Rio Forquetinha e Arroio Alegre
03/01/2010	Garibaldi	Não informado
01/12/2009	Gentil	Não informado
26/03/2011	Gentil	Não informado
04/01/2010	Guaporé	Não informado
02/03/2010	Ibiraiaras	Não informado
09/12/2009	Ibirapuitã	Não informado
04/01/2010	Ilópolis	Não informado
05/01/2010	Imigrante	Não informado
03/12/2009	Itapuca	Não informado
25/10/2008	Lajeado	Rios Taquari, Forqueta, Arroio Saraquá, Arroio do Engenho e Arroio Encantado
13/04/2011	Lajeado	Não informado
04/01/2010	Marques de Souza	Rios Forqueta e Fão
22/04/2011	Montenegro	Não informado
04/01/2010	Nova Alvorada	Não informado
21/07/2011	Nova Alvorada	Não informado
21/07/2011	Nova Bassano	Não informado
04/01/2010	Nova Brésia	Rio Tigrinho
25/10/2002	Passo do Sobrado	Arroio Diogo Trilho, Arroio da Divisa
04/01/2010	Pouso Novo	Não informado
04/01/2010	Progresso	Não informado
21/12/2009	Putinga	Não informado
04/01/2010	Putinga	Não informado
04/01/2010	Relvado	Não informado
05/01/2010	Santa Clara do Sul	Não informado
14/04/2011	Santa Clara do Sul	Não informado

Data do evento	Município afetado	Córrego afetado
21/09/2007	Santa Cruz do Sul	Rio Pardinho
22/04/2011	Santa Cruz do Sul	Rio Pardinho
10/07/2007	Santa Tereza	Rio Taquari, Marrecão e Arroio Vinte e Dois
04/01/2010	Santa Tereza	Não informado
10/03/2011	São Francisco de Paula	Não informado
29/08/2011	São Jorge	Não informado
22/11/2009	São José do Herval	Não informado
04/01/2010	São José do Herval	Não informado
26/03/2010	São José dos Ausentes	Não informado
03/01/2010	São Valentim do Sul	Não informado
04/01/2010	Serafina Corrêa	Não informado
04/01/2010	Sério	Não informado
14/04/2011	Sério	Não informado
04/01/2010	Sinimbu	Rio Pardinho
08/07/2003	Sinimbu	Rio Pardinho
06/11/2008	Soledade	Rio São Bento
04/01/2010	Soledade	Não informado
02/08/2011	Soledade	Não informado
13/09/2009	Taquari	Rio Taquari
23/04/2011	Taquari	Rio Taquari
04/01/2010	Travesseiro	Não informado
04/01/2010	União da Serra	Não informado
30/10/2002	Vale Verde	Rio Jacuí
07/12/2009	Vanini	Não informado
11/02/2011	Vanini	Não informado
26/03/2011	Vista Alegre do Prata	Não informado

A Figura 3 apresenta as regiões suscetíveis a inundações bruscas na bacia do Taquari-Antas. Com o *threshold* de 250 células o tempo de concentração total da bacia foi calculado em aproximadamente 86 horas, desnível aproximadamente 1091 m e comprimento total do canal de aproximadamente 561 km. Os três parâmetros estão bastante condizentes com os valores apresentados na bibliografia para a bacia do Taquari-Antas.

Figura 3 – Regiões suscetíveis a inundações bruscas na bacia do Taquati-Antas.



Além da caracterização de eventos de inundações bruscas, a determinação de áreas suscetíveis a este tipo de fenômeno na bacia do Taquari-Antas e o levantamento dos municípios que documentaram este tipo de ocorrência junto à Defesa Civil, o presente trabalho também objetiva a verificação do zoneamento obtido com esta listagem de municípios afetados.

Dessa forma, a Tabela 6 apresenta a comparação realizada entre os municípios inseridos na bacia do Taquari-Antas e o mapa de regiões suscetíveis obtido. A primeira coluna retoma a informação de quais municípios possuem Avadan relacionado a eventos de inundações bruscas, 58 dos 120 municípios possuem este registro.

A coluna adjacente a esta diz respeito a avaliação da inserção do município em regiões definidas no mapa como sendo suscetíveis a inundações bruscas, ou seja, possuem tempo de concentração calculado menor ou igual a seis horas. Todos os municípios da bacia Taquari-Antas apresentam ao menos uma porção de seu território inserido em zonas suscetíveis.

A última coluna diz respeito à avaliação de vulnerabilidade dos municípios listados. Comparando dados de manchas urbanas com o mapa de suscetibilidade, foi possível avaliar que 66 dos 120 municípios (55%) apresentam manchas urbanas de população inseridos em regiões de tempo de concentração menor ou igual a 1h, ou seja, regiões extremamente suscetíveis a inundações bruscas.

