

IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A ALAGAMENTOS NO MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL

IDENTIFICATION AND MAPPING OF AREAS SUSCEPTIBLE TO FLOODING IN CAXIAS DO SUL

Robson Tadeu Bolson¹ e Anderson Matos Teixeira²

Engenheiro Ambiental, Servidor da Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de Caxias do Sul.

E-mail: montagens.robson@gmail.com

Dr. em Ciência Política. Responsável pela implantação da Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de Caxias do Sul. E-mail: amatosteixeira@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho apresenta o estudo desenvolvido para auxiliar a Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil (COMPDEC) de Caxias do Sul, na identificação de áreas suscetíveis a eventos de alagamento no município. Foram utilizadas a base de dados da COMPDEC de Caxias do Sul extraídas do serviço de atendimento ao cidadão (Alô-Caxias) para a realização do mapeamento das áreas com ocorrência de alagamentos na cidade, no período de 2013 a 2018, que conforme as informações levantadas, registraram 317 ocorrências em diferentes pontos do perímetro urbano. A identificação de possíveis áreas de alagamentos foi realizada com utilização de uma variação dos métodos *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e de Análise Multicriterial (AM). Para a realização da comparação entre os pontos com registros de ocorrência, foram selecionadas para análise, as informações de hipsometria, declividade, hidrografia, impermeabilização superficial e imagem tridimensional gerada através do software de geoprocessamento Qgis, resultando na identificação de 14 áreas suscetíveis a alagamentos no município. Estas áreas possuem características de relevo mais planas com declividades menores que 25% e circundadas por áreas com altitude mais elevadas e declividades maiores que 50%. Os dados pluviométricos analisados foram extraídos do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas a Desastres Naturais (Cemaden), e indicam que os alagamentos normalmente ocorrem após chuvas que variam de 13 mm à 24 mm em um espaço de tempo de 1 hora, ou após chuvas com volume de 17 mm a 46 mm em um período de tempo de 2 horas. A validação dos resultados em campo indicou que a metodologia desenvolvida e utilizada neste estudo teve eficácia de 64%, demonstrando a necessidade de ajustes e análise de outros critérios para que seja possível determinar com maior certeza áreas com risco de alagamento no perímetro urbano do município.

Palavras-chave: Risco de alagamento. Mapeamento. Identificação.

ABSTRACT

This paper presents the study developed to assist Municipal Coordination of Civil Defense and Protection (COMPDEC) of Caxias do Sul in the identification of areas susceptible to flooding events in the municipality. The COMPDEC database from Caxias do Sul, extracted from the Citizen Assistance Service (Alô-Caxias), was used for the mapping of areas with flooding in the city, from 2013 to 2018, which according to the information collected, recorded 317 occurrences in different points of the urban perimeter. Identification of possible areas of flooding was performed using a variation of the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Multicriterial Analysis (AM) methods. In order to compare the points with occurrence records, the following data were selected for analysis: hypsometry, slope, hydrography, surface sealing and three-dimensional image generated by the Qgis geoprocessing software, resulting in the identification of 14 areas susceptible to flooding. County. These areas have flatter relief features with slopes less than 25% and surrounded by areas with higher elevations and slopes greater than 50%. The rainfall data analyzed were taken from the National Center for Monitoring and Alerts for Natural Disasters (Cemaden), and indicate that flooding usually occurs after rainfall ranging from 13 mm to 24 mm within 1 hour, or after rainfall with volume from 17 mm to 46 mm over a time period of 2 hours. The validation of the field results indicated that the methodology developed and used in this study was 64% effective, demonstrating the need for adjustments and analysis of other criteria so that it is possible to determine with greater certainty areas with risk of flooding in the urban perimeter of the municipality.

Keywords: Risk of flooding. Mapping. Identification.

1. INTRODUÇÃO

O fenômeno da ocorrência de alagamentos nos centros urbanos, podem ocasionar diversos impactos negativos para a população residente nestas áreas, afetando a mobilidade e em muitos casos até a integridade física das pessoas. Tal fenômeno pode impactar a área econômica das cidades, provocando a interrupção das atividades produtivas em virtude de alagamentos em áreas industriais e comerciais do município, também pode provocar a interrupção de algum acesso viário, não permitindo o deslocamento dos trabalhadores e o escoamento da produção. Em situações extremas os alagamentos podem provocar vítimas fatais, seja pela dinâmica do processo, ou pelo aumento do risco de contaminação da população, quando exposta por um tempo prolongado a agentes nocivos à saúde.

A ocorrência de alagamentos em áreas urbanizadas, normalmente ocorre em razão de fatores climáticos que podem ocasionar elevados índices pluviométricos, podendo ser agravado por aspectos estruturais da área afetada, entre eles, a impermeabilização do solo e a drenagem urbana inadequada, que é entendida como o conjunto de ações que visam a redução dos riscos referentes às enchentes, bem como à redução dos prejuízos causados por elas (TUCCI et al., 2007). A combinação entre solo impermeabilizado e drenagem ineficiente, causa o rápido afastamento das águas e propicia a combinação dos fenômenos de enxurradas e alagamentos, principalmente em áreas urbanas acidentadas, como ocorre no Rio de Janeiro, Belo Horizonte e em cidades serranas, o que torna os danos ainda mais severos (CASTRO, 2003).

Os alagamentos são mais frequentes nas cidades mal planejadas ou que apresentaram elevadas taxas de crescimento em um curto espaço de tempo, onde a realização de obras de drenagem e de esgotamento de águas pluviais não acompanharam com a mesma velocidade as necessidades do local, assim, os sistemas de drenagem são altamente impactados e sobressaem-se como um dos problemas mais sensíveis causados pela urbanização sem planejamento, ou seja, o que mais facilmente comprova a sua ineficiência imediatamente após as precipitações significativas, com transtornos à população quando causa inundações e alagamentos (FUNASA, 2006).

Alagamentos são a extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e consequente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas (REF). Difere-se de inundação uma vez que ela é caracterizada pela submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas, e enxurradas pelo escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado.

Caxias do Sul é o 2º município do estado do Rio Grande do Sul com maior número de habitantes, segundo estimativas do IBGE (2018), a cidade, possui uma população de cerca de 504.000 pessoas. Em 2010 o Censo contabilizou mais de 419.000 pessoas residindo na área urbana do município (IBGE, 2010). Nos últimos anos, a cidade passou por um processo de crescimento relativamente rápido, e isto acarretou usos e ocupações do solo inadequados e sem planejamento, forçando o avanço sobre áreas desvalorizadas, ambientalmente frágeis e suscetíveis a desastres naturais, que em muitos casos encontram-se em situação irregular com o poder público, causando entraves legais e dificultando a ação dos órgãos responsáveis.

Segundo dados do Alô-Caxias (2018), serviço de atendimento ao cidadão, que recebe, entre outras, as demandas de eventos alagamentos e enxurradas ocorridos no município, de 2013 a 2018 foram registrados mais de 300 casos de alagamentos e enxurradas na área urbana da cidade.

Os resultados esperados com a realização dos objetivos propostos é o de criar uma base de dados que contribua para construção de planos e ações preventivas e corretivas nas áreas identificadas, bem como entender a dinâmica da correlação das variáveis que desencadeiam os processos de alagamentos na zona urbana da cidade de Caxias do Sul.

A dinâmica do processo de ocorrência deste tipo de evento se relaciona com diversos fatores geográficos, ambientais e climatológicos e frequentemente ocorrem nas cidades mal planejadas ou que apresentam um crescimento abrupto, dificultando a realização de obras de drenagem e de esgotamento de águas pluviais. Também é comum a combinação dos fenômenos de enxurrada e alagamento em áreas

urbanas acidentadas, O Manual de Desastres Naturais (2003) desenvolvido pelo Ministério das Cidades, caracteriza os alagamentos como:

Águas acumuladas no leito das ruas e nos perímetros urbanos por fortes precipitações pluviométricas, em cidades com sistemas de drenagem deficientes. Nos alagamentos o extravasamento das águas depende muito mais de uma drenagem deficiente, que dificulta a vazão das águas acumuladas, do que das precipitações locais” (DESASTRES NATURAIS, 2003).

Ainda, segundo o Manual, este tipo de fenômeno relaciona-se com redução da infiltração natural nos solos urbanos, provocada pela compactação e impermeabilização do solo; pavimentação de ruas e construção de calçadas que reduzem a superfície de infiltração; construção adensada de edificações que contribuem para reduzir o solo exposto e concentrar o escoamento das águas; desmatamento de encostas e assoreamento dos rios que se desenvolvem no espaço urbano; acumulação de detritos em galerias pluviais, canais de drenagem e cursos d’água; insuficiência da rede de galerias pluviais (DESASTRES NATURAIS, 2003).

As ocorrências de alagamentos nas áreas urbanas normalmente provocam danos materiais e humanos, podendo ser mais severos dependendo da magnitude e intensidade do evento.

2. DINÂMICA DE EVENTOS DE ALAGAMENTOS

As áreas suscetíveis a alagamentos, enxurradas e inundações, normalmente são localizadas em regiões onde exista a presença de corpos hídricos, que em períodos de estiagem, as águas que compõem esses corpos hídricos, podem restringir-se ao leito menor ou leito vazante e em alguns casos a seca pode provocar uma diminuição do volume d’água do canal deixando-o abaixo do leito vazante, definido como aquele que está encaixado no leito menor, que acompanha a linha de maior profundidade do talvegue, sendo responsável pelo escoamento das águas na época de estiagem. Os terraços fluviais são morfologicamente superfícies planas a levemente inclinadas, no qual representam antigas planícies aluviais abandonadas (PEDRO et al., 2012). A Figura 1 apresenta um esquema de uma região fluvial de um curso hídrico.

