

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**FERRAMENTA
COMPUTACIONAL PARA
PREDIÇÃO DE ALAGAMENTO
NA REGIÃO HIDROGRÁFICA
DA REDENÇÃO**

VAGNER MACEDO MARTINS

Plano de estudo e pesquisa apresentado
como requisito parcial à obtenção do grau
de Mestre em Ciência da Computação na
Pontifícia Universidade Católica do Rio
Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre de Morais Amory
Co-Orientador: Prof. Dr. Regis Alexandre Lahm

**Porto Alegre
2017**

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Ilustração da matriz do sistema de projeção UTM	19
Figura 2.2 – Ilustração de uma coordenada de fuso UTM	20
Figura 2.3 – Ilustração dos conceitos de alagamento, enchente e inundação	21
Figura 2.4 – Ilustração de uma Boca de Lobo	22
Figura 4.1 – Região de Porto Alegre Selecionada para a Pesquisa	37
Figura 4.2 – Ilustração da arquitetura geral	38
Figura 4.3 – Processo de normalização do MDH com o algoritmo HAND	40
Figura 4.4 – Cálculo da diferença de altura - HAND	41
Figura 4.5 – Ilustração da diferença entre um limiar maior e outro menor	41
Figura 4.6 – Ilustração das BL na Área de Estudo com os Registros de Alagamento	42
Figura 4.7 – Área de Contribuição de uma BL	43
Figura 4.8 – Avenida João Pessoa - Redenção	44
Figura 4.9 – Intensidade nos Últimos 60 Minutos no 4 dias de evento de alagamento estudados	46
Figura 4.10 – Precipitação Acumulada ao Longo do Dia	46
Figura 4.11 – Visualização do Mapa com Risco Alagamento	49
Figura A.1 – 10 Bocas de Lobo com Maior Recorrência de Registros de Alagamento	55
Figura A.2 – Quantidade de Eventos de Alagamento por Precipitação Máxima registrada no Dia do Alagamento	55
Figura A.3 – Máxima Precipitação Registrada em Cada Dia que Houve Ocorrência de Alagamento	56
Figura A.4 – Quantidade de Eventos de Alagamento Registrados por Ano na Área Estudada	57
Figura A.5 – Precipitação de Chuva Máxima por Valor Médio de HAND	58
Figura A.6 – Valor Máximo de HAND Atingido em cada Dia que Houve Ocorrência de Alagamento	59
Figura B.1 – Origem e Fonte das informações coletadas referentes aos registros de ala- gamento em Porto Alegre	61
Figura C.1 – Representação do diagrama entidade relacionamento	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Relação de desastre natural, número de evento e número de morte	23
Tabela 3.1 – Comparativo entre os trabalhos relacionados	31
Tabela 4.1 – Plano de trabalho para os próximos 12 meses do projeto	50

LISTA DE ABREVIATURAS

API. – Application Programming Interface

BL. – Boca de Lobo

DRY. – Don't Repeat Yourself

EPTC. – Empresa Pública de Transporte Coletivo

ER. – Entidade Relacionamento

GIS. – Geographic Information System

GPL. – General Public License

GPRS. – General Packet Radio Services

HAND. – Height Above the Nearest Drainage

INMET. – Instituto Nacional de Meteorologia

KISS. – Keep it Short and Simple

LDD. – Local Drain Directions

LTIG. – Laboratório de Tratamento de Imagens e Geoprocessamento

MDE. – Modelos Digital de Elevação

MDH. – Modelos Digital de Hidrologia

MDS. – Modelo Digital de Superfície

MDT. – Modelo Digital de Terreno

MNT. – Modelo Numérico de Terreno

NWS. – National Weather Service

OGC. – Open Geospatial Consortium

OSM. – OpenStreetMap

PSF. – Python Software Foundation

QGIS. – Quantum GIS

RAD. – Rapid Application Development

SGBD. – Sistema Gerenciador de Banco de Dados

SIG. – Sistema de Informação Geográfica

SQL. – Structured Query Language

SRTM. – Shuttle Radar Topographic Mission

UTM. – Universal Transversal de Mercator

WGS84. – World Geodetic System

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	ANÁLISE GEOESPACIAL	15
2.1.1	ESCALA NUMÉRICA	16
2.1.2	TIPOS DE DADOS	16
2.1.3	GEORREFERENCIAMENTO	18
2.1.4	SISTEMA DE COORDENADAS	18
2.1.5	SISTEMA DE PROJEÇÃO	19
2.2	REDUÇÃO DE RISCO DE DESASTRES	19
2.2.1	DESASTRES HIDROLÓGICOS (ALAGAMENTOS E INUNDAÇÕES)	20
2.2.2	SISTEMAS DE ALERTA	22
2.3	FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA RESILIÊNCIA URBANA	23
2.3.1	GEOTECNOLOGIAS	23
2.3.2	BANCO DE DADOS GEOESPACIAL	24
2.3.3	MACHINE LEARNING COM LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO PYTHON	25
2.3.4	SOFTWARE TERRAHIDRO	26
3	TRABALHOS RELACIONADOS	27
3.1	PROJETO SÃO PAULO	27
3.2	PROJETO IOWA	29
3.3	PROJETO ROTTERDAM	29
3.4	RESUMO	30
4	PROPOSTA DE PESQUISA	33
4.1	QUESTÃO DE PESQUISA	33
4.2	PROBLEMAS DE PESQUISA E PRINCIPAIS HIPÓTESES	34
4.2.1	DISCUSSÃO PRELIMINAR SOBRE AS HIPÓTESES	34
4.2.2	DISCUSSÃO PRELIMINAR SOBRE AS PERGUNTAS DE PESQUISA	35
4.3	OBJETIVO	35
4.4	METODOLOGIA DE PESQUISA	36
4.4.1	DADOS DE ENTRADA DO SISTEMA	38
4.4.2	ENRIQUECIMENTO DOS DADOS DE ENTRADA	45

4.5	RESULTADOS PRELIMINARES E PLANEJADOS	47
4.5.1	OBJETIVO ESPECÍFICO 1: DESENVOLVER APLICAÇÕES PARA ARMAZENAR OS DADOS	47
4.5.2	OBJETIVO ESPECÍFICO 2: EFETUAR UMA ANÁLISE EXPLORATÓRIA PRELIMINAR DOS DADOS	47
4.5.3	OBJETIVO ESPECÍFICO 3: CONSTRUIR ALGORITMOS COM TÉCNICAS DE CLASSIFICAÇÃO E DE REGRESSÃO.....	47
4.5.4	OBJETIVO ESPECÍFICO 4: APRESENTAR POR MEIO DE MAPA O ÍNDICE DE RISCO DE ALAGAMENTO	48
4.6	ATIVIDADES E PLANO DE TRABALHO	49
	REFERÊNCIAS	51
	APÊNDICE A – Análise Exploratória dos Dados	55
	APÊNDICE B – Fonte dos Dados dos Registro de Alagamento	61
	APÊNDICE C – Diagrama Entidade-Relacionamento	63
	APÊNDICE D – Relação e Descrição das Aplicações Desenvolvidas até o Momento	69

1. INTRODUÇÃO

Desastres hidrológicos são fenômenos de deslizamentos, inundações e alagamentos, relacionados com o excesso de água, que desafiam pesquisadores de todas as partes do mundo que trabalham no planejamento de cidades resilientes e inteligentes. A causa dos desastres hidrológicos está relacionada com fatores antrópicos e naturais. Causas antrópicas são reflexos da intervenção humana no ambiente que podem ser exemplificados pelo desordenamento territorial. Pesquisas indicam que o número de pessoas vulneráveis às inundações aumente devido à urbanização, ao crescimento populacional em planícies de inundação de rios, e taxa crescente de desmatamento. Causas naturais são relacionadas ao aumento de frequência e intensidade de fenômenos como chuvas e tempestades, às mudanças climáticas e ao possível aumento do nível do mar [40]. Os fenômenos de alagamentos, que são acúmulos de água em ruas ou residências relacionadas à ineficiência do sistema de drenagem das cidades, tendem a ser mais recorrentes devido ao aumento da frequência e intensidade das chuvas, já que quando as chuvas atingem a superfície terrestre, uma porção infiltra-se no solo e o restante escorre sobre a superfície. As regiões urbanizadas são mais propensas a alagamentos devido à extensa cobertura impermeável (e.g. asfalto) que reduz a infiltração de água e aumenta o escoamento superficial, sobrecarregando o sistema de drenagem urbana [25].

Consequentemente, segundo estudos sobre redução do risco de desastres e cidades resilientes à desastres, atualmente, eventos hidrológicos intensos são mais letais que furacões. As inundações afetam aproximadamente 520 milhões de pessoas em todo o mundo, anualmente, e resultam em até 25.000 mortes. Juntamente com os demais tipos de desastres relacionados à água, eles custam à economia mundial cerca de 50 a 60 bilhões de dólares por ano. Estima-se que 96% das mortes relacionadas com desastres naturais na última década tenham ocorrido em países em desenvolvimento, com capacidade limitada para prever e gerenciar desastres hidrológicos [40]. Já no caso dos alagamentos, os danos são intensificados em zonas de maior densidade urbana. O impacto na ocorrência de alagamentos em uma região urbanizada geralmente é maior do que nas áreas rurais por dois fatores: 1. Deficiência no tempo de resposta do sistema de drenagem e 2. Urbanização em planícies de inundações.