Outro fato digno de nota em relação à avaliação de vulnerabilidade é que, dos 58 municípios com registros de Avadan, 31 deles (53,4%) apresentam manchas urbanas inseridas em regiões de tempo de concentração menor ou igual a 1h.

Entretanto, é importante ressaltar que muitos municípios não apresentam dados de manchas urbanas uma vez que a bacia do Taquari-Antas é predominantemente rural. Também ressalta-se que para Pinto Bandeira não foi possível realizar a avaliação uma vez que este município se emancipou somente em 2012 e a base cartográfica disponível não incluía os limites de Pinto Bandeira.

Tabela 6 – Avaliação dos Municípios Inseridos na Bacia do Taquari-Antas em Comparação com o Zoneamento das Áreas Suscetíveis a Inundações Bruscas.

Nome Município	Possui Avadan	Município inserido em região com Tc<6	Mancha Urbana inserida em região com Tc<1
Água Santa	Sim	sim	não há dados
André da Rocha	Não	parcial	Sim
Anta Gorda	Sim	parcial	Não
Antônio Prado	Não	parcial	Sim
Arroio do Meio	Sim	parcial	Parcial
Arvorezinha	Sim	parcial	Sim
Barão	Não	sim	Sim
Barros Cassal	Sim	sim	Não
Bento Gonçalves	Não	parcial	Parcial
Boa Vista do Sul	Não	sim	Não
Bom Jesus	Sim	parcial	Parcial
Bom Retiro do Sul	Sim	parcial	Fora
Boqueirão do Leão	Sim	sim	Sim
Brochier	Não	sim	não há dados
Camargo	Não	parcial	Não
Cambará do Sul	Não	parcial	Parcial
Campestre da Serra	Não	parcial	Não
Canudos do Vale	Sim	sim	Não
Capão Bonito do Sul	Não	sim	não há dados
Capitão	Não	sim	Sim
Carlos Barbosa	Não	sim	Sim
Casca	Sim	parcial	Sim
Caseiros	Sim	sim	não há dados
Caxias do Sul	Sim	parcial	Sim
Ciríaco	Sim	parcial	Parcial
Colinas	Sim	parcial	Parcial
Coqueiro Baixo	Não	parcial	Não
Coronel Pilar	Não	sim	Sim
Cotiporã	Sim	parcial	Sim

Nome Município	Possui Avadan	Município inserido em região com Tc<6	Mancha Urbana inserida em região com Tc<1
Cruzeiro do Sul	Sim	parcial	Fora
David Canabarro	Não	parcial	Não
Dois Lageados	Sim	parcial	Não
Doutor Ricardo	Não	parcial	Sim
Encantado	Sim	parcial	Parcial
Esmeralda	Não	sim	não há dados
Estrela	Não	parcial	Fora
Fagundes Varela	Sim	parcial	Sim
Farroupilha	Não	sim	Sim
Fazenda Vila Nova	Não	sim	Não
Flores da Cunha	Sim	sim	Parcial
Fontoura Xavier	Sim	parcial	Sim
Forquetinha	Sim	parcial	Fora
Garibaldi	Sim	sim	Parcial
General Câmara	Não	parcial	Fora
Gentil	Sim	sim	Sim
Guabijú	Não	parcial	Sim
Guaporé	Sim	parcial	Parcial
Ibiraíaras	Sim	sim	Não
Ibirapuitã	Sim	sim	não há dados
Ilópolis	Sim	sim	Sim
Imigrante	Sim	sim	Não
Ipê	Não	parcial	Sim
Itapuca	Sim	sim	Sim
Jaquirana	Não	parcial	Sim
Lagoa Vermelha	Não	parcial	não há dados
Lageado	Não	parcial	Parcial
Maratá	Não	sim	não há dados
Marau	Não	parcial	Parcial
Marques de Souza	Sim	parcial	Fora
Mato Castelhano	Não	sim	Sim