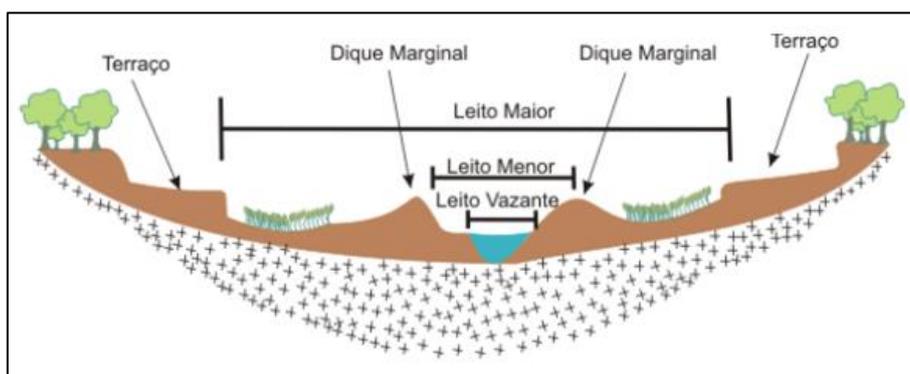


Figura 1 - Esquema de uma área fluvial.

Conforme já descrito, esses fenômenos são acelerados e intensificados por meio da intervenção antrópica, cujas atividades promovidas pelo ser humano, principalmente devido a impermeabilização da superfície e a ocupação da planície de inundações aumentam o escoamento superficial provocado pela chuva, que atinge os cursos d’água acelerando o processo de enchente e inundações, podendo provocar alagamento (devido à ineficiência da drenagem urbana) (PEDRO et al., 2012). A Figura 2 apresenta uma região de planície de inundações de um curso hídrico antropizada, enquanto a Figura 3 apresenta o efeito de uma cheia nesta mesma região.

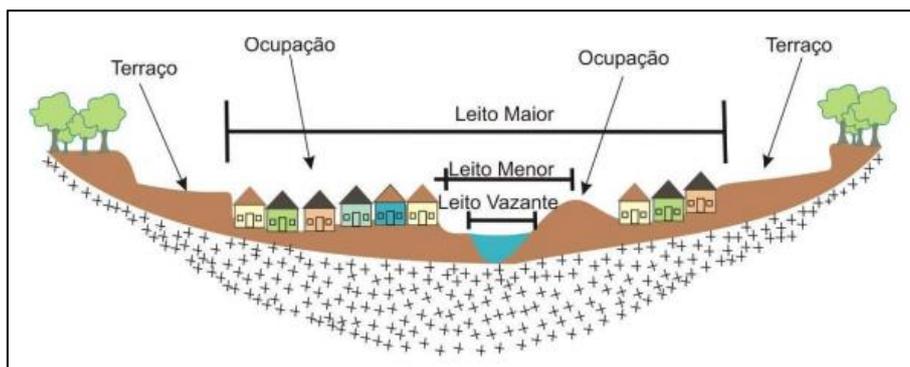


Figura 2 - Esquema das alterações na área da planície de inundação de um curso de água

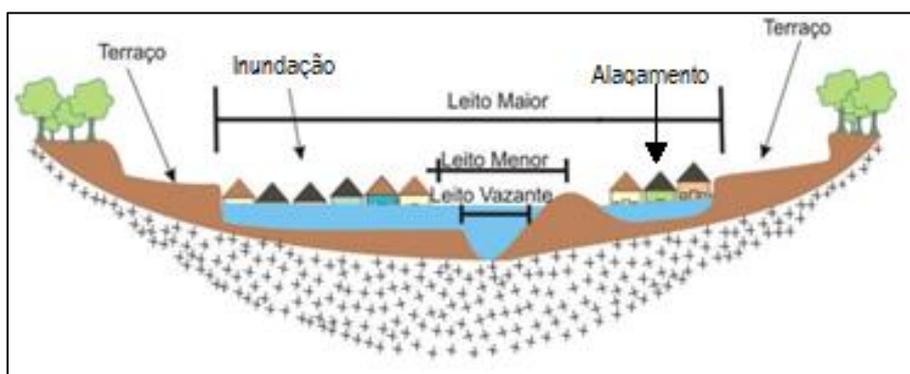


Figura 3 - Esquema dos impactos causados por um evento de cheia em uma planície fluvial antropizada

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para identificar possíveis pontos de risco de alagamentos na área urbana do Município de Caxias do Sul foi baseada nos trabalhos realizados por Demori (2018), Caprario (2017) e Fernandes (2016). Estes trabalhos utilizaram uma variação dos métodos *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e de Análise Multicriterial (AM).

Resumidamente, segundo Fernandes (2016), a AM é definida por uma álgebra de mapas, que utiliza uma sequência de funções para atingir uma análise complexa de mapas, atribuindo pesos que são estabelecidos a cada variável, de acordo com o objetivo proposto.

Segundo Fernandes (2016) apud Santos, Louzada e Eugenio (2010), a etapa de escolha dos valores, baseados na escala de comparação, é considerada um dos momentos mais importantes de todo o processo de construção do mapa de risco de inundação, pois é neste instante que se define o grau de importância de cada fator. Dessa forma, os autores propõem que sejam adotados um ou mais dos seguintes procedimentos:

- ao comparar um impacto ambiental com o outro, o pesquisador pode, simplesmente com base em sua experiência e em visitas de campo, definir a escala de importância;
- o pesquisador pode, por meio de levantamento bibliográfico, definir qual impacto possui mais importância que outro; e
- uma equipe multidisciplinar, trabalhando em conjunto, com visitas de campo e debates, por exemplo, pode definir a escala que mais se aproxima da realidade.

O método AHP considera o uso de informação aliado a experiência para estimar magnitudes relativas através de comparações par a par. Para a tomada de decisões, o conhecimento e vivência pessoal são tão valiosos quanto os dados utilizados, este método é baseado em três princípios: a construção de uma hierarquia, a definição de pesos e a consistência lógica (DEMORI, 2018).

O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) foi desenvolvido por Tomas L. Saaty no início da década de 70 e é o método de multicritério mais amplamente utilizado e conhecido no apoio à tomada

de decisão na resolução de conflitos negociados, em problemas com múltiplos critérios. Este método baseia-se no modelo newtoniano e cartesiano de pensar, que busca tratar a complexidade com a decomposição e divisão do problema em fatores, que podem ainda ser decompostos em novos fatores até ao nível mais baixo, claros e dimensionáveis e estabelecendo relações para depois sintetizar. Dessa forma, segundo Costa (2002) este método baseia-se em três etapas de pensamento analítico:

1º). Construção de hierarquias: no método AHP o problema é estruturado em níveis hierárquicos, o que facilita a melhor compreensão e avaliação do mesmo. Para a aplicação desta metodologia é necessário que tanto os critérios quanto as alternativas possam ser estruturadas de forma hierárquica, sendo que no primeiro nível da hierarquia corresponde ao propósito geral do problema, o segundo aos critérios e o terceiro as alternativas. A ordenação hierárquica possibilita ao tomador de decisão ter uma “visualização do sistema como um todo e seus componentes, bem como interações destes componentes e os impactos que os mesmos exercem sobre o sistema”. E a compreender de forma global, o problema e da relação de complexidade, ajudando na avaliação da dimensão e conteúdo dos critérios, através da comparação homogênea dos elementos (MARINS et. al, 2011).

2º). Definição de prioridades: fundamenta-se na habilidade do ser humano de perceber o relacionamento entre objetos e situações observadas, comparando pares, à luz de um determinado foco, critério ou julgamentos paritários (MARINS et. al, 2011).

3º). Cálculo das prioridades globais: nesta etapa deseja-se identificar um vetor de prioridades global, que armazene a prioridade associada a cada alternativa em relação ao foco principal estabelecendo relações entre objetos ou ideias de forma que elas sejam coerentes, tal que estas se relacionem bem entre si e suas relações apresentem consistência (MARINS et. al, 2011).

O histórico das informações dos pontos de alagamentos foi obtido através do banco de dados do serviço de atendimento ao cidadão do Município de Caxias do Sul, denominado Alô-Caxias, que é o sistema responsável por receber as demandas diretas dos cidadãos. As informações correspondem ao período de outubro de 2013 a junho de 2018, neste intervalo foram registradas 317 ocorrências em diferentes pontos do perímetro urbano. Os dados foram organizados conforme a data e local das ocorrências registradas pelo serviço de atendimento municipal, posteriormente foi elaborado um mapa com os pontos identificados, os quais foram utilizados para comparar o local onde ocorreram estes eventos com possíveis locais de risco. A Figura 4 apresenta o mapa com os pontos identificados com registro de alagamento na cidade.

Os dados de precipitação foram utilizados para quantificar o volume de chuva que resultou na ocorrência dos eventos de alagamentos registrados pelo serviço municipal. As informações pluviométricas utilizadas neste estudo foram obtidas através do banco de dados do CEMADEN. Estes dados foram organizados de forma que representem os acumulados de chuva das 24 horas anteriores ou no dia do evento.

Para verificar a influência do relevo e uso do solo nas áreas onde foram registradas ocorrências de alagamentos e identificar as áreas suscetíveis a estes eventos, foram analisados os dados de hipsômetria e declividade construídos através de imagens SRTM e geoprocessadas no software QGis, impermeabilização superficial avaliada através de imagem disponíveis no sistema GEO-Caxias, além, de imagem tridimensional gerada através do software de geoprocessamento Qgis. O mapeamento dos corpos hídricos foi obtido através da base de dados da FEPAM e também da base de dados do setor de georreferenciamento do município de Caxias do Sul.

De posse destas informações foi criada uma matriz para correlacionar o peso que cada um dos fatores avaliados tem sobre a ocorrência de alagamentos e desta forma foi possível identificar áreas potencialmente de risco.