Historicamente, a cidade de Porto Alegre sofre com alagamentos que paralisam a cidade em dia de chuva forte. Segundo dados do relatório *Estratégia de Resiliência de Porto Alegre*, coordenado pela Prefeitura Municipal de Porto Alegre, durante o inverno e a primavera do ano de 2015 o volume de chuva desalojou cerca de 5000 pessoas durante 15 dias [8]. Uma reportagem veiculada no jornal Zero Hora em 01/06/2017, revela que nas primeiras 12 horas do dia, havia chovido 75mm em Porto Alegre, o que corresponderia a mais da metade da média histórica do mês de junho [3].

Na busca por caminhos para se reduzir o risco de desastres, a cidade de Porto Alegre faz parte do Desafio 100 *Resilient Cities* da Fundação Rockefeller que se dedica a ajudar as cidades em todo o mundo a se tornarem mais resilientes aos desafios físicos, sociais e econômicos do século XXI [1]. O relatório estratégico da prefeitura de Porto Alegre para transformar-se em uma cidade resiliente, ou seja, com capacidade de enfrentamento aos possíveis desastres, cita ações estratégicas

que a cidade deverá adotar para prevenção de risco. Aqui foi destacada a ação denominada: "Possuir um sistema de prevenção de riscos, principalmente os de inundação, alagamento e deslizamento organizado e efetivo; prevenir a ocupação de áreas suscetíveis a estes riscos; proteger famílias da perda dos seus pertences; evitar o desalojamento de pessoas; evitar acidentes que impactem o meio ambiente" [8].

As ferramentas computacionais utilizadas em análises de risco de inundações possuem como entradas dados com baixa resolução espacial, que permitem o monitoramento de grandes extensões territoriais como Continente, País, Estado e Regiões Metropolitanas, pois estão diretamente associadas aos rios e macro bacias hidrográficas. Já ferramentas computacionais utilizadas em análises de risco de alagamentos precisam receber como entrada dados com alta resolução espacial, que caracterizam Bairros, Ruas, Lotes e Residências, pois estão associadas não apenas a um rio/córrego, mas, principalmente, ao sistema de drenagem urbana que é composto por "Bocas de Lobo" (doravante referenciadas pelo acrônimo BL) e galerias, e delimitado por micro bacias hidrográficas.

Tecnicamente, se considera que alagamentos afetam áreas menores se comparados a inundações que afetam áreas maiores (conceitualizados posteriormente), porém este ainda é um problema relevante já que gera impactos negativos no dia a dia de uma cidade, tais como: congestionamento de trânsito, prejuízo no deslocamento de serviços essenciais (ambulâncias, corpo de bombeiros, segurança pública), perdas de produtos em comércios, estragos estruturais em edifícios, disseminação de doenças como leptospirose, poluição dos rios, entre outros. Por isso, ao se realizar uma revisão bibliográfica sobre sistemas de alertas hidrológicos se identificam diversos estudos de caso de ferramentas e aplicações computacionais para gestão de inundações, em detrimento ao desafio de gestão de alagamentos, fato este que reforça a justificativa para a presente pesquisa.

Neste sentido, como forma de auxiliar a cidade a tornar-se resiliente, o LSA (Laboratório de Sistemas Autônomos) em conjunto com o LTIG (Laboratório de Tratamento de Imagens e Geoprocessamento), ambos da PUCRS, está desenvolvendo uma ferramenta computacional com a finalidade de se analisar o risco de alagamentos para subsidiar a tomada de decisão na gestão de sistemas de drenagem, tendo como área de estudo a sub-bacia hidrográfica D-2, pertencente à Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio, abrangendo partes dos bairros Cidade Baixa, Bom Fim, Menino Deus e Azenha. O presente plano de pesquisa propõem uma ferramenta computacional que recebe como entrada diferentes dados históricos relacionados aos alagamentos na área de estudo, sendo estes: precipitação de chuva, localização das estações meteorológicas, registros de eventos de alagamentos, dados topográficos, além de dados da rede de drenagem.

A hipótese de pesquisa é que os recorrentes pontos de alagamento, constatados ao longo dos últimos 5 anos, em pontos específicos da cidade de Porto Alegre, possam se repetir a qualquer momento no futuro, isto é, com bases estatísticas [33]. Assim, o sistema proposto irá aplicar métodos como, por exemplo, de Regressão Múltipla, *Randon Forest* e Regressão Logística para sinalizar o risco de alagamentos relacionado a localização geográfica das BL situadas na área de estudo. Dentre os benefícios esperados se pode citar que tal ferramenta poderá subsidiar a tomada de decisão na gestão

e manutenção de sistemas de drenagem, facilitar mobilidade urbana em situações de alagamento, e dar suporte ao projeto de drenagem de cidades resilientes e inteligentes.

Esta proposta de pesquisa está organizada da seguinte forma. No capítulo 2, intitulado Fundamentação Teórica, são abordados os conceitos básicos das áreas da análise geoespacial, redução de risco de desastres e informática relacionados com a pesquisa. No capítulo 3, intitulado Trabalhos Relacionados, são apresentados estudos de caso similares ao proposto aqui, se destituindo as abordagens neles adotadas. No capítulo 4, intitulado Proposta de Pesquisa, são apresentados aspectos como a questão de pesquisa, objetivos geral e específicos, região da cidade estudada, arquitetura do projeto, resultados alcançados até o presente momento, resultados esperados e o plano de atividades futuras.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Dada a natureza multidisciplinar desta pesquisa faz-se necessário a contextualização de conceitos fundamentais relacionados à análise geoespacial de riscos de alagamentos. Esta seção apresenta os principais conceitos inerentes à temática de estudo, com o objetivo de formar uma base sobre análise geoespacial, redução de risco de desastres e ferramentas computacionais.

2.1 Análise Geoespacial

A análise geoespacial (do inglês, “Geospatial Analysis” e “Spatial Analysis”) é uma técnica ou um conjunto de técnicas. Os profissionais deste campo de conhecimento utilizam ferramentas computacionais que se popularizaram por meio da Geomática, enquanto Ciência.

No Brasil, a análise geoespacial é conhecida como Geoprocessamento. Em análises geoespaciais se considera que toda informação é importante, porém pode tornar-se mais relevante se combinada e integrada a outras informações. Para isso precisa ser analisada e processada, por meio de técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação, em outras palavras são algoritmos e estruturas de dados. As ferramentas para o geoprocessamento, permitem a realização da análise dos dados e a integração de complexas informações auxiliando áreas tais como cartografia, planejamento urbano e análise de recursos naturais [26].

Há décadas que vem-se investindo na melhoria da integração das informações geográficas com outros recursos. Porém somente nos anos 80, com a evolução computacional fomentada pela redução no custo do hardware, criação de recursos gráficos e dos bancos de dados relacionais, os sistemas de geoprocessamento ganharam várias aplicabilidades. Hoje, com o incremento de tecnologias como GPS (explicado posteriormente) e WI-FI, as aplicações podem solucionar problemas de áreas cada vez mais distintas [26].

Segundo Rocha [39, p. 210], Geoprocessamento é definido como sendo: *Uma tecnologia transdisciplinar que, através da localização e do processamento de dados geográficos, integra várias disciplinas, equipamentos, programas, processos, entidades, dados, metodologias e pessoas para coleta, tratamento, análise e apresentação de informações associadas a mapas digitais georreferenciados.*

O processamento das informações só é possível por meio de ferramentas computacionais. Segundo Câmara e Davis [26, 1-1], essas ferramentas para Geoprocessamento são chamadas de SIG (Sistema de Informação Geográfica) ou em inglês GIS (*Geographic Information System*). Rocha [39, p. 48], define SIG como sendo: *Um sistema com capacidade para aquisição, armazenamento, tratamento, integração, processamento, recuperação, transformação, manipulação, modelagem, atualização, análise e exibição de informações digitais georreferenciadas, topologicamente estruturadas, associadas ou não a um banco de dados alfanumérico.*

Rocha também apresenta em seu livro [39, p. 47] definições de SIG de outros autores. Por exemplo, segundo Burrough e McDonnell [23], SIG é definido como: *Um poderoso conjunto de ferramentas para coleta, armazenamento, recuperação, transformação e visualização de dados espaciais do mundo real para um conjunto de propósitos específicos.*

A definição de Aronoff [22] para SIG é também citada por Rocha [39, p. 47]: *Um sistema de captação, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados georreferenciados (definido posteriormente).*

Por fim, Rocha [39, p. 47] cita que, segundo Goodchild [29], SIG é: *Um sistema integrado para capturar, armazenar, manipular, analisar informações referentes às relações em uma natureza geográfica.*

2.1.1 Escala Numérica

Uma representação de escala numérica é, por exemplo, 1:1000, onde o primeiro algarismo antes do símbolo de dois pontos é o numerador e após os dois pontos é o denominador.