Nome Município	Possui Avadan	Município inserido em região com Tc<6	Mancha Urbana inserida em região com Tc<1
Mato Leitão	Não	sim	Parcial
Montauri	Não	parcial	Não
Monte Alegre dos Campos	Não	parcial	Sim
Monte Belo do Sul	Não	sim	Sim
Montenegro	Sim	sim	não há dados
Muçun	Não	parcial	For a
Muitos Capões	Não	parcial	Sim
Muliterno	Não	sim	Não
Nova Alvorada	Sim	parcial	Não
Nova Araça	Não	parcial	Não
Nova Bassano	Sim	parcial	Não
Nova Brésia	Sim	sim	Parcial
Nova Pádua	Não	parcial	Sim
Nova Prata	Não	parcial	Sim
Nova Roma do Sul	Não	parcial	Sim
Paraí	Não	parcial	Parcial
Passo do Sobrado	Sim	parcial	Não
Passo Fundo	Não	sim	Não
Paverama	Não	parcial	Não
Poço das Antas	Não	sim	Não
Pouso Novo	Sim	parcial	Parcial
Progresso	Sim	parcial	Sim
Protásio Alves	Não	parcial	Sim
Putinga	Sim	parcial	Parcial
Relvado	Sim	sim	Não
Roca Sales	Não	parcial	Fora
Salvador do Sul	Não	sim	Sim
Santa Clara do Sul	Sim	sim	Sim
Santa Cruz do Sul	Sim	parcial	Não
Santa Tereza	Sim	parcial	Não

Nome Município	Possui Avadan	Município inserido em região com Tc<6	Mancha Urbana inserida em região com Tc<1
Santo Antônio do Palma	Não	Sim	Sim
São Domingos do Sul	Não	Parcial	Parcial
São Francisco de Paula	Sim	Parcial	Fora
São Jorge	Sim	Parcial	Não
São José do Herval	Sim	Parcial	Sim
São Joé dos Ausentes	Sim	Parcial	Sim
São Marcos	Não	Parcial	Sim
São Pedro da Serra	Não	Sim	não há dados
São Valentim do Sul	Sim	Parcial	Parcial
Serafina Corrêa	Sim	Sim	Parcial
Sério	Sim	Sim	Sim
Sinimbu	Sim	Sim	não há dados
Soledade	Sim	Sim	Sim
Tabaí	Não	Sim	Não
Taquari	Sim	Parcial	Não
Teutônia	Não	Parcial	Parcial
Travesseiro	Sim	Parcial	For a
Triunfo	Não	Parcial	Não
União da Serra	Sim	Parcial	Parcial
Vacaria	Não	Parcial	Parcial
Vale Verde	Sim	Sim	Não
Vanini	Sim	Parcial	Sim
Venâncio Aires	Não	Parcial	Parcial
Veranópolis	Não	Parcial	Sim
Vespasiano Correa	Não	Parcial	Não
Vila Flores	Não	Sim	Parcial
Vila Maria	Não	Parcial	Não
Vista Alegre do Prata	Sim	Parcial	Não
Westfália	Não	Parcial	Parcial
Pinto Bandeira	Não há dados	Não há dados	Não há dados

A partir da análise da Tabela 6 é possível verificar que, a princípio, o zoneamento das regiões suscetíveis a inundações bruscas foi coerente com os municípios que possuem registros (Avadan) deste tipo de evento. Entretanto, 35 (29,4 %) dos municípios foram classificados como apresentando manchas urbanas inseridas, ou parcialmente inseridas, em áreas suscetíveis, mas não apresentam registros de Avadan.

Entretanto, o mapa de áreas suscetíveis englobou mais de 90% da áreas do mapa, uma vez que a bacia na sua totalidade apresenta um tempo de concentração de 85 horas e declividade bastante acentuadas esta porcentagem se faz coerente neste contexto.

Outro fato digno de nota é que muitos municípios sabidamente suscetíveis a eventos de inundações graduais como Taquari e Lageado também apresentaram áreas de suscetibilidade a inundações bruscas.

5.1. FONTES DE INCERTEZA NO MAPEAMENTO DAS REGIÕES SUSCETÍVEIS

Segundo Paz *et al.* (2008) as fontes de incerteza presentes na manipulação dos dados do MDE em *softwares* SIG são a própria resolução desta matriz, no caso deste trabalho esta resolução é de 90 m, e os algoritmos usados pelo *software* SIG para o cálculo das direções de fluxo.

Além disso também são fonte de incerteza para o zoneamento as fórmulas utilizadas para o cálculo do tempo de concentração de cada sub- bacia, descritos em detalhe por Silveira (2005).

5.2. FONTES DE INCERTEZA RELACIONADAS AO REGISTRO DE EVENTOS DE INUNDAÇÃO BRUSCA

Com relação às fontes de incerteza relacionadas ao registro de ocorrência de inundações bruscas, por meio de registros de Avadan, foram indentificadas algumas possibilidades.

Devido à possibilidade de múltiplas classificações dos desastres no momento do preenchimento do formulários, um erro possível seria a classificação equivocada do tipo de desastre.