Os fatores de influência para a ocorrência de alagamentos são identificados por: Altimetria/Hipsômetria; Declividade; Hidrografia; e Impermeabilização superficial do solo.

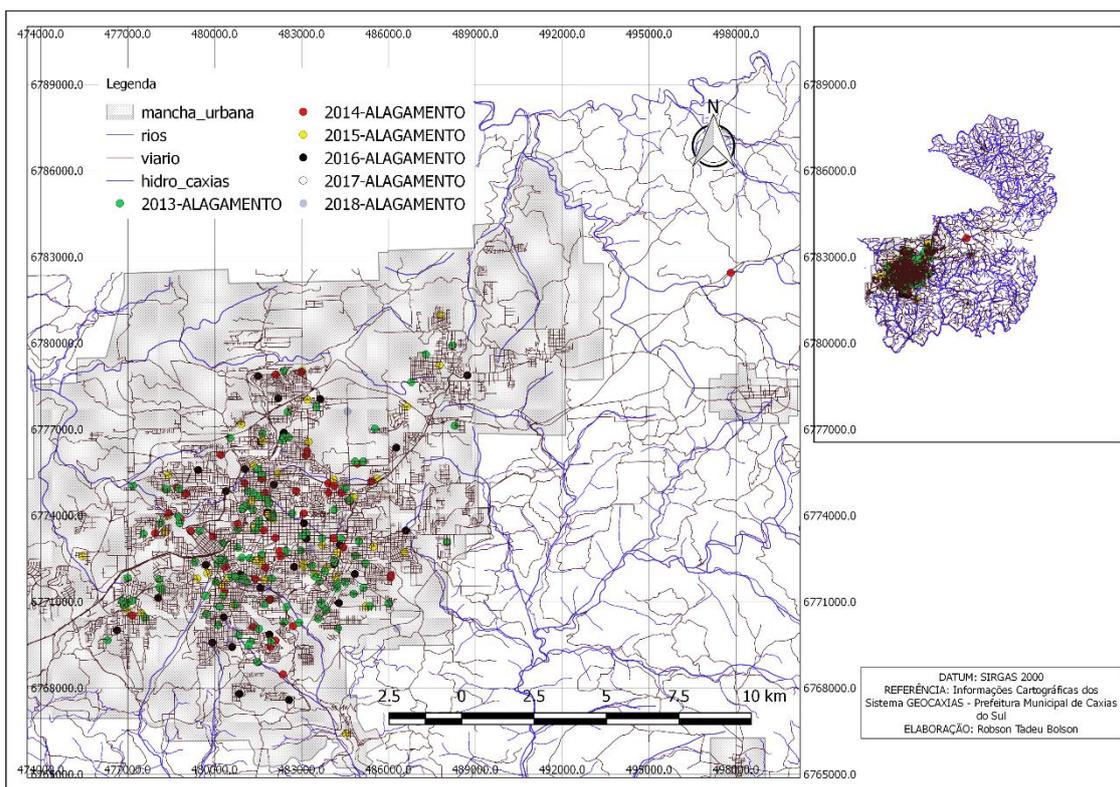


Figura 4 - Mapeamento dos pontos com registro de alagamentos no sistema Alô-Caxias

Tabela 1 – Áreas selecionadas como padrão de análise

ID	Bairro	Área	Declividade	Altimetria	Urbanizada	Ramos Hidrológicos	Pontos de registro de ocorrência
Área 1	Desvio Rizzo	174.000m ²	20%	740	Sim, com residências e ruas pavimentadas	não	5 (4-2013/1-2016)
Área 2	Esplanada/ Salgado Filho/ Nsa. Sra. Graças	149.000m ²	0%-50%	680-740	Sim, casas um pouco precárias e ruas com e sem pavimentação	Sim	5 (1-2013/3-2014/1-2016)
Área 3	Rio Branco	248.000m ²	0%-50%	720-760	Sim, com residências e ruas pavimentadas	Sim	7 (5-2013/1-2015/1-2016)
Área 4	Nsa. Sra. Lourdes/ Cristo Redentor	680.000m ²	>25%	740-780	Sim, com residências e ruas pavimentadas	Sim	11 (3-2013/2-2014/1-2015/3-2016/2-2017)
Área 5	Pio X	620.000m ²	>25%	740-760	Sim, com residências e ruas pavimentadas	Sim	9 (6-2013/1-2014/2-2015)
Área 6	Santa Catarina	587.000m ²	>25%	740	Sim, com residências e ruas pavimentadas	Não	7 (3-2013/3-2014/1-2016)

3.1. Padronização das áreas com histórico de alagamentos

Para identificação dos possíveis pontos de alagamento foi realizada a análise dos pontos onde historicamente ocorreram alagamentos no período de 2013 a 2018, avaliando os dados de declividade,

hipsômetria e hidrografia destes locais. Após foi gerada a modelagem tridimensional destas áreas e identificadas 12 locais semelhantes aos pontos com registros de alagamentos na série histórica. Posteriormente foram realizadas visitas a estas áreas identificadas através desta metodologia e avaliadas a existência de redes de drenagem e de características do local, bem como entrevistas com moradores da região para saber se nestes locais ocorrem alagamentos e com que frequência.

As possíveis áreas de alagamento escolhidas para validação do método consideram locais com relativo adensamento de casas, pois desta forma, considera-se também a magnitude do impacto bem como os danos e prejuízos que este provoca.

Foram escolhidas 6 áreas em diferentes pontos da cidade (Tabela 1), que registraram eventos de alagamentos no período de 2013 a 2018, para servirem de padrão. A seguir são descritos os fatores de influência que podem estar relacionados com a ocorrência de alagamentos nestas regiões.

3.2. Resultado da padronização das áreas

A análise do padrão da topografia das 6 áreas avaliadas demonstra que os alagamentos registrados no município de Caxias do Sul, ocorrem em regiões mais planas com declividades menores que 25% e circundadas por áreas com altitude mais elevadas e declividades maiores que 50%. Estes pontos onde existem registros formam pequenas regiões côncavas onde podem ocorrer o acúmulo de água após precipitações. Estas áreas também são ocupadas por moradias e possuem urbanização que provoca a impermeabilização do solo.

Após a avaliação dos resultados foram identificadas 14 regiões onde não houve registros de alagamentos no período de 2013 a 2018, mas que possuem características semelhantes com as 6 áreas analisadas onde ocorreram eventos de alagamento. A localização das 14 áreas com possíveis riscos de alagamento, bem como as 6 áreas escolhidas para avaliação das semelhanças características dos locais com registro de eventos alagamentos são apresentadas nas Figuras 5, 6 e 7. A Figura 5 apresenta o percentual de declividade das áreas utilizadas para comparação, bem como das 14 regiões escolhidas.

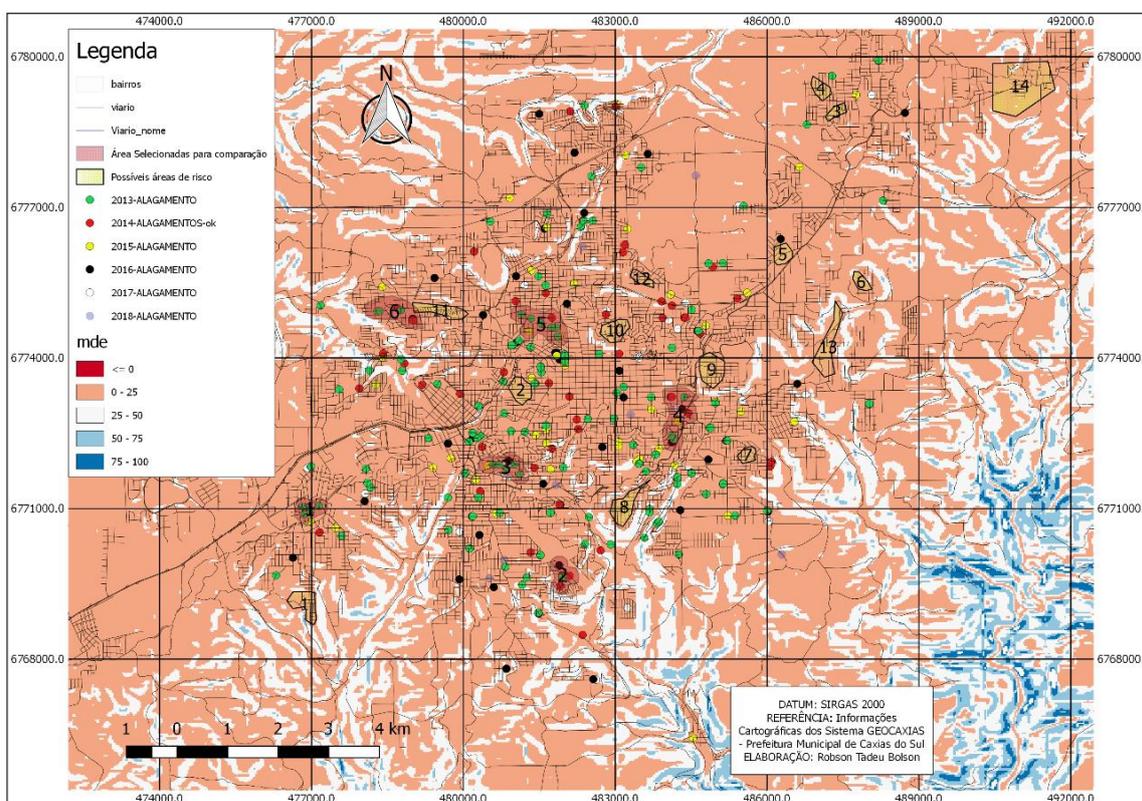


Figura 5 - Mapa de declividade das áreas comparativas e possíveis áreas com risco de alagamento

A hidrografia das áreas com ocorrência de alagamentos, das áreas comparativas e das regiões identificadas com risco de alagamentos avaliadas neste estudo é apresentada na Figura 6.