Assumamos para fins de exemplo as seguintes escalas: A) escala 1:1000 e B) 1:3000. A primeira escala é a divisão de 1 por um mil que resulta no valor de 0,001. A segunda escala é a divisão de 1 por três mil que resulta no valor de 0,00033. O resultado da escala A é maior que o resultado B. Isto posto, quanto maior a escala (resultado da divisão), menor será a área representada no mapa pois, quanto maior a escala, maior é a aproximação da visão aérea do local representado. Isso permite um maior nível de detalhamento das informações, pois quanto mais próximo do local, mais detalhes é possível visualizar.

2.1.2 Tipos de Dados

O principal componente no geoprocessamento são os dados. Estes dividem-se em dados temáticos, dados cadastrais, redes, modelo numérico de terreno e imagem.

- Dados Temáticos

São dados que descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica expressa de forma qualitativa, por exemplo: renda familiar e escolaridade. São dados obtidos a partir de levantamento de campo, inseridos no sistema por digitalização ou de forma automatizada. [26, p. 2-7]

- Dados Cadastrais

São dados diferentes dos dados temáticos, pois cada um de seus elementos é um objeto geográfico, que possui atributos e pode estar associado a várias representações gráficas. Por exemplo, um terreno em uma cidade são elementos do espaço

geográfico que possuem atributos (dono, localização, valor venal, IPTU) e que podem ter representações gráficas diferentes em mapas de escalas distintas. [26, p. 2-7]

- Redes

São informações associadas a serviços de utilidade pública, como água, luz e telefone, redes de drenagem (bacias hidrográficas). Cada objeto geográfico (por exemplo um cabo telefônico, transformador de rede elétrica ou cano de água) possui uma localização geográfica exata e está associado a atributos descritivos, presentes no banco de dados. As informações gráficas de redes são armazenadas em coordenadas vetoriais, com topologia arco-nó: arcos tem um sentido de fluxo e os nós tem atributos (podem ser fontes ou sorvedouros) [26, p. 2-8]

- Modelo Numérico de Terreno (MNT)

Segundo Felgueiras [26, p. 7-1], Modelos Numéricos de Terreno são definidos como,

uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre. Dados de relevo, informação geológicas, levantamentos de profundidades do mar ou de um rio, informação meteorológicas e dados geofísicos e geoquímicos são exemplos típicos de fenômenos representados por um Modelo Numérico de Terreno.

Modelo Digital de Terreno (MDT) : representa o relevo sem obstáculos, ou seja, sem prédios, árvores, ônibus, pessoas, etc. Quando modela-se o caminho da água no MDT, o resultado proveniente é o caminho da água passando por baixo de prédios, árvores, etc, pois, tais obstáculos não existem no arquivo.

Modelo Digital de Superfície (MDS) : representa o relevo juntamente com prédios, árvores, ônibus, pessoas, etc. Quando modela-se o caminho da água no MDS, o resultado é o caminho da água desviando / contornando prédios, árvores, pontes, passarelas, etc [12] [14].

Modelo Digital Hidrológico (MDH): MDT e MDS possuem suas limitações que resultam em desafios à modelagem hidrológica, em qualquer escala. Como solução utiliza-se uma combinação do MDT e MDS da seguinte maneira: às ruas/avenidas aplica-se o valor do MDT (sem árvore, ônibus, etc), para o resto emprega-se o valor do MDS. Desta maneira, é gerado um MDH (Modelo Digital de Hidrologia) termo em inglês para *Hydrologic Enforcement* [12] [14]. Este modelo MDH, foi utilizado para gerar o terreno sujeito a alagamento denominado HAND conforme explicado a seguir.

- Imagens

As imagens representam formas de captura indireta de informação espacial. Obtidas por meio de satélites, fotografias aéreas ou scanners aerotransportados, as

imagens são armazenadas como matrizes, onde cada elemento de imagem (denominado pixel) tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente. Os objetos geográficos estão contidos na imagem e para individualizá-los, é necessário recorrer a técnicas de foto-interpretação e de classificação automática. Características importantes de imagens de satélite são: número de bandas do espectro eletromagnético imageadas (resolução espectral), a área da superfície terrestre observada instantaneamente por cada sensor (resolução espacial) e o intervalo entre duas passagens do satélite pelo mesmo ponto (resolução temporal). [26, p. 2-10]

2.1.3 Georreferenciamento

Pina e Santos [35, p. 31], citam dois tipos distintos de georreferenciamento: gráfico e tabular.

O georreferenciamento de dados gráficos (mapas) se dá através da associação a um sistema de coordenadas terrestres qualquer.

O georreferenciamento dos dados tabulares pode ser efetuado de diversas maneiras e pode ser entendido como o processo de associar dados a um mapa. Este georreferenciamento pode se dar através de pares de coordenadas ou através do relacionamento com unidades espaciais (setores censitários, bairros, etc.) presentes no mapa.

2.1.4 Sistema de Coordenadas

Pina [36, p.93-94], apresenta uma definição simples e objetiva para sistema de coordenadas.

Para localizar qualquer lugar no mundo, seja um país, uma cidade ou um rio, utilizamos os sistemas de coordenadas, que são sistemas de referência para posicionamento de pontos sobre uma dada superfície. A utilização de sistemas de coordenadas, em quaisquer casos, estabelece os relacionamentos matemáticos necessários para o exato posicionamento da informação sobre a superfície terrestre.

O sistema de coordenadas é definido por duas posições principais, a latitude e a longitude. Segundo a definição de Fitz [27],

A latitude de um ponto pode ser descrita como a distância angular entre o plano do Equador e um ponto na superfície da Terra, unido perpendicularmente ao centro do planeta. A latitude varia entre 0° e 90° nas direções norte ou sul. A longitude de um ponto considerado pode ser considerada como o ângulo formado entre o ponto

considerado e o meridiano de origem ($\text{Greenwich} = 0^\circ$), a faixa varia entre 0° e 180° , nas direções leste ou oeste desse meridiano.

2.1.5 Sistema de Projeção

O sistema de projeção mantém características de transformação de uma superfície para outra, isto ocorre porque, por exemplo, uma superfície curva tem atributos diferentes de uma superfície plana, a mudança de uma superfície para outra causará distorções, caso o sistema não seja adaptado [26].

O Sistema Universal Transversal de Mercator (UTM), é o mais utilizado em trabalhos relacionados com sistema de informação geográfica. Caracteriza-se por adotar *coordenadas métricas planas* [27]. O mapa terrestre é dividido em 60 partes de 6° (graus) cada, como pode ser visto na Figura 2.1. Cada divisão de 6° , os valores definidos obedecem a uma sistema de numeração que estabelece um valor de 10.000 km sobre a linha do Equador e 500.000 sobre o Meridiano Central (linha que corta exatamente no centro de cada faixa de 6° , visto na Figura 2.2).

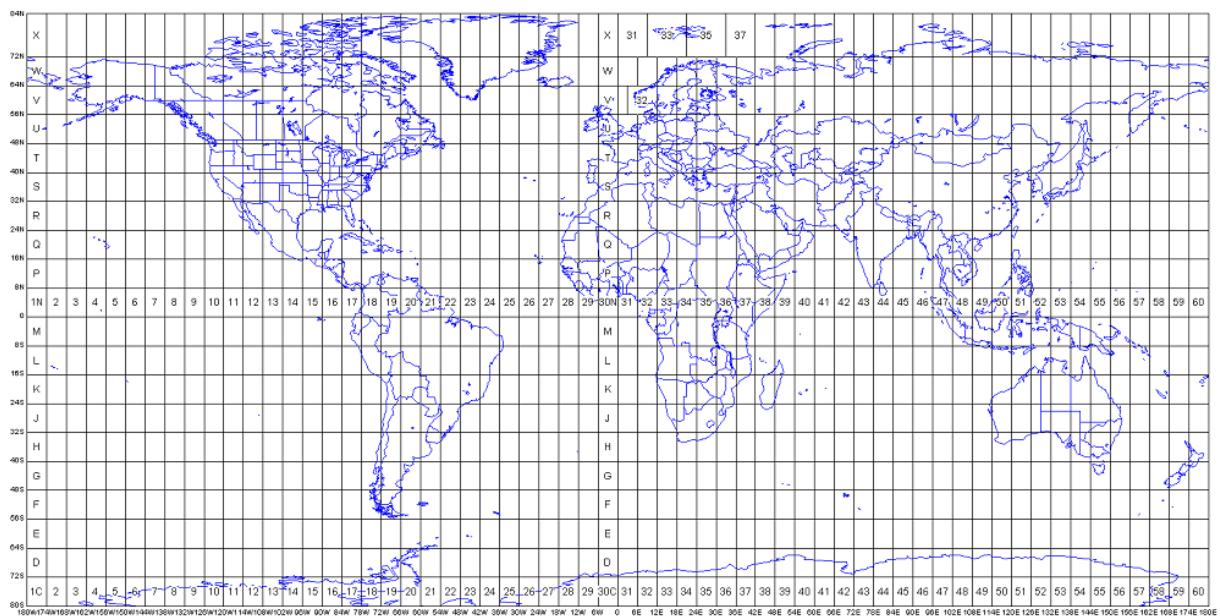


Figura 2.1 – Ilustração da matriz do sistema de projeção UTM

Fonte: *Distribution Maps Software* [6]

2.2 Redução de Risco de Desastres

Alagamentos, inundações, deslizamentos, secas, incêndios, terremotos, furacões, entre outros, são fenômenos naturais severos, fortemente influenciados pelas características regionais, tais

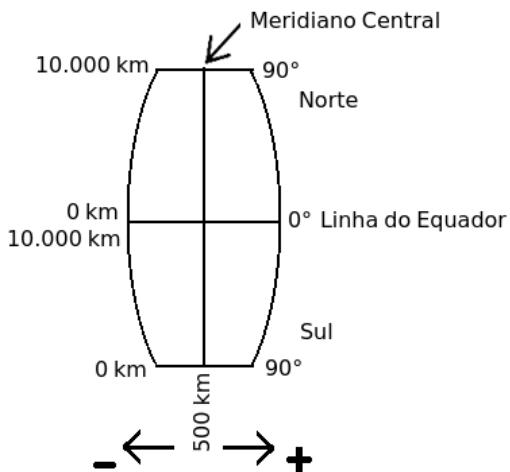


Figura 2.2 – Ilustração de uma coordenada de fuso UTM

Fonte: [36] - adaptado pelo autor

como, condições meteorológicas, topografia, vegetação e solo. Evitar estes fenômenos naturais é impossível para o ser humano. No entanto, por meio de prevenção e adaptação, pode-se desenvolver medidas que minimizem os impactos causados pelos mesmos [31]. A presente pesquisa abordará desafios e soluções relacionadas à gestão de riscos de desastres hidrológicos, conforme caracterizados a seguir.