Além disso, outro erro que poderia ocorrer no momento do preenchimento do Avadan seria classificar um desastre ocorrido como consequência de uma inundação brusca, um escorregamento de terra por exemplo, e não incluir no registro a inundação brusca especificamente.

Uma vez que o Avadan é um registro de danos, outra fonte de incerteza é a ocorrência de inundações bruscas que não tiveram registro associado, uma vez que não causaram danos ao município. Lembrando que a bacia do Taquari-Antas é predominantemente rural.

Outra fonte de incerteza identificada na análise dos registro de Avadan disponíveis foi que existe uma falha de registros entre os anos de 2004 e 2006 no portal S2ID .

E por fim, uma vez que o Avadan deve ser emitido no máximo 5 dias após a ocorrência do evento, uma fonte de incerteza seria a perda deste prazo por parte do município e a consequente falha de registro.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir da revisão bibliográfica a respeito do tema inundações bruscas foi possível caracterizar este tipo de evento natural, normalmente associados às chuvas convectivas, de ocorrência repentina, geralmente ocorrendo em regiões de declividade acentuada, que ocasionam um escoamento rápido e intenso, além de violentas elevações nos níveis de água provocando transbordamento.

Com o objetivo de realizar um zoneamento para a bacia do Taquari-Antas, o tempo de concentração de cada sub-bacia obtida foi calculado e as áreas com tempo de concentração menor ou igual a 6 horas foram classificadas de forma a obter um mapa das áreas suscetíveis a eventos de inundação brusca. Destaca-se que a resolução do mapa foi considerada adequada para realizar a análise desejada em nível da plenitude da bacia Taquari-Antas.

Todos os municípios da bacia apresentaram ao menos uma parte de seu território inserida em zonas classificadas como suscetíveis a inundações bruscas. Além disso, 53,4% dos municípios com registros de Avadan possuem mancha urbana inserida em regiões de tempo de concentração menor ou igual a 1h.

Entretanto 29,4% dos municípios que apresentam manchas urbanas inseridas, total ou parcialmente, em regiões com tc menor que 1h não possuem registro Avadan para inundações bruscas. Além das fontes de incerteza relacionadas ao uso deste parâmetro de comparação, esse percentual nos indica que há critérios não considerados no levantamento. Por exemplo, uma área pode ser classificada como suscetível mas não ter havido eventos de chuva de modo a ocasionar um evento de inundação brusca.

Ao final deste trabalho foi possível obter um zoneamento das áreas suscetíveis a ocorrência de inundações bruscas até certo ponto coerente com os dados existentes de registros destes eventos, sendo a aplicabilidade deste tipo de caracterização reconhecida pela bibliografia.

Contudo, o critério de zoneamento utilizado na metodologia não foi suficientemente detalhado para que a o zoneamento das áreas inviabilizadas à ocupação urbana em virtude da sua suscetibilidade a inundações brusca seja definitivo. Para que seja possível

refinar este zoneamento, um mapeamento em nível municipal, identificando as áreas próximas aos leitos dos cursos d'água, se faz necessário.

Como recomendações para futuros trabalhos, destaca-se a importância do monitoramento e registro de eventos de inundações bruscas, não apenas quanto estes causam danos financeiros ou vítimas, uma vez que esses registros são uma das principais fontes de pesquisa sobre o assunto na bibliografia pesquisada.

Outra recomendação neste sentido é a inclusão do córrego afetado nos registros envolvendo ocorrências de inundações bruscas. Nos Avadans este dado não foi incluído na maior parte dos registros. Esta é uma informação importante para guiar a tomada de decisão com relação à prevenção e ao monitoramento de inundações bruscas.

O desenvolvimento da metodologia proposta neste trabalho reforça a ideia de que o mapeamento das áreas de risco figura como medida mitigadora de destaque devido ao seu baixo custo e alta aplicabilidade, sendo das etapas mais importante de todas as medidas de controle de inundações.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991-2010. Volume Brasil. CEPED/UFSC. Florianópolis, 2012.

BACELAR, L.; FERREIRA, R.; DA COSTA, I.; RODRIGUES, M.; CAMARGO, H.; LINDEMBERGH, S.; CARAM, R.; DE ANGELIS, C.; TOMASELLA, J.; DAMÉ, C.; TEIXEIRA, C. **Limiares de chuva deflagradores de inundação brusca para baías da região serrana do Rio de Janeiro: Radar meteorológico versus pluviômetros.** In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, 2013.

Bacia Hidrográfica Taquari- Antas. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_taquari_antas/ Acesso: 18/10/2014

Banco Mundial. **Avaliação de Perdas e Danos- Inundações Bruscas em Pernambuco**, 2012.