O fator da altimetria das áreas avaliadas neste estudo é apresentado no mapa hipsométrico Figura 7.

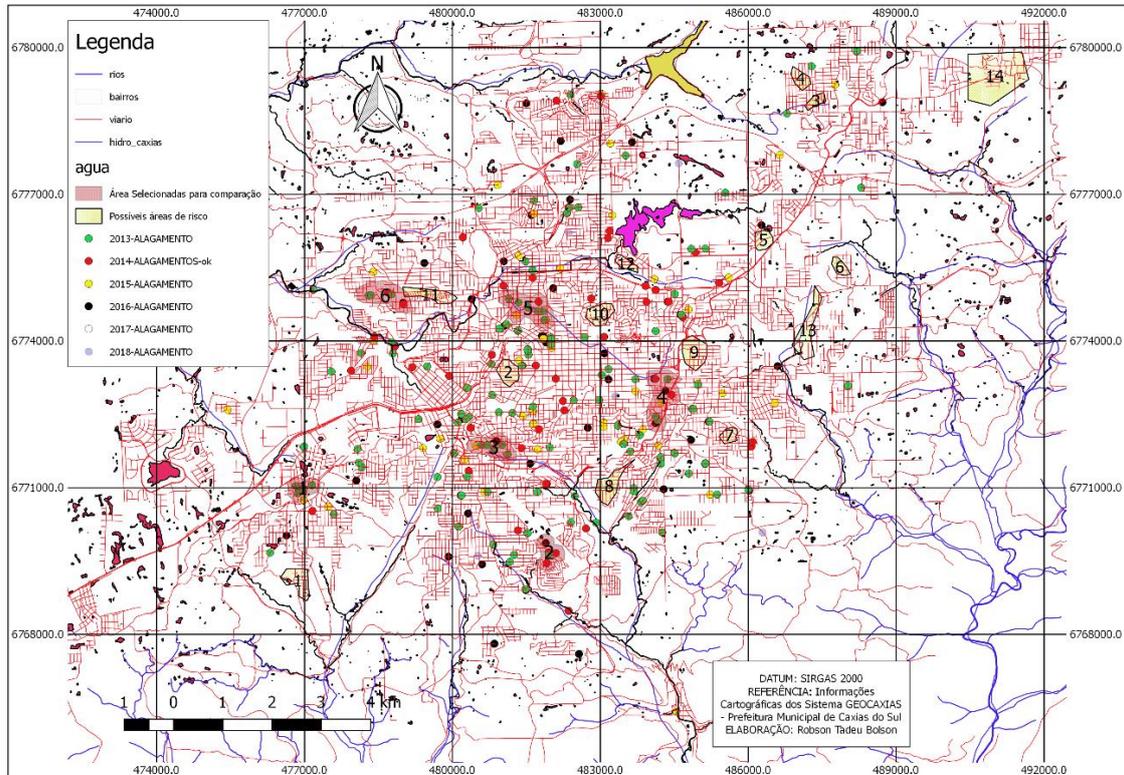


Figura 6 - Mapa hidrográfico da região de estudo

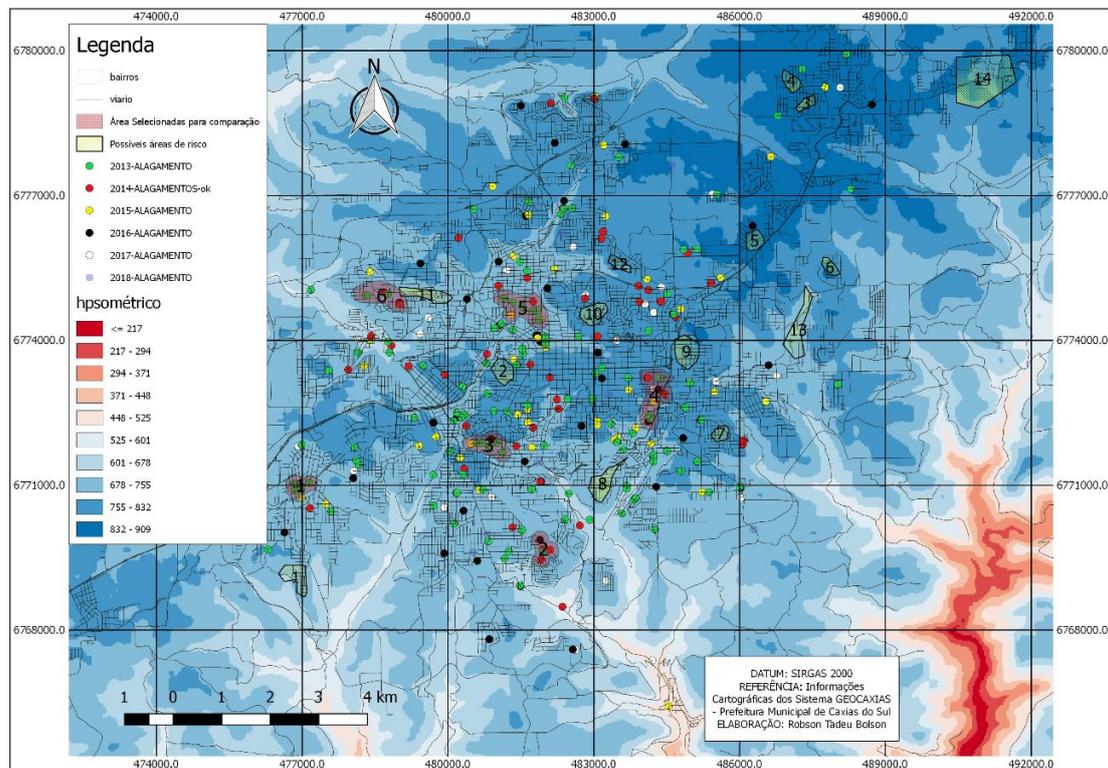


Figura 7 - Mapa hipsométrico da região de estudo

4. PRECIPITAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DAS CHUVAS

A ocorrência de alagamentos, além das condicionantes físicas do local, como drenagem, impermeabilização, altimetria e declividade, também está ligada com o volume de precipitação em determinado momento. Os alagamentos podem ocorrer após um período de chuvas prolongado, que contribui para a saturação do solo, diminuindo a velocidade e capacidade de infiltração e desta forma alagando a superfície de determinada área, como também pode ocorrer após um grande volume de chuvas em um curto espaço de tempo, sobrecarregando a capacidade natural de drenagem do local provocando alagamentos.

O clima da região de estudo pode ser classificado como subtropical muito úmido com invernos frios e verões frescos. Esta região possui a menor influência dos sistemas polares nas regiões do Estado do Rio Grande do Sul, porém exerce a maior atuação dos sistemas tropicais marítimos conjugados com o efeito do relevo de altitude, tendo os sistemas frontais como responsáveis pela maior parte das precipitações. A temperatura média anual varia entre 14 e 17°C, enquanto que a temperatura média do mês mais frio oscila entre 8 e 14°C e a temperatura média do mês mais quente varia entre 17 e 23°C (ROSSATO, 2011). A direção predominante dos ventos identificados na região do município de Caxias do Sul é Norte, apesar da aparente imprevisibilidade, o vento é resultante da circulação de massas de ar provocada pela energia radiante do Sol e pela rotação da Terra, sendo que o aquecimento desigual da superfície terrestre é o principal mecanismo atuante tanto a nível global (latitudes e ciclo dia/noite) quanto local (mar-terra, montanha-vale) (BELLADONA et. al, 2015).

Para avaliar o comportamento das precipitações que resultaram em registros de alagamentos no serviço municipal de atendimento ao cidadão (Alô-Caxias), foram utilizadas as bases de dados do sistema de monitoramento pluviométrico do CEMADEN do período de 2015 a 2018. Os registros para análise extraídos do sistema Alô-Caxias (2018), foram selecionados com base no número de ocorrências em um mesmo dia, relacionando o impacto das chuvas com a informação de alagamentos na cidade.

4.1. Registros de alagamentos selecionados em 2015

No ano de 2015 foram utilizadas as informações extraídas do serviço municipal de atendimento ao cidadão (Sistema Alô-Caxias) ocorridas nos meses de abril, julho, setembro e outubro, totalizando 19 registros em diferentes pontos da cidade. A seguir são apresentados os gráficos de precipitação dos dias onde ocorreram alagamentos, segundo os dados extraídos do serviço de atendimento ao cidadão.

No dia 20/04/2015 houve 2 registros de alagamentos informados ao sistema Alô-Caxias (2018). Conforme dados do CEMADEN (2018), ocorreu um pico de precipitação de cerca de 23mm num espaço de tempo de aproximadamente 1 hora. A Figura 8 apresenta o volume de precipitação em 24 horas registrado pelo sistema de monitoramento do CEMADEN (2018).

Entre os dias 14 e 16 de julho de 2015 foram registradas 4 ocorrências de alagamentos pelo serviço de atendimento ao cidadão (Alô-Caxias). No dia 14/07/2015 ocorreu um pico de precipitação de 15 mm em cerca de 1 hora. No dia 15/07/2015 ocorreu um pico de chuva de 10 mm em cerca de 2 horas e no dia 16/07/2015 houve um pico de 10 mm de chuva em pouco mais de 2 horas. As Figuras 9, 10 e 11, apresentam os volumes precipitados em 24 horas nos dias dos registros.

No dia 17/09/2015 foram registrados 8 eventos de alagamento no serviço municipal de atendimento ao cidadão em diferentes pontos da cidade. Neste dia ocorreu um pico de precipitação de cerca de 24mm em um espaço de tempo de aproximadamente 1 hora. A Figura 12 apresenta o volume de precipitação em 24 horas neste dia.