2.2.1 Desastres Hidrológicos (Alagamentos e Inundações)

Para explicar os principais conceitos sobre inundações, enchente e alagamentos, inicia-se este tópico apresentando outros conceitos básicos. Desastres hidrológicos estão relacionados ao ciclo hidrológico do Planeta, sendo diretamente correlacionado com volumes de chuvas em cada região. Dentre os principais elementos do ciclo hidrológico, as chuvas possuem papel de destaque quando o assunto é desastre hidrológico.

Precipitação e Intensidade de Precipitação

Segundo Tucci e Bertoni [41, p. 177] a precipitação pode ser definida como:

Toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Neblina, chuva, granizo, orvalho, geada e neve são formas diferentes de precipitação, o que diferencia essas formas de precipitações é o estado em que a água se encontra. A determinação da intensidade da precipitação é importante para o controle de inundações e a erosão do solo. Por sua capacidade para produzir escoamento, a chuva é o tipo de precipitação mais importante para a hidrologia. As principais características da precipitação são o seu volume total, duração e distribuição temporal e espacial. Por

exemplo, 100 mm pode ser pouco em um mês, mas é muito em um dia ou, ainda mais, em uma hora.

Conceitos como enchente, inundações e alagamento, no senso comum, são tomados como sinônimos. Porém, cientificamente não são, representando fenômenos completamente diferentes. Por isso a seguir são descritos cada um destes conceitos separadamente, assim como representados na Figura 2.3.



Figura 2.3 – Ilustração dos conceitos de alagamento, enchente e inundação

Fonte: Defesa civil - São Bernardo do Campo [17] - adaptado pelo autor

- Alagamento

Castro [24] define alagamento como o acúmulo de água nas ruas e avenidas e nos perímetros urbanos por fortes precipitações pluviométricas, em cidades com sistemas de drenagem deficientes. Nos alagamentos, o acúmulo das águas decorre mais de uma drenagem deficiente, que dificulta a vazão das águas acumuladas, do que das precipitações locais. Bem como estão relacionados com a redução da infiltração natural nos solos urbanos devido à pavimentação.

- Enchente

Segundo Kobjiyama [31], enchente é o aumento do nível dos rios além da sua vazão normal, porém não deve ocorrer o transbordamento, apesar do rio ficar praticamente cheio.

- Inundação

Segundo Castro [24], inundações são provocadas por chuvas intensas e concentradas, em regiões de relevo irregular, caracterizando-se pela rápida elevação da água. Nessas condições, ocorre um desequilíbrio entre o volume de água e a vazão da drenagem, provocando transbordamento. O fenômeno costuma surpreender por sua violência e menor previsibilidade, exigindo um monitoramento complexo. Diferentemente da enchente, a inundação transborda rios, lagos e mares invadindo regiões urbanas.

2.2.1.1 Sistema de Drenagem Urbana

Segundo Tucci e Bertoni [41, p. 805] o termo drenagem urbana é definido, em um sentido amplo, como: *O conjunto de medidas que tenham por objetivo minimizar os riscos a que as populações estão sujeitas, diminuir os prejuízos causados por inundações e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável.*

Já quanto as características da drenagem urbana, Tucci e Bertoni [41, p. 822] definem todo o processo:

Inicia-se em edificações com os coletores de pluviais ligados à rede pública, na drenagem superficial das sarjetas (faixas de via pública, paralelas e vizinhas ao meio-fio. A calha formada é a receptora das águas pluviais que incidem sobre as vias públicas e que para elas escoam) que recebe a parcela superficial das ruas, calçadas, pátios e outras áreas impermeáveis ou permeáveis que geraram escoamento superficial. O escoamento proveniente das sarjetas, que entra na rede através das “Bocas de Lobo” (BL), e o proveniente dos coletores residenciais são drenados pelos condutos pluviais que alimentam os condutos secundários até os principais sistemas compostos de pequenos rios (arroios, riachos ou ribeirões) que compõem a macrodrenagem urbana.

A Figura 2.4, apresenta a BL que integra o sistema de drenagem da cidade.



Figura 2.4 – Ilustração de uma Boca de Lobo

Fonte: [5]

2.2.2 Sistemas de Alerta

De acordo com os dados obtido na *International Disaster Database* [7], a inundações é o desastre natural que mais mata no Brasil. A tabela 2.1 abaixo, representa um período de 1987 a 2016, ou seja, os últimos 30 anos. Nota-se que o número de eventos provocado por inundações é muito superior aos demais e o número de mortes é alarmante.

Desastre Natural	Nº eventos	Nº mortes
Seca	12	0
Terremoto	1	1
Enchente / Inundação	91	3701
Incêndio	3	1
Deslizamento de Terra	17	744

Tabela 2.1 – Relação de desastre natural, número de evento e número de morte

De acordo com Kobiyama [30], no sistema de alerta, pode-se citar como principais componentes: (1) previsão dos desastres (quando e onde ocorrerá); (2) transmissão das informações sobre a previsão a órgãos públicos e privados; (3) orientação para moradores que possivelmente serão prejudicados. Esse sistema é um instrumento muito importante quando tratamos especialmente de sistemas urbanos já implantados, uma vez que permite que a comunidade seja informada da ocorrência de eventos extremos e minimize os danos causados.

A precipitação na forma de chuva cai sobre uma região, os coletores instalados junto às estações meteorológicas medem a quantidade em milímetros de altura, e estas informações são armazenadas no banco de dados. De acordo com o volume de chuva registrado, os dados são analisados e comparados com a capacidade da bacia hidrográfica. Sensores no leito do rio também auxiliam para uma maior precisão das ações a serem tomadas. Detectado um volume de água próximo à capacidade máxima da bacia, autoridades podem tomar medidas preventivamente. Somente os dados históricos de precipitação e elevação do nível no leito já são úteis para estudos na área.

2.3 Ferramentas Computacionais para Resiliência Urbana

Nesta seção serão apresentados alguns recursos focados em computação que serão abordados na proposta.

2.3.1 Geotecnologias

São tecnologias em *hardware* e *software* voltadas para auxiliar os estudos em áreas como: geografia, geologia, hidrografia, dentre outros.

O Sistema Operacional OSGeolive baseado na distribuição Linux Ubuntu com um conjunto das principais aplicações em geotecnologias, instaladas ou pré-instaladas, destacando: **QGIS** (ferramenta *open source*, sendo um GIS cliente onde você pode visualizar, gerenciar, editar, analisar dados e compor mapas imprimíveis. Possui funcionalidade analítica integrando com outras aplicações); **GeoServer** (servidor web que permite a disponibilidade de mapas e dados de uma variedade de formatos para clientes padrão, como navegadores da Web e programas GIS de *desktop*); **PostGIS** (extensão espacial que permite o uso de objetos GIS serem armazenados no banco de dados, foi construído sobre o SGBD - Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados - PostgreSQL);

OpenStreetMap (projeto com o objetivo de criar e disponibilizar dados geográficos gratuitos. Collaborativo, usuários de todo o mundo recolhem informação sobre estradas, edifícios, rios e outras informações habitualmente visíveis em mapas).

2.3.2 Banco de Dados Geoespacial

Sistemas gerenciadores de bancos de dados (SGBD) são softwares capazes de armazenar coleções de dados. Para se executar análises geoespaciais, os bancos de dados precisam possuir extensões específicas para processamentos geográficos, como, por exemplo, cálculo de distância.

Os sites de mapeamento são capazes de responder às perguntas: “*Onde fica a rua X?*” ou “*Como chegar à rua Y a partir de onde estou?*”. Para ir além de obter direções, organizações estão trabalhando no mapeamento dos padrões de dados. Ao obter a localização de todos os pedidos de tele-entrega de uma cidade, uma empresa pode planejar a abertura da próxima loja, mais próxima dos clientes assíduos. Outro exemplo, seria uma universidade obter as informações de onde moram e/ou trabalham seus alunos, isso poderia influenciar a criação de um novo *campus* mais próximo do aluno, diminuindo o tempo de deslocamento. Informações adicionais tais como renda familiar, nível de escolaridade dos pais, habilidades e *hobbies* podem complementar a tomada de decisão. Neste caminho, os bancos de dados espaciais vem contribuindo na integração das informações.