BERTONE, P. & MARINHO, C. **Gestão de riscos e resposta a desastres naturais: a visão do planejamento.** IN: VI Congresso CONSAD de Gestão Pública, Brasília, 2013.

BORGA, M.; ANAGNOSTOU, E.; BLOSCHL, G.; CREUTIN, J. Flash flood forecasting, warning and risk management: the HYDRATE project. *Environmental Science & Policy* 14: 834-844, 2011.

BORGA, M.; GAUME, E.; CREUTIN, J.; MARCHI, L. **Surveying flash floods: gauging the ungauged extremes.** *Hydrological Processes*, invited commentary, 2008.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 12 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil

DE CASTRO, A. **Glossário de defesa civil estudos de riscos e medicina de desastres.** Ministério do Planejamento e Orçamento, Secretaria Especial de Políticas Regionais, Departamento de Defesa Civil, 1998.

FAN, F.; COLLISHONN,W.; SORRIBAS,M.; PONTES,P. **Sobre o início da rede de drenagem definida a partir dos modelos digitais de elevação.** RBRH- Revista Brasileira de Recursos Hídricos 18: 241-257, 2013.

Formulários de notificação de desastres da Defesa Civil, definição. Disponível em: <http://www.comunidades.pe.gov.br/c/portal/layout?p_1_id=PUB.1670.27> Acesso : 19/10/2014

GAUME, E.; BAIN, V.; BERNARDARA, P.; NEWINGER, O.; BARBUC, M.; BATEMAN, A.; ... & VIGLIONE, A. **A compilation of data on European flash floods.** Journal of Hydrology 367: 70-78, 2009.

GRUNTFEST, E.; HANDMER, J. (Ed.). **Coping with flash floods.** Springer, 2001.

KOBIYAMA, M., MENDONÇA, M., MORENO, D. A., MARCELINO, I. P. V. O., MARCELINO, E. V., GONÇALVES, E. F., ... & RUDORFF, F. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos.** Curitiba: Organic Trading, 2006.

MARCHI, L.; BORGA, M.; PRECISO, E.; GAUME, E. **Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management.** Journal Of Hydrology 394: 118-133, 2010.

MONTZ, B. & GRUNTFEST, E. **Flash flood mitigation: recommendations for research and applications.** Environmental Hazards 4: 15-22, 2002.

NEDEL, A.; SAUNSEN, T. **Análise das inundações bruscas ocorridas na região Sul do Brasil no período 1980-2009.** Ciência e Natura, UFSM 34(1): 112-129, 2012.

NORBIATO, D.; BORGA, M., DINALE, R. **Flash flood warning is ungauged basins by use of the flash flood guidance and model-based runoff tresholds.** Meteorological Applications 16: 65-75, 2009.

PAZ, A.; COLLISCHONN,W.; RISSO,A.; MENDES, C. **Errors in river lenghts derived from raster digital elevation models.** Computers & Geosciences 34: 1584-1593, 2008.

PELLING, M., MASKREY, A., RUIZ, P., HALL, L., PEDUZZI, P., DAO, Q. H. & KLUSER, S. **Reducing disaster risk: a challenge for development**, United Nations Development Programme, Nova Iorque. 2004.

Projeto Taquari Antas CEPED-RS. Disponível em :<<http://www.ufrgs.br/ufrgs/noticias/bacia-hidrografica-taquari-antas-e-alvo-de-estudo-sobre-prevencao-de-desastres> > Acesso: 19/10/2014

ROZALIS, S.; MORIN, E.; YAIR, Y.; PRICE, C.; **Flash flood prediction using an uncalibrated hydrological model and radar rainfall data in a Mediterranean watershed under changing hydrological conditions**. Journal Of Hydrology 394: 245-255, 2010.

RUIN, I.; CREUTIN, J.; ANQUETIN, S.; LUTOFF, C. **Human exposure to flash floods- Relation between flood parameters and human vulnerability during a storm of September 2002 in Southern France**. Journal of Hydrology 361: 199-213, 2008.

SENE, K.. **Flash floods: forecasting and warning**. Springer, 2012.

SILVEIRA, A. **Desempenho de Fórmulas de Tempos de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais**. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos 10: 5-23, 2005.

TUCCI, C. E., BARROS, M. T., & PORTO, R. L. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 1995.

VARNES, D.J. **Landslide Hazard Zonation: Review of Principles and Practice**. UNESCO Press, Paris. 56 p, 1984.

World Meteorological Organisation. **Guide to hydrological practices volume II: management of water resources and application of hydrological practices** 6º edição, WMO- n° 168, Genebra, 2009.