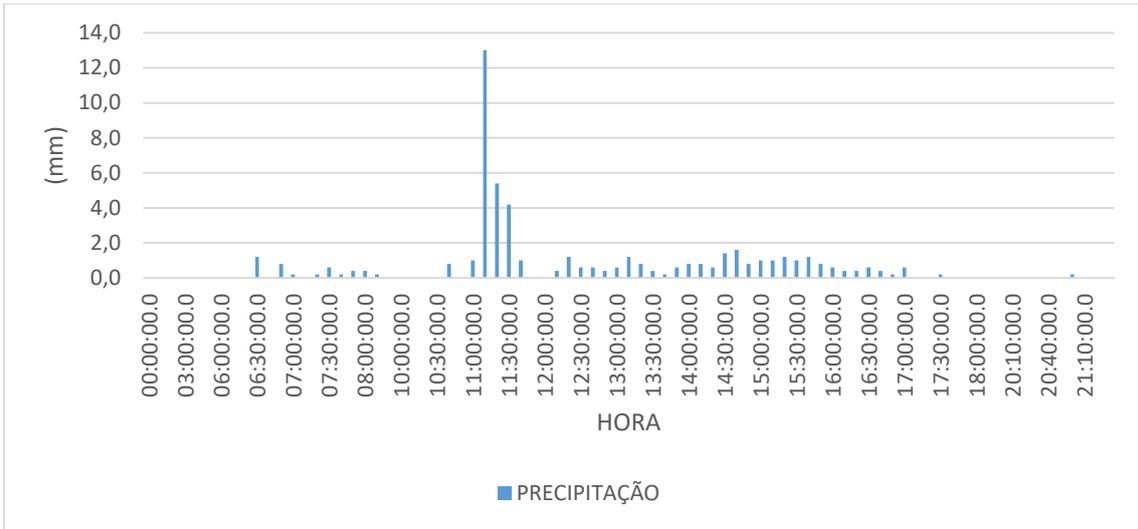


Figura 8 - Acumulados de precipitação de 24 horas no dia 20/04/2015

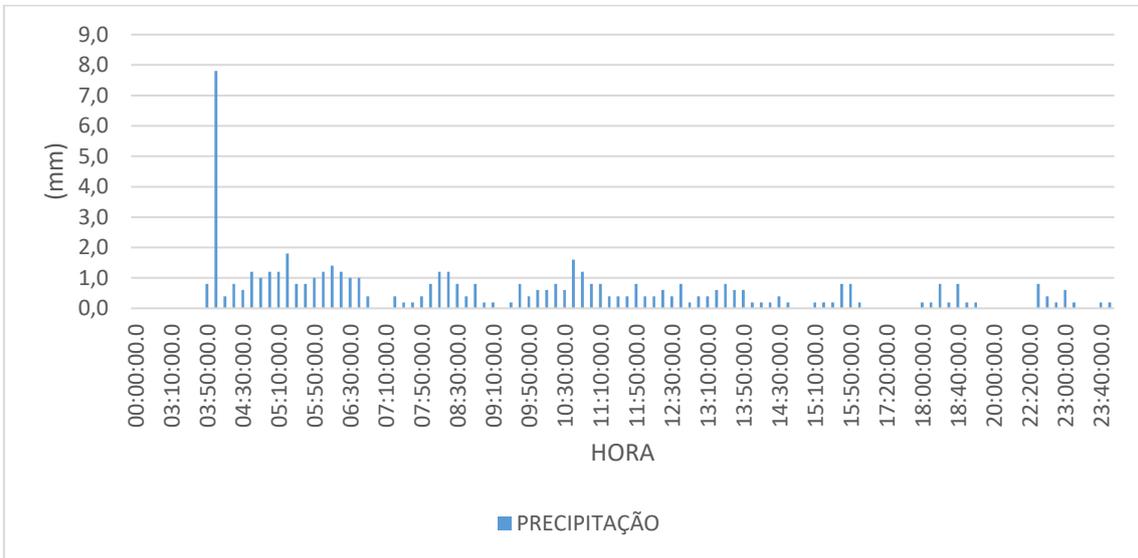


Figura 9 - Acumulados de precipitação de 24 horas no dia 14/07/2015

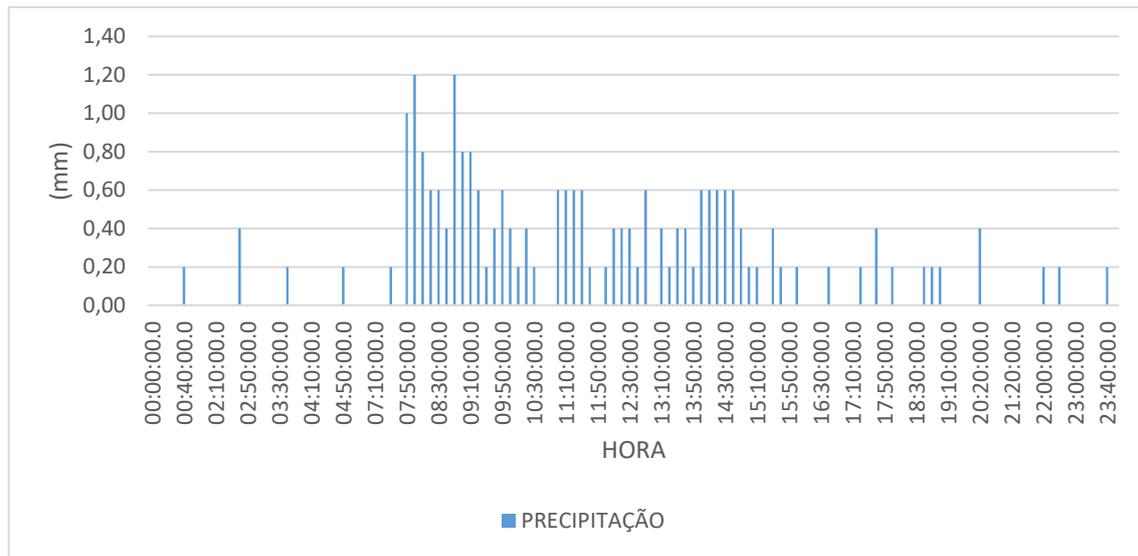


Figura 10 - Acumulados de precipitação de 24 horas no dia 15/07/2015

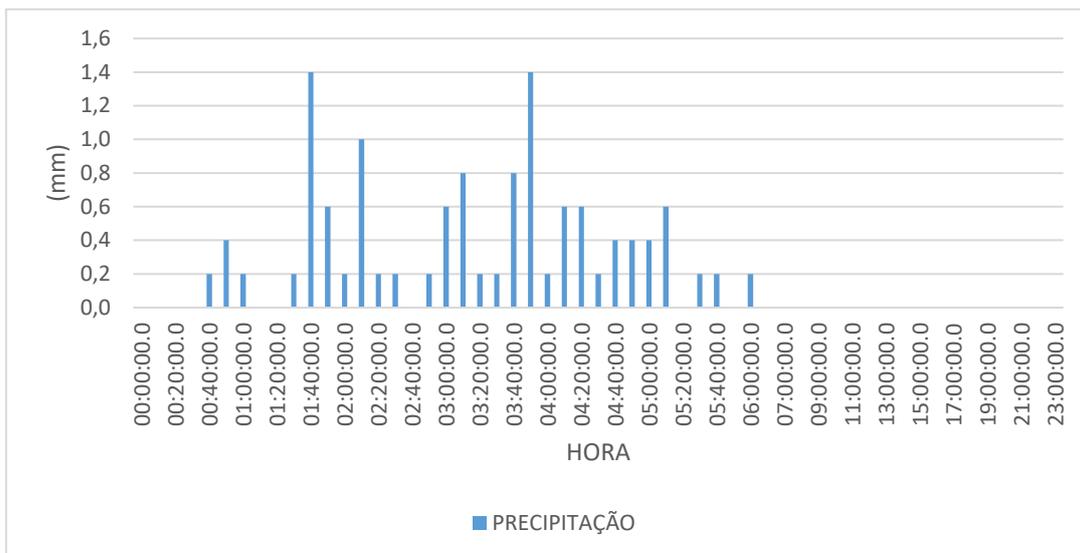


Figura 11 - Acumulados de precipitação de 24 horas no dia 16/07/2015

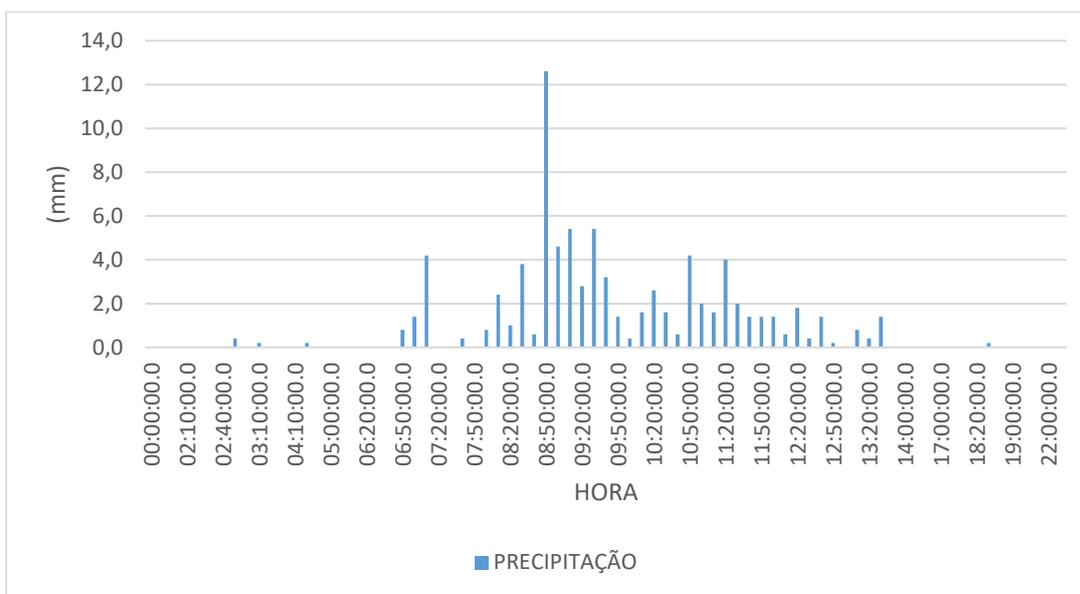


Figura 12 - Acumulados de precipitação de 24 horas no dia 17/09/2015

No dia 08/10/2015 foram registradas 5 ocorrências de alagamento no município. Neste dia houve 2 picos de maior precipitação. No primeiro foi registrado uma precipitação de cerca de 16mm em 1 hora, no segundo foi registrado cerca de 15mm em hora. A Figura 13 apresenta o volume das precipitações no dia 08/10/2015.