Um banco de dados geoespacial tem tipos de dados especialmente projetados para armazenar um objeto no espaço. A informação armazenada é geralmente de natureza geográfica, tal como uma localização de um ponto ou a área de um campo de futebol. O banco de dados espacial também fornece funções e índices especiais para consultas e manipulação dos dados, que podem ser chamados a partir de uma linguagem de consulta como o SQL (*Structured Query Language*). Um banco de dados espacial fornece ferramenta de armazenamento, ferramenta de análise e ferramenta de organização, em apenas um produto único. Apresentar dados visualmente não é o único objetivo da base de dados espacial. As consultas a base podem ser complexas como: “*Qual é a distância média que cada aluno percorre da casa para uma única universidade?*”. Outros exemplos, “*Quantas casas de uma determinada região exigem evacuação no caso de inundação?*” ou “*Quantas famílias seriam afetadas num raio de 10km em caso de inundação?*”. Um sistema de banco de dados georreferenciado pode trabalhar com tipos de dados, como ponto, linha e polígono, resolvendo questões como as apresentadas [34].

O SGBD (Sistema Gerenciador de Banco de Dados) PostgreSQL foi o escolhido para uso pois é uma ferramenta *Open Source* e possui a extensão espacial PostGIS que permite o armazenamento, análise e o processamento de objetos espaciais, como, por exemplo: *Point*, *LineString*, *Polygon*, *MultiPoint*, *MultiLineString*, *MultiPolygon* e *GeometryCollection*. Isto permite efetuar consultas e cálculos, tais como: calcular a área de um polígono; consultar se uma região está contido em outra região; consultar se há algum tipo de intersecção entre duas ruas; consultar o perímetro de um terreno; dentre outras centenas de funções [16].

O PostGIS segue os padrões definidos pela OGC (*Open Geospatial Consortium*), que definiu especificações de *interfaces* e padrões de intercâmbio de dados geoespaciais [16]. A junção do SGBD PostgreSQL e da extensão PostGIS possibilita a integração com várias ferramentas, como: QGIS (Quantum GIS), uma das principais ferramentas de manipulação de dados georreferenciados; ArcGIS; AutoCAD Map 3D; dentre outros. Outra vantagem é a conexão com aplicações de visualização web (WEBGIS) que disponibiliza mapas digitais, como, por exemplo: Mapserver; GeoServer e ArGIS Server.

2.3.3 Machine Learning com Linguagem de Programação Python

Quando se trata de Análise de Dados (*data analytics*) uma das opções de linguagem é o Python pois esta pode resolver problemas nas etapas de coleta, análise e tratamento dos dados, além de construção de aplicações web.

Uma grande vantagem da linguagem Python em relação a outras linguagens é a quantidade de bibliotecas que podem ser integradas, como:

- **NumPy**: permite trabalhar com arranjos, vetores e matrizes de N dimensões; provê diversas funções e operações sofisticadas;
- **SciPy**: utiliza como base o pacote NumPy e é usada para questões: estatísticas, de otimização, integração numérica, processamento de sinais e imagens, solução de equações diferenciais e polinômios;
- **Matplotlib**: recursos para a geração de gráficos 2D a partir de *arrays*;
- **Shapely**: manipulação e análise de objetos geométricos planos;
- **Pandas**: permite manipulação e análise de dados tabulares. Em particular, oferece estruturas de dados e operações para manipulação de tabelas numéricas e séries temporais;
- **GEOPandas**: com objetivo de facilitar o trabalho com dados geoespaciais em Python, fornecendo operações geoespaciais em Pandas e uma interface de alto nível para geometrias múltiplas para Shapely;
- **Scikit-learn**: biblioteca de machine learning, inclui vários algoritmos de classificação, regressão e agrupamento e é projetada para interagir com as bibliotecas NumPy e SciPy;
- **Pylab**: permite gerar gráficos de duas dimensões de excelente qualidade, permitindo edição interativa, animações, inúmeros tipos de gráficos diferentes;
- **Django**: *framework* Web de alto nível em Python que estimula o desenvolvimento rápido e o design limpo e pragmático;

- **GEODjango:** módulo embutido ao Django, basta habilitá-lo para permitir o uso de objetos geográficos; faz o trabalho de *backend*, ou seja, os cálculos geográficos.

2.3.4 Software TerraHidro

TerraHidro é uma plataforma para a execução de aplicações envolvendo modelagem hidrológica distribuída que foi desenvolvido pela DPI (Divisão de Processamento de Imagens) do INPE [18]. Atualmente, o TerraHidro é um *plugin* do *software* TerraView, também desenvolvido pelo INPE. O TerraView tem a finalidade de manipulação de dados vetoriais (pontos, linhas e polígonos) e matriciais (grades e imagens), ambos armazenados em SGBD, e visualização de dados geográficos com recursos de consulta a análise destes dados [19]. O software TerraHidro foi desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

3. TRABALHOS RELACIONADOS

Este capítulo apresenta projetos relacionados com a presente proposta de pesquisa. Os trabalhos a seguir apresentados são estudos de caso em que foram desenvolvidas ferramentas computacionais para sistemas de gestão do risco de inundações.

É fundamental esclarecer que durante a revisão bibliográfica não se identificou, até o presente momento, nenhum estudo de caso que realize análise de risco de alagamento relacionada ao sistema de drenagem urbana, mais especificamente, baseada na localização das BL. Ainda assim, se considera aqui que os estudos de caso a seguir apresentados podem, ao menos, contribuir para contextualizar como *hardwares*, *softwares* e técnicas estão sendo utilizadas na gestão de redução de risco de desastres hidrológicos.

O fato de não haver ferramentas computacionais específicas para análises dos fenômenos de alagamentos relacionados à localização das BL, reforça a necessidade de pesquisas neste campo de conhecimento para subsidiar planejamento de cidades inteligentes e resilientes.

A seção 3.1 apresenta o projeto AGORA desenvolvido pela Universidade de São Paulo e pelo *GIScience Research Group* da Universidade de Heidelberg (Alemanha). A seção 3.2 apresenta o projeto IFIS *Iowa Flood Information System* desenvolvido pelo *Iowa Flood Center* e *Iowa Institute of Hydraulics Research* em parceria com a *University of Iowa*. A seção 3.3 apresenta o projeto implantado em Rotterdam (Holanda).

3.1 Projeto São Paulo

O projeto AGORA desenvolvido pela USP (Universidade de São Paulo), tem como significado **A Geospatial Open collaboRative Architecture for Building Resilience against Disasters and Extreme Events** e pode-se traduzir para a língua portuguesa como sendo: uma arquitetura aberta de colaboração geoespacial visando fortalecer a resiliência contra desastres e eventos extremos [9].

O projeto propõe uma plataforma de gestão de conhecimento, onde questões relevantes e dados são fornecidos pelas várias partes interessadas, incluindo tomadores de decisão local, gestão de desastres e agências de emergência, a fim de lidar de forma colaborativa com os desafios sociais, tal como a gestão de risco de inundações. Nesse contexto, as decisões estão relacionadas à construção de resiliência contra inundações, particularmente focando na fase de preparação e nos esforços para redução dos riscos, tais como monitoramento de inundações em tempo real, sistemas de alertas antecipados locais, e análise de risco por meio de mapas de risco. Além de fornecer uma *interface* de apoio à tomada de decisão e também tornar dados relevantes disponíveis de forma padronizada [9].

Aplicações Desenvolvidas no Projeto AGORA

- **GeoDashboard**

O GeoDashboard é um *dashboard* baseado em web, o qual visa apoiar em tempo real a tomada de decisão através de um conjunto de indicadores de desempenho, essenciais para o monitoramento do risco de inundações. Essa ferramenta é construída em cima de *frameworks* de código aberto e geoserviços que seguem os padrões do *Open Geospatial Consortium's* (OGC). A ferramenta foi implementada para manipular os dados coletados por uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) instalada na cidade de São Carlos/SP [9]. A ferramenta apresenta seis sensores de monitoramento de rio e uma estação de medição de precipitação instalada na USP. O sistema apresenta problemas de dados, conectividade e naveabilidade.

- **Observatório Cidadão de Enchentes - OCE**

É uma plataforma *crowdsourcing*, a qual obtém informação geográfica de voluntários relacionada com a gestão de risco de inundações, mais especificamente, informações sobre áreas alagadas e altura da água no leito dos rios. Essa ferramenta é uma instância da plataforma Ushahidi (plataforma *crowdsourcing* que reúne submissões de qualquer pessoa, hora e lugar; cria relatórios, agrupa dados correlatos; apresenta os dados em mapas ou gráficos; envia notificação ou alerta) [9].

- ***Volunteered Observation Service* - VOS**

É um *framework* que visa recuperar e disponibilizar informações geográficas de voluntários coletadas a partir de plataformas *crowdsourcing* de maneira interoperável por meio de serviços geoespaciais [9].

- ***Spatial Data Infrastructure* - NODE**

É um protótipo utilizado para coletar e preparar camadas de informações espaciais, enriquecê-las com os metadados necessários e torná-las disponível para interligação com outras fontes de Dados Abertos Ligados, por exemplo, DBpedia (Wikipedia) e LinkedGeoData (OpenStreetMap) [9].

- **AGORA - *Dynamic Sensor Management* (DSM)**

É um *middleware* orientado a serviços, faz uso de um protocolo de mensagens comum, um componente de gerenciamento dinâmico de sensores e um repositório [9].

- **AGORA - PrioritizeSN**

É uma aplicação para apoiar o gerenciamento de risco de inundações por meio de uma combinação próxima do tempo-real de mensagens de redes sociais e *streaming* de dados de sensores [9].

3.2 Projeto Iowa

O projeto Iowa Flood Information System é uma sistema de informação de inundações do estado Iowa/EUA por meio de uma plataforma web única para acessar as condições relacionadas a inundações. Foi desenvolvido pelo centro da inundação de Iowa (*Iowa Flood Center* - IFC), na universidade de Iowa. O IFIS fornece um ambiente amigável e interativo para mais de 1000 comunidades, sobre condições e previsões de inundações, visualizações de dados e informações relacionadas a inundações.

O IFIS fornece características de bacias hidrográficas e de rios centradas na comunidade, condições meteorológicas (chuvas) e ferramentas de visualização e dados de fluxo. As interfaces interativas permitem o acesso a mapas de inundação para diferentes períodos e valores de período de retorno, e cenários de inundação com contribuições de múltiplos rios. Dados em tempo real e históricos de níveis de água e condições de precipitação estão disponíveis no IFIS através da transmissão de dados de sensores automatizados do IFC, medidores de fluxo de água da USGS (*United States Geological Survey*), radares NEXRAD (*Next-Generation Radar*) que são controlados pelo Serviço Nacional de Meteorologia dos Estados Unidos da América (NWS - *National Weather Service*), além de previsões da NWS. As visualizações interativas 2D e 3D no IFIS tornam os dados mais compreensíveis para o público em geral. Os usuários são capazes de filtrar fontes de dados para suas comunidades e rios selecionados.

O IFIS inclui um modelo de previsão de precipitação pluviométrica para fornecer uma estimativa de risco de inundaçao de cinco dias para mais de 1000 comunidades em Iowa (ilustra a saturação do rio em análise). Os vários modos de exibição no IFIS atendem a diferentes tipos de usuários, desde o público geral até pesquisadores e tomadores de decisão, fornecendo diferentes níveis de ferramentas e detalhes.

O IFIS ajuda as comunidades a tomar decisões mais bem informadas sobre a ocorrência de inundações e alerta as comunidades antecipadamente para ajudar a minimizar os danos das inundações [13].

3.3 Projeto Rotterdam

Este estudo propõe uma infraestrutura para monitoramento das chuvas extremas para a cidade de Rotterdam na Holanda. Objetivo é fornecer informação em tempo real, distribuída e confiável que incorpora fontes de dados variadas para apoiar os cidadãos e as autoridades municipais sobre condições climáticas.

O projeto proposto coleta dados de precipitação das estações meteorológicas, por meio de um microprocessadores *Raspberry Pi*, integração com dados do relevo topográfico, radares meteorológicos e informações repassadas pela população sobre danos causado pela chuva [28].

A cidade possui 32 estações meteorológicas automáticas que registram medidas de precipitação em intervalos que geram medições a cada 10 minutos. Propõe-se instalar em cada estação um microprocessador *Raspberry Pi*, com conectividade wi-fi para captar os dados de precipitação, bem como uma câmera para proporcionar uma visão remota da chuva [28]. Com isso, agrupando os dados a um servidor.

O radar meteorológico é processado a partir de dois radares *Doppler*. Este produto de imagens tem uma resolução espacial de 1 Km^2 e uma resolução temporal de 5 minutos. Sob características meteorológicas particulares e em intervalos distantes, o radar meteorológico tende a subestimar as precipitações. Além disso, medidas de radar podem não refletir as condições climáticas no nível do solo. A vantagem dos dados de precipitação derivados do radar em comparação com as medições pontuais por pluviômetros, é a sua cobertura espacial em áreas mal cobertas com estações meteorológicas [28].

O projeto propõe a utilização de MDE (Modelos Digitais de Elevação) que oferece uma resolução espacial de 0.5 m X 0.5 m, uma precisão vertical de 5 cm e uma precisão mínima de dois desvios padrão de 15 cm. O objetivo deste MDE é delinear os caminhos do fluxo terrestre. Tais caminhos seguem as direções que a água tende a seguir após a precipitação devido às encostas urbanas. Os caminhos seguem a inclinação até chegarem a um canal ou um lago [28].

O município mantém uma plataforma para receber e registrar chamadas dos cidadãos sobre incidentes na cidade. O registro dessas chamadas consiste em definir um número de identificador exclusivo, transcrever as informações de reclamação em descrições textuais curtas, realizar uma classificação com o incidente correspondente, anotar o horário e o endereço reportado. O registro está disponível em um site que fornece visualizações geográficas de relatórios individuais [28].

3.4 Resumo

Na comparação com os projetos anteriormente citados (São Paulo, Iowa e Rotterdam), os principais diferenciais da presente pesquisa são:

1. Utilização do Modelagem Digital Hidrológica (MDH) com resolução de 1 metro quadrado, ou seja, cada pixel da imagem representa 1 m^2 e a escala numérica aplicada é de 1:1000, escala até o momento inédita no Brasil.
2. Modelagem hidrológica de alagamento baseada no algoritmo HAND (Altura acima da Drenagem Mais próxima) com resolução espacial de 1 metro e escala numérica 1:1000. Com escala cadastral, destina-se representar de pequenas áreas como bairros ou ruas, porém com elevado grau de detalhamento e precisão [10].
3. Relação do sistema de drenagem urbana (especificamente, bocas de lobo) com os eventos de alagamento ocorridos do período de 2012 a 2017. A BL por ser um ponto fixo, torna-se uma referência no mapeamento dos alagamentos.

4. Aplicação de algoritmos de *Machine Learning* para predizer os riscos de alagamentos das BL.

Na tabela 3.1 é apresentado uma breve relação entre a presente pesquisa e os projetos relacionados.

Projeto	Objetivo	Análise Preditiva	MDH (Altimetria)	HAND (Escoamento Superficial)	Boca de Lobo	Escala
AGORA	Inundação	não	não	não	não	Regional (menor nível de detalhe)
Iowa	Inundação	sim	sim	não	não	Regional (menor nível de detalhe)
Rotterdam	Inundação / Alagamento	não	não	não	não	Cadastral (maior nível de detalhe)
Presente Pesquisa	Alagamento	sim	sim	sim	sim	Cadastral (maior nível de detalhe)

Tabela 3.1 – Comparativo entre os trabalhos relacionados

4. PROPOSTA DE PESQUISA

Este capítulo apresenta o plano de pesquisa do presente momento até o final do primeiro semestre de 2018. O capítulo é dividido em seis partes, iniciando com a definição do tema e da questão de pesquisa nas seções 4.1 e 4.2, respectivamente. A seção 4.3 apresenta os objetivos da proposta. A seção 4.4 apresenta a metodologia de pesquisa. Na seção 4.5 apresenta o trabalho realizado até o momento. Por fim, a seção 4.6 apresenta o plano de atividades e plano de trabalho.

4.1 Questão de Pesquisa

Como descrito anteriormente, os alagamentos são um acúmulo de água sobre a superfície terrestre. Isto ocorre quando o volume de precipitação não é absorvido pela superfície ou esta não consegue redistribuir a água rapidamente sem evitar um acúmulo superficial. Esta situação pode ser ocasionada, por exemplo, por uma deficiência do sistema de drenagem urbana. O gerenciamento de risco de alagamento / inundação é a tentativa de antecipar e prevenir ameaças, com isso reduzindo os danos.

O estado da arte demonstra que não há um ferramenta computacional de registro, monitoramento e análise de alagamentos urbanos. Porém, há muitas informações disponíveis que podem ser utilizadas de maneira integrada para formar um sistema que supra esta necessidade, e, assim, agregando valor à tomada de decisão. Exemplo de informações: dados de precipitação de diversas estações meteorológicas; dados sobre a topografia e drenagem urbana; registros de alagamento coletados de Mídias Digitais (portais de notícias) e Mídias Sociais (das contas dos usuários de aplicativos) e a relação de distância entre os eventos de alagamento reportados e estações meteorológicas. Todas estas informações são explicadas com mais detalhes no decorrer deste capítulo. A análise, coleta, tratamento e armazenamento de tais informações, bem como a correlação destas informações com a ocorrência de alagamentos, servirão como entrada para algoritmos de predição, cuja saída será um índice de risco de alagamento. Tendo em vista o panorama descrito acima, a principal questão deste pesquisa é:

Informações históricas sobre alagamento oriundas de redes sociais e mídia convencional podem servir para entender ou prever alagamentos em ambiente urbano ?

A ferramenta em questão utilizará dados históricos coletados em diversas fontes (explicados posteriormente). A ferramenta deverá indicar quais BL e seus respectivos endereços postais tem risco de alagamento a partir de um determinado índice de precipitação, por meio de técnicas de classificação e regressão como, por exemplo, Regressão Logística, Regressão Linear Múltipla e *Random Forest*.