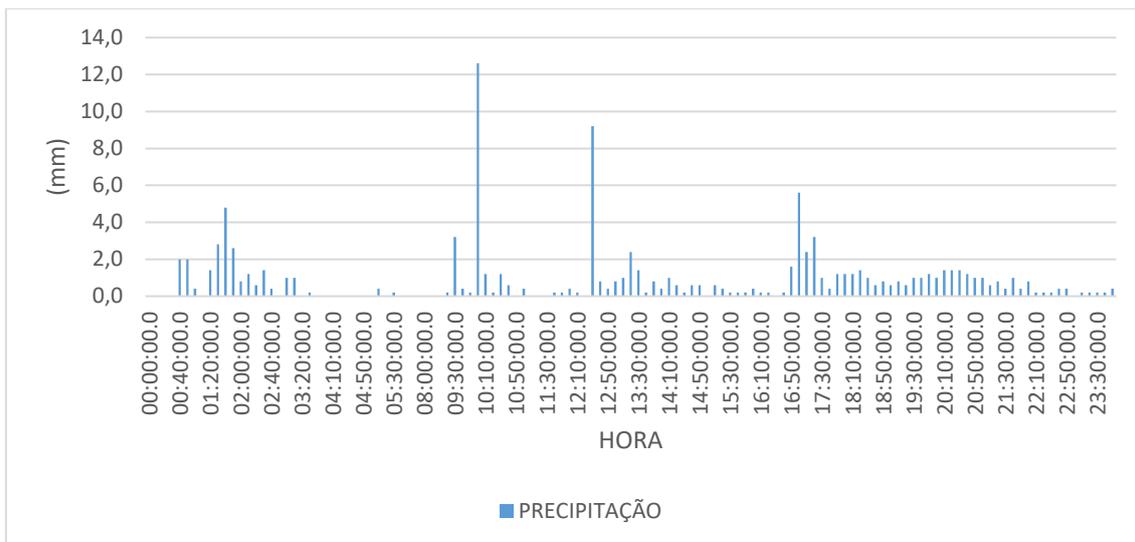


Figura 13 - Acumulados de precipitação de 24 horas no dia 08/10/2015

4.2. Registros de alagamentos selecionados em 2016

No ano de 2016, foram selecionados os eventos registrados nos meses de julho e outubro, que totalizaram 33 ocorrências em diferentes pontos da cidade. A seguir são apresentados os gráficos de precipitação dos dias onde foram registrados os eventos de alagamentos pelo serviço de atendimento ao cidadão denominado Alô-Caxias.

No dia 11/07/2016 foram comunicadas 18 ocorrências no serviço de atendimento ao cidadão. Segundo os dados do CEMADEN, neste dia, houve um pico de precipitação de cerca de 24mm, em um espaço de tempo de cerca de 2 horas. A Figura 14 apresenta o volume de precipitação no dia.

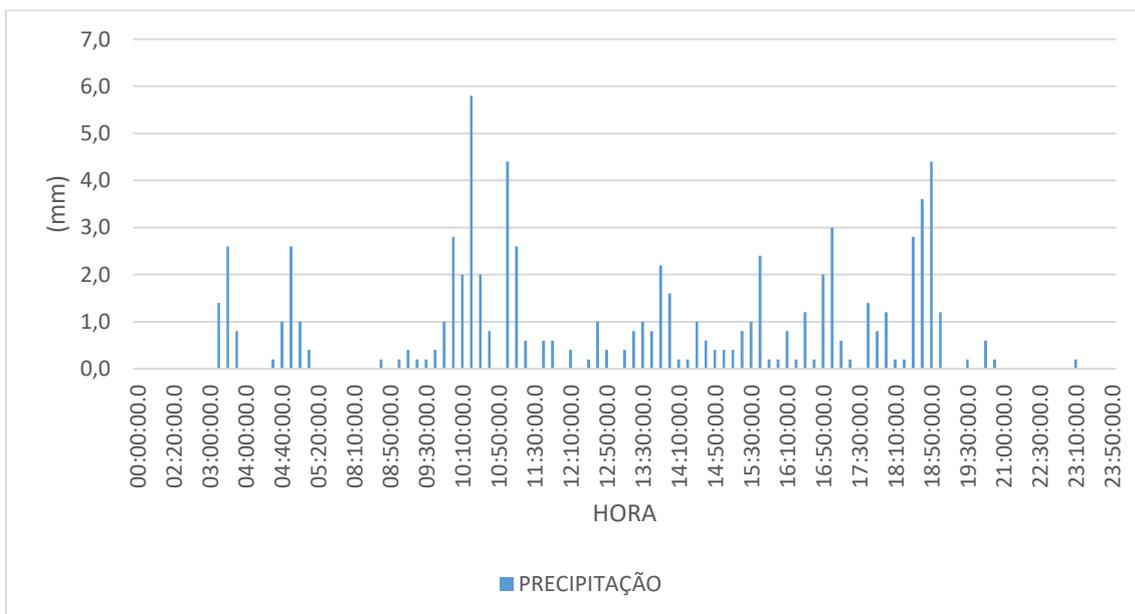


Figura 14 - Acumulados de precipitação de 24 horas no dia 11/07/2016

No dia 14/07/2016, houve 3 registros de alagamento na cidade, com um pico de precipitação de cerca de 17mm em um espaço de tempo de 2 horas, conforme apresentado na Figura 15.

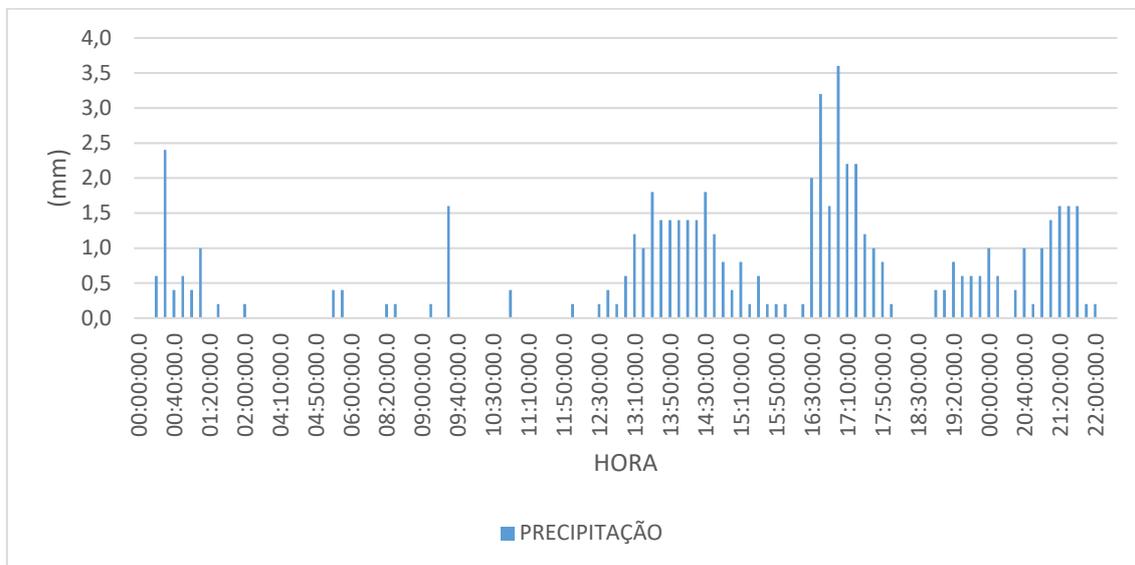


Figura 15 - Acumulados de precipitação de 24 horas no dia 14/07/2016

No dia 17/10/2016 o serviço de atendimento ao cidadão registrou 12 ocorrências de alagamentos em diferentes pontos da cidade. Neste dia, o sistema de monitoramento do Cemaden registrou 2 picos de precipitação. No primeiro foram cerca de 24mm em 2 horas e no segundo foram cerca de 46mm em 2 horas. A Figura 16 apresenta o comportamento da precipitação no dia.

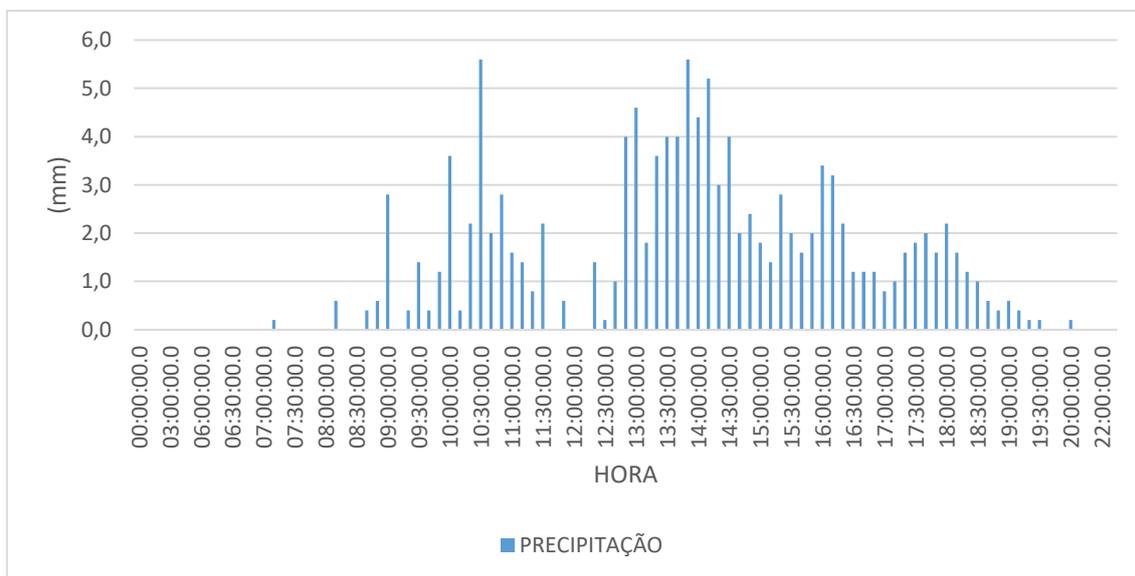


Figura 16 - Acumulados de precipitação de 24 horas 17/10/2016

4.3. Registros de alagamentos selecionados em 2017

Em 2017, foi comunicado ao serviço de atendimento ao cidadão a ocorrência de alagamentos nos meses de junho e outubro, que somaram 5 ocorrências em diferentes pontos da cidade. Os gráficos

de precipitação dos dias onde foram registrados os eventos de alagamentos pelo serviço de atendimento ao cidadão (Alô-Caxias), são apresentados a seguir.

No dia 08/06/2017 foi informado ao serviço de atendimento ao cidadão a ocorrência de 3 eventos de alagamentos em pontos diferentes da cidade. Neste dia o sistema de monitoramento pluviométrico do CEMADEN (2018), registrou 2 picos de precipitação pluviométrica. No primeiro, foram 17 mm de chuva em hora e no segundo foram 13 mm em uma hora, conforme pode ser observado na Figura 17.

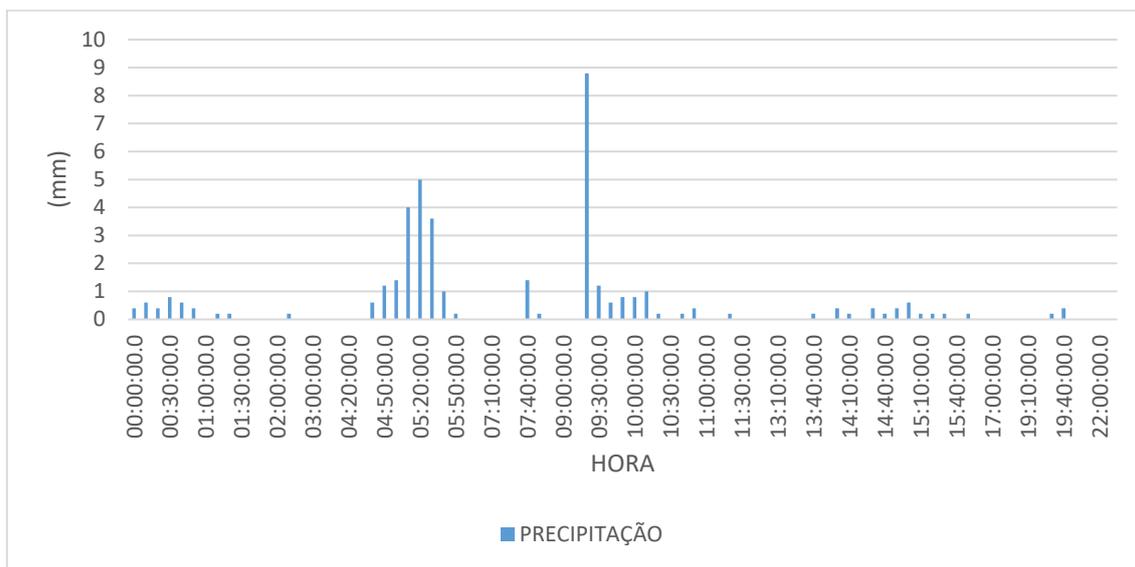


Figura 17 - Acumulados de precipitação de 24 horas 08/06/2017

No mês de outubro de 2017 houve 2 registros de alagamento no mesmo local, porém em datas diferentes. Os registros ocorreram nos dias 05/10 e 19/10. No dia 19/10/2017 registrou 28 mm de chuva em 24 horas. A Figura 18 apresenta os volumes precipitados no dia.

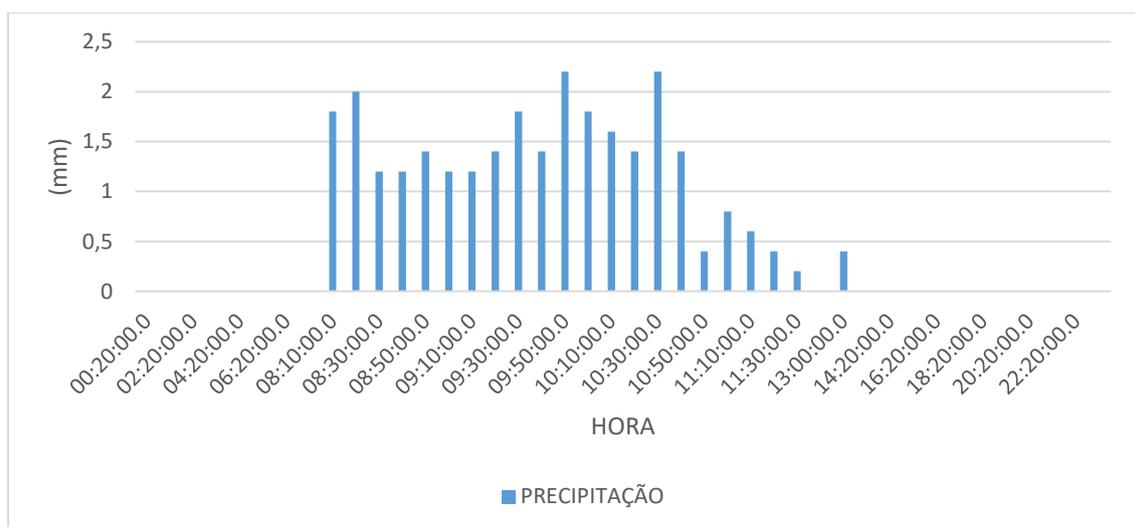


Figura 18 - Acumulados de precipitação de 24 horas no dia 19/10/2017

4.4. Registros de alagamentos selecionados em 2018

Em 2018 foi selecionado o dia 15 de março. Nesta data, foi comunicado ao serviço de atendimento municipal ao cidadão, 3 ocorrências de alagamento. No dia foi registrado pelo sistema de monitoramento pluviométrico do CEMADEN o volume de precipitação de 16 mm em um espaço de tempo de 1 hora, conforme apresentado na Figura 19.

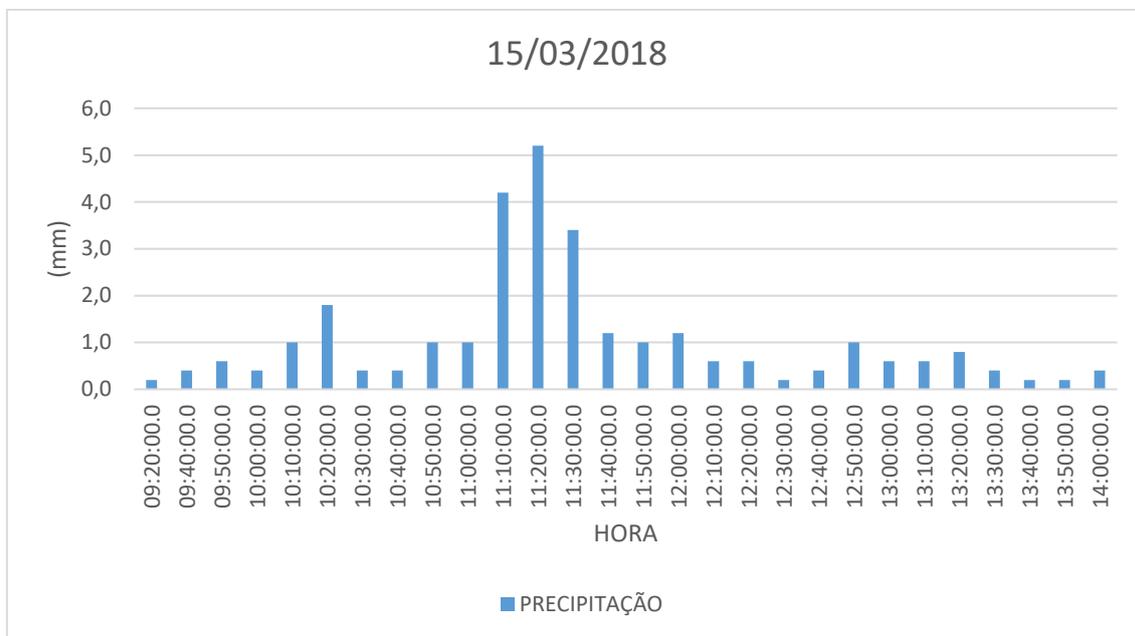


Figura 19 - Acumulados de precipitação de 24 horas no dia 15/03/2018

5. RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DAS PRECIPITAÇÕES

O comportamento das precipitações nos dias analisados demonstra que os alagamentos registrados no município ocorrem normalmente após chuvas que variam de 13 mm a 24 mm em um espaço de tempo de 1 hora, ou após chuvas com volume de 17 mm a 46 mm em um período de tempo de 2 horas. Este tipo de alagamento pode estar relacionado com a impermeabilização do solo e drenagem subdimensionada para drenar estes volumes pluviométricos.