4.2 Problemas de Pesquisa e Principais Hipóteses

Assumindo que:

1. é possível obter o índice de precipitação antes, durante, e depois de um alagamento;
2. existe uma representação digital do terreno suficientemente precisa para modelar o direção do escoamento da água da chuva e a área de contribuição de uma BL;
3. é possível obter o momento que uma determinada BL alagou;
4. é possível obter um número significativo de registros históricos de alagamento de cada BL de uma região para a realização de alguma forma de inferência;
5. existe uma distribuição de probabilidade (potencialmente uma distribuição normal) que relaciona o índice de precipitação com o alagamento uma determinada BL;

Então, é possível aplicar métodos computacionais e estatísticos para responder as seguintes **perguntas**:

1. Qual a probabilidade de uma determinada BL da região modelada alagar com um certo índice de precipitação ?
2. O índice de precipitação que causou um evento de alagamento de uma determinada BL está de acordo com a precipitação esperada para esta BL ?

4.2.1 Discussão Preliminar sobre as Hipóteses

A *primeira hipótese* é provável se seja verdadeira nas principais cidades Brasileiras em função do desenvolvimento e expansão do número de estações meteorológicas automáticas equipadas com pluviômetro. Ainda assim, torna-se necessário existir alguma forma de acessar os dados destas estações para a extração dos dados ou de tornar estes dados públicos, o que ainda não é verdade para a maioria das estações. Este assunto é discutido novamente na seção de metodologia.

A *segunda hipótese* é verdadeira para o caso de Porto Alegre, onde a prefeitura disponibilizou um mapa topográfico preciso para esta pesquisa. Entretanto isto pode não ser verdadeiro para qualquer cidade, o que limitaria seriamente a aplicação do método proposto. As características do mapa disponível são detalhadas a seguir, na seção de metodologia.

A *terceira hipótese* pode ser solucionada de duas formas principais, cada uma delas com suas vantagens e desvantagens. A primeira solução é a mais precisa pois é capaz de informar precisamente quando uma BL alagou e quando ela iniciou o esvaziamento. Trata-se do uso de dispositivos de hardware equipados com sensores de nível de água (ultrassônico), um sistema de

localização (GPS) e um meio de comunicação dos dados (wifi ou 3G) com uma central que concentra todos os dados. Entretanto, considerando a quantidade de BLs existentes nas grandes cidades, isto tornaria o sistema muito custoso, tanto em termos de investimento quanto em termos de manutenção do sistema. A segunda solução, adotada neste trabalho, utiliza informações de portais de notícias, mídias sociais, que relatam estes eventos de alagamentos. Este método tem a vantagem de ter custo baixo, entretanto possui a desvantagem de ser potencialmente impreciso quanto, por exemplo, a localização do alagamento e ao momento que o alagamento iniciou. Outra desvantagem é que alagamentos que ocorrem em locais e momentos com pouca circulação de pessoas não chegam a ser registrado. Por exemplo, alagamentos que ocorrem de madrugada. Apesar das desvantagens, argumentamos que se houverem números expressivos de registros, mesmo com tais imprecisões mencionadas anteriormente, será possível realizar inferências sobre a probabilidade de alagamento de cada BL. Esta hipótese, a *quarta hipótese* da lista, é potencialmente a que apresenta maiores riscos e limitações em relação ao método adotado.

Por fim, a *quinta hipótese*, uma vez de posse de um número significativo de registros de alagamento, esperamos demonstrar que estes podem ser modelados matematicamente com uma certa distribuição de probabilidade em função do índice de precipitação.

4.2.2 Discussão Preliminar sobre as Perguntas de Pesquisa

Além da questão de pesquisa principal, apresentada na Seção 4.1, as duas questões secundárias, relacionadas com as saídas geradas pelo sistema, são apresentadas a seguir.

A resposta da primeira pergunta, relacionada com a probabilidade de uma BL alagar, se combinada com um sistema que captura a precipitação em tempo real, pode gerar um sistema de previsão de alagamento de escala urbana, com grande utilidade para a população local.

A resposta relacionada com a segunda pergunta pode ser uma ferramenta útil para equipes de manutenção de BLs. Em Porto Alegre este departamento se chama Departamento de Esgotos Pluviais (DEP). Caso uma BL esteja alagando com uma precipitação muito menor que a sua distribuição típica, isto potencialmente indica que esta BL necessita de manutenção. Estamos assumindo que, logo após a manutenção de uma BL, ao longo do tempo, esta BL vai necessitando uma menor precipitação para ocasionar um alagamento por causa dos sedimentos que vão se acumulando, causando uma redução de desempenho da BL.

4.3 Objetivo

Com base na questão de pesquisa proposta na seção 4.2 foram definidos os objetivos geral e específicos, sendo estes:

Objetivo Geral:

- Propor, desenvolver, e analisar uma ferramenta que indique o risco da ocorrência de alagamento relacionado ao sistemas de drenagem urbana.

Objetivos Específicos:

1. Desenvolver aplicações para armazenar os dados de eventos de alagamentos, altimétricos, meteorológicos e hidrológicos em banco de dados geográfico;
2. Efetuar uma análise exploratória preliminar dos dados armazenados no banco de dados.
3. Construir algoritmos com técnicas de Classificação e de Regressão como Regressão Logística, Regressão Linear Múltipla e *Random Forest* e executá-los utilizando como entrada os dados armazenados no banco de dados, e efetuar análise e comparação dos resultados obtidos com cada algoritmo.
4. Apresentar por meio de mapa a probabilidade de alagamento das BL, indicando o índice de risco de alagamento.

Assim sendo, na presente pesquisa será desenvolvida uma ferramenta computacional que receberá como entrada: registros históricos de eventos de alagamentos, dados topográficos, dados da rede de drenagem e dados de precipitação de chuva. Todas estas variáveis selecionadas estão relacionadas aos eventos de alagamento da região Porto Alegre selecionada como estudo de caso, apresentada na seção 4.4.

4.4 Metodologia de Pesquisa

Para minimizar a complexidade de estudar uma região tão vasta quanto a cidade inteira de Porto Alegre, foi selecionada uma região de aproximadamente 4 km^2 . Esta foi escolhida pelo alto índice de registros de eventos de alagamento, pela proximidade de várias estações meteorológicas e por estar localizada próxima ao centro da cidade, com muito movimento de veículos e pedestres.

A região comprehende os bairros Farroupilha, Bom Fim, Rio Branco, Independência, Moinhos de Vento, Centro Histórico, Menino Deus, Azenha, Santa Cecília, Santana, Praia de Belas e Cidade Baixa. A Figura 4.1 apresenta a região de estudo selecionada com a área delimitada na cor azul, e também a localização das estações meteorológicas cujas as medições serão utilizadas na pesquisa. A legenda indica a instituição administradora de cada estação.

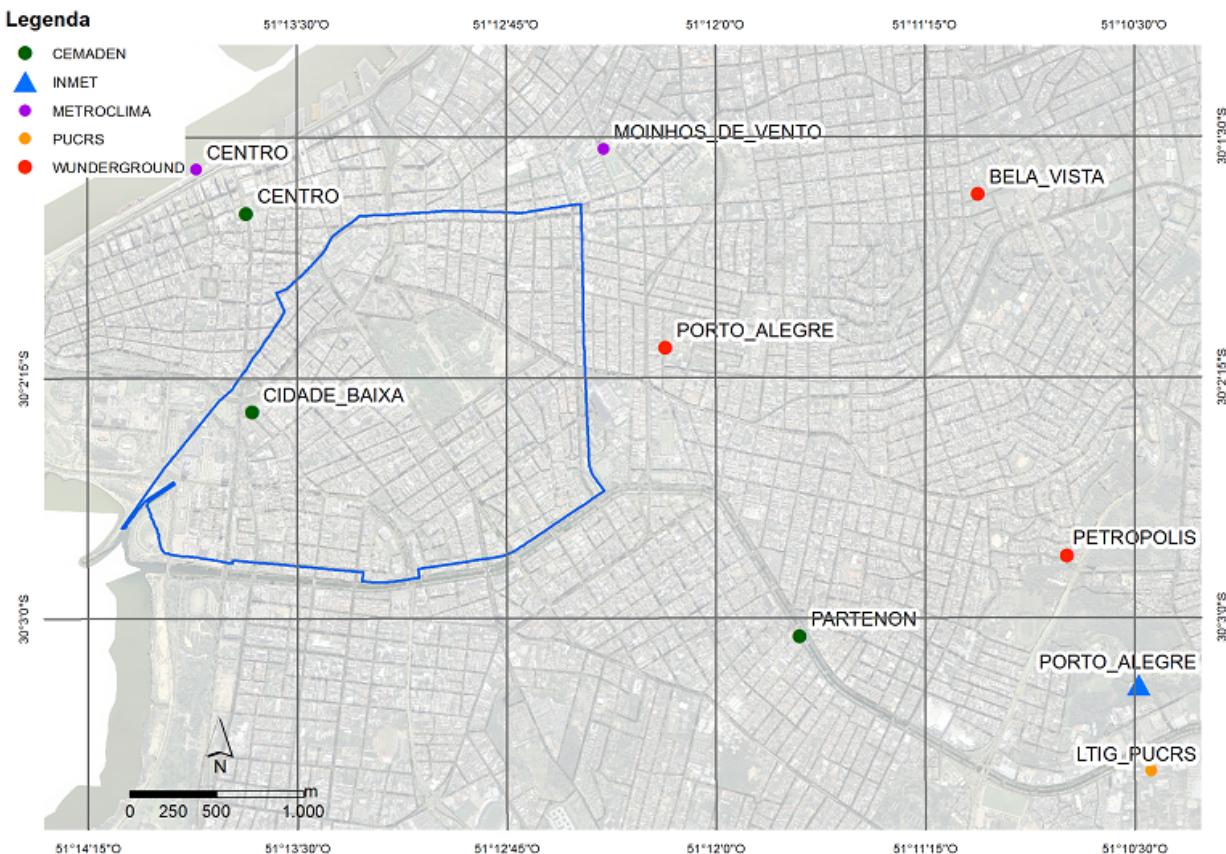


Figura 4.1 – Região de Porto Alegre Selecionada para a Pesquisa

Fonte: Imagem adaptada pelo autor [2]