6. RESULTADO DAS AVALIAÇÕES EM CAMPO DAS 14 ÁREAS IDENTIFICADAS COM POTENCIAIS RISCO DE ALAGAMENTOS

A validação do método para identificação de possíveis áreas de alagamento foi realizada através de visita aos locais previamente identificados com características semelhantes aos pontos com registros deste evento no serviço municipal de atendimento ao cidadão (Sistema Alô-Caxias).

Os dados obtidos com os moradores das áreas visitadas são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Dados dos locais visitados para validação do método

ÁREA	ENDEREÇO	RELATO	VAL.
ÁREA 1	Rua João Paranhos da Rocha, Desvio Rizzo	Moradores relatam que era uma região de banhado, sem registro de alagamento.	Não
ÁREA 2	Rua Irma Valiera, São Pelegrino	Moradores relataram alagamento em estacionamento privado nas ruas Irma Valiera e Sinimbu.	Sim
ÁREA 3	Rua Elipidio Pereira da Silva, Serrano	Segundo moradores local era ponto frequente de alagamentos.	Sim
ÁREA 4	Rua Tauribio Alexandre Vieira, Serrano	Morador relatou problema de alagamento devida drenagem insuficiente.	Sim
ÁREA 5	Rua Aimoré, São Ciro	Relato de alagamento em residências.	Sim
ÁREA 6	Rua Barão do Amazonas	Sem registro de ocorrências.	Não
ÁREA 7	Rua Veneto, Bela Vista	Segundo moradores ocorrem alagamentos frequentes no local.	Sim
ÁREA 8	Rua Lydia Lauer, Planalto	Segundo moradores, região de banhado no local que acumulava água.	Sim
ÁREA 9	Rua Ângelo Corso, Petrópolis	Relato de alagamentos em vias	Não
ÁREA 10	Rua Giacomo Capeletti, Madureira	Segundo Moradores, na região ocorrem alagamentos frequentes.	Sim
ÁREA 11	Rua Jacob Luchesi, Santa Catarina	Segundo trabalhadores, a região sofria com constantes alagamentos.	Sim
ÁREA 12	Rua Bolivar Pedrotti Melgare, Interlagos	Moradora relatou alagamento em sua residência	Sim
ÁREA 13	Rua João Brogliato, São Luiz	Sem registros de ocorrência	Não
ÁREA 14	Rua Padre Gerônimo Rossi, Ana Rech	Sem registros de ocorrência	Não

Fonte: O Autor (2018)

As imagens na Figura 20 apresentam os pontos nas áreas visitadas no município, que segundo os moradores, existe a ocorrência de alagamentos.



Figura 20 – Áreas com relato de alagamentos.



Figura 20 (continuação) – Áreas com relato de alagamentos

As visitas realizadas para validação do método proposto neste estudo resultaram na identificação de 9 áreas, que segundo o relato dos moradores destes locais, apresentam a ocorrência de alagamentos. Isso significa que o método teve uma eficácia de 64% na identificação de pontos de alagamento para o município de Caxias do Sul. As 5 áreas onde, segundo os moradores não ocorrem alagamentos, possuíam drenagem adequada e aspectos urbanísticos (arruamento, meio fio, bueiros, áreas sem impermeabilização) que evitam a ocorrência deste fenômeno.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O produto final do estudo foi satisfatório tendo em vista que seus resultados contribuíram para a identificação de áreas com potencial risco de alagamento. O mapeamento dos locais onde ocorrem historicamente estes eventos poderá ser utilizado como ferramenta de monitoramento destas regiões, bem como subsidiar o processo de escolha de futuros projetos que minimizem os impactos dos eventos de precipitação na cidade. As avaliações dos volumes precipitados no município de Caxias do Sul, pode ser um ponto de partida para prever com antecedência eventos pluviométricos com potencial de causar de alagamentos e desta forma alertar os moradores quanto ao risco.

Desta forma, é possível concluir que o método utilizado neste estudo é viável e válido, pois foi efetivo em identificar as áreas com ocorrência de alagamentos e apresenta baixo custo, já que não utiliza equipamentos e tecnologias sofisticadas para sua execução. Porém, é necessária a adoção de outros critérios para caracterização dos locais com registros de alagamento que possibilite aumentar a eficácia do método. A utilização do método em outras localidades dependerá de uma adaptação nas variáveis analisadas para que os resultados de eficácia sejam semelhantes e até superiores a este estudo.

Os resultados obtidos contribuíram para a identificação de áreas com potencial risco de alagamento. O mapeamento dos locais onde ocorrem historicamente estes eventos poderá ser utilizado como ferramenta de monitoramento destas regiões, bem como subsidiar o processo de escolha de futuros projetos que minimizem os impactos dos eventos de precipitação na cidade. As avaliações dos volumes precipitados no município de Caxias do Sul, pode ser um ponto de partida para prever com antecedência eventos pluviométricos com potencial de causar alagamentos e desta forma alertar os moradores quanto ao risco.

8. REFERÊNCIAS

ALÔ-CAXIAS. Disponível em:<<https://sac.caxias.rs.gov.br/>>. Acesso em 07/10/2018.

BELLADONA, Rossano; DE VARGAS, Tiago. **Distribuição espaço-temporal das precipitações e a relevância da orografia do município de Caxias do Sul (RS).** *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 69, n. 3, 2017.

BRASIL. **Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012.** Institui a política nacional de proteção e defesa civil-PNPDEC; dispõe sobre o sistema nacional de proteção e defesa civil-SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil-CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nos 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm>. Acesso em: 07/10/2018.

CAPRARIO, J. **Desenvolvimento de um instrumento para o mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos e inundações urbanas.** 2017. 223f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2017.

CASTRO, A. L. C. **Manual de desastres: desastres naturais.** Brasília (DF): Ministério da Integração Nacional, 2003. 182 p.

CASTRO, Antonio Luiz Coimbra de. **Glossário de Defesa Civil estudos de riscos e medicina de desastres.** 2. ed. Brasília, DF: Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC), 1998.

CAXIAS DO SUL. **Lei Complementar nº536, de 31 de julho de 2017**. Institui a Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil e dá outras providências. Disponível em: <<https://doe.caxias.rs.gov.br/site/janela/360>>. Acesso em: 07/10/2018.

_____. **Decreto nº 19.226, de 22 de novembro de 2017**. Regulamenta a Lei Complementar nº 536, de 31 de julho de 2017, que institui a Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil e dá outras providências.

CEMADEN. Trajber, Rachel et al. **Conceitos e termos para a gestão de riscos de desastres na educação**. pg. 14, 2017. Disponível em: <<http://educacao.cemaden.gov.br/site/mediaLibrary/MTAwMDAwMDAwMTg=>>

CEMADEN. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo/#>>. Acesso em 07/10/2018>.

Costa, Helder Gomes. **Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério no auxílio a decisão**. Niterói: H.G.C., 2002.

DEMORI, Klipp Morgana. **Mapeamento de áreas de risco de inundação para o município de Caxias do Sul-RS**. 2018. 94 p. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Ambiental - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2018.

ESTRATÉGIA INTERNACIONAL PARA LA REDUCCIÓN DE DESASTRES LAS AMÉRICAS. 2004. Disponível em: <<http://www.eird.org/esp/terminologia-esp.htm>>. Acesso em: 26 set. 2018.

ESTRATÉGIA INTERNACIONAL PARA REDUCCIÓN DE DESASTRES DE LAS NACIONES UNIDAS (UN/ISDR). **Terminología sobre reducción del riesgo de desastres**. Ginebra, Suíza: UN/ISDR, 2009. Disponível em: <<http://www.unisdr.org/publications/>>. Acesso em: 26 set. 2018.

FERNANDES, da Silva, Nadinne. **Mapeamento de áreas suscetíveis à inundação em Santa Maria, RS**. 2016. 105 p. Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Área de Concentração Análise Ambiental e Dinâmica Espacial - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), Santa Maria, 2016.

FUNASA – FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de saneamento: orientações técnicas**. 3. ed. rev. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. 408 p.

FURTADO, Janaína et al. Capacitação básica em defesa civil. **Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Pesquisa e Estudos sobre desastres. CEPED UFSC, 5º Edição**, Florianópolis 2013.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sinopse Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. 261 p.

MANUAL, DE DESASTRES. Desastres Naturais–vol. I. **Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Defesa Civil. Brasília-DF**, 2003.

MARINS, Cristiano Souza; SOUZA, Daniela de Oliveira; BARROS, Magno da Silva. **O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais—um estudo de caso**. XLI SBPO, v. 1, 2009.

PEDRO, Leda Correia; NUNES, João Osvaldo Rodrigues. A Relação entre processos morfodinâmicos e os desastres naturais: uma leitura das áreas vulneráveis a inundações e alagamentos em Presidente Prudente-SP. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 2, n. 34, p. 81-96, 2012.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAXIAS DO SUL. Disponível em; <<https://caxias.rs.gov.br/servicos/seguranca-publica/defesa-civil>>. Acesso em: 07/10/2018.

ROSSATO, M. S. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia.** Tese de doutorado. Porto Alegre: UFRGS/PPGEA, 240 p., 2011.

SCHMIDT, A. M. A. **Processo de apoio à tomada de decisão - Abordagens: AHP e MACBETH.** 1995. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 1995.

TUCCI, C. E. M. *et al.* **Hidrologia: ciência e aplicação.** 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS; ABRH, 2007.