A presente pesquisa propõe a construção de uma ferramenta que integrará diversos conjuntos de dados. A Figura 4.2 apresenta as diferentes partes que compõe o sistema proposto. As subseções seguintes descrevem cada parte deste sistema.

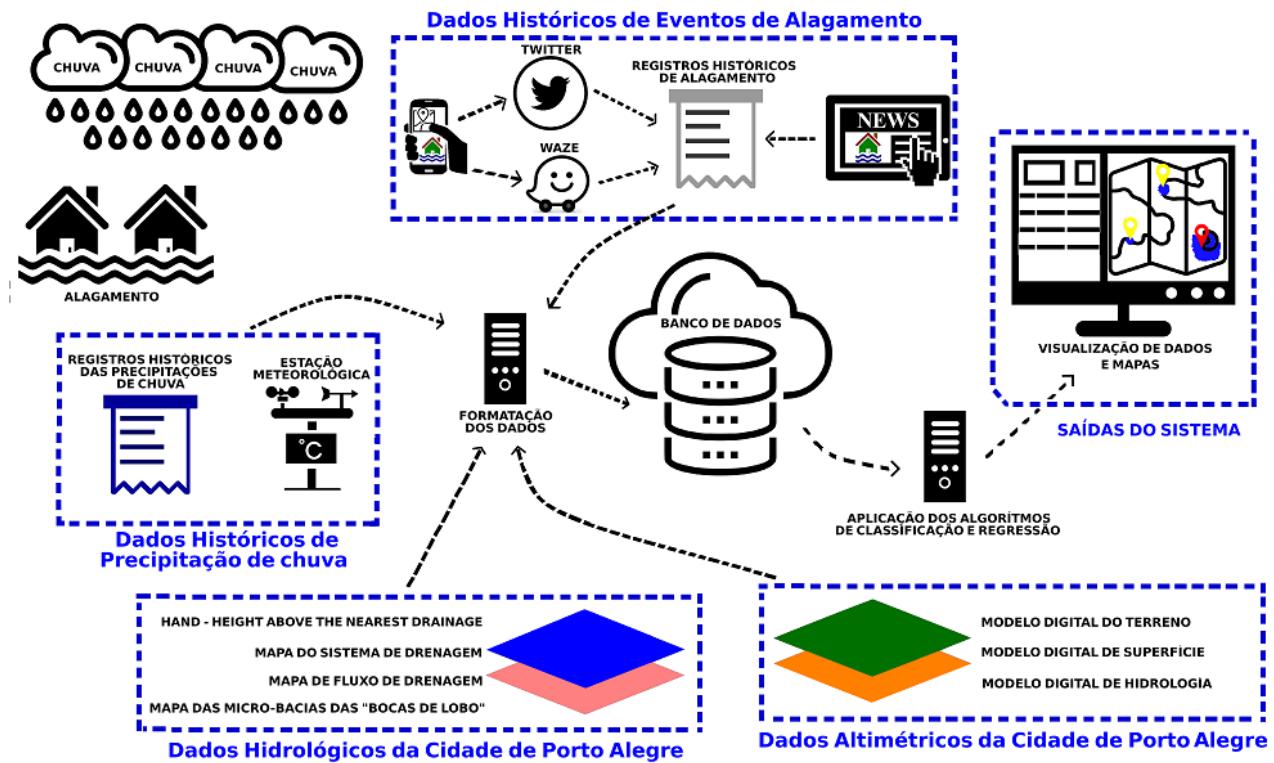


Figura 4.2 – Ilustração da arquitetura geral

Fonte: Imagem adaptada pelo autor [15]

4.4.1 Dados de Entrada do Sistema

A seguir são detalhadas cada entrada do sistema.

4.4.1.1 Dados Históricos de Eventos de Alagamento

O processo de coleta dos dados históricos dos eventos de alagamento foi realizado manualmente pela equipe do LTIG, coordenado pelo professor Regis Lahm. A extração ocorreu por meio do acesso ao acervo pessoal da EPTC, Mídias Digitais (portais de notícias) e Mídias Sociais (extraídos das contas dos usuários de aplicativos). Na Tabela B.1 do Apêndice é apresentado a lista da origem e fonte destas informações.

Para o aplicativo **Twitter**, o LTIG criou a *hashtag* chamada **#alagaPOA**, que tem por finalidade agrupar as informações a respeito do mesmo assunto. Porém, pela baixa popularidade da *hashtag*, os dados foram coletados acessando diversas contas.

Há também informações coletadas do aplicativo **Waze**, no qual os usuários podem relatar um evento de alagamento. Uma característica do aplicativo, é que em cada publicação de um evento de alagamento, a informação permanece disponível no sistema Waze por no mínimo 1 hora. Durante este período, caso tenha uma “curtida”, o tempo é prorrogado por mais 30 minutos. Devido a esta

peculiaridade do aplicativo, a coleta da informação através desta fonte transcorreu em tempo real aos eventos de chuva. A coleta dos relatos neste aplicativo foi efetuada por meio da visualização do mapa dos eventos via *desktop*. O objetivo de obter informações através de redes sociais é precisar as ocorrências sobre alagamento. Os dados obtidos foram armazenados primeiramente em planilhas no formato *.xls* e posteriormente transferidos para o banco de dados, descrito na Figura C1 do Apêndice C.

4.4.1.2 Dados Altimétricos

Os dados da Base Cartográfica da Prefeitura de Porto Alegre foram cedidos pela Secretaria Municipal de Urbanismo (SMURB) ao LTIG. A escala geométrica da Base Cartográfica está sendo fundamental para gerar uma modelagem hidrológica de qualidade. Sendo assim, foram produzidos os arquivos matriciais no formato *raster*, sendo eles, o MDT e, o MDS, no qual apresentam uma resolução de 1 metro quadrado, ou seja, cada *pixel* da imagem representa 1 m^2 e a escala numérica aplicada é de 1:1000, escala até o momento inédita no Brasil.

4.4.1.3 Dados Hidrológicos

Terreno Sujeito a Alagamento

A análise de risco de alagamento é a identificação de zonas suscetíveis ao acúmulo de água e para isso, utiliza-se modelagem hidrológica. Na presente pesquisa, o modelo hidrológico utilizado para identificação do terreno sujeito a alagamento da área de estudo selecionada é denominado HAND.

O termo HAND é uma sigla em inglês para *Height Above the Nearest Drainage*. Em português, literalmente, significa altura acima da drenagem mais próxima. Segundo Rennó [37], o HAND representa o terreno sujeito a alagamento.

Os terrenos sujeito a alagamento podem ser computados a partir de Modelos Digitais de Terreno (MDT), Modelos Digitais de Superfície (MDS) ou Modelos Digitais de Hidrologia (MDH), dependendo da precisão determinada em cada estudo de caso.

Na presente pesquisa o foco está em desenvolver ferramentas de análises de terreno sujeito a alagamento relacionado ao sistema de drenagem urbana. Portanto, são analisadas pequenas extensões territoriais, utilizando como entrada dados altimétricos com altas resoluções espaciais, contendo *pixel* de 1m. Nesta escala de análise hidrológica as áreas de estudo podem ser Bairros ou até Loteamentos.

Neste sentido, tendo em vista o aumento do nível de resolução espacial, em análises de terreno sujeito a alagamento é tecnicamente indicado que se utilize como dados altimétricos modelos hidrológicamente corrigidos (*Hydrologic Enforcement*), sendo estes adequados para representar com maior precisão Modelo Digital Hidrológico, aqui denominado MDH.

O arquivo HAND, que aqui representa o terreno sujeito a alagamento, é obtido como produto final de um processo de modelagem hidrológica. A partir do MDH como arquivo de entrada,

são produzidos 4 arquivos de saída. Na Figura 4.3 é apresentado os 3 primeiros arquivos de saída produzidos e na Figura 4.4 é apresentado o terreno sujeito a alagamento. Os arquivos de saída são:

1. Fluxo de Drenagem (LDD), representa a direção de escoamento da água na superfície;
2. Área de Contribuição, representa o tamanho em m^2 da área que contribui para o acúmulo da água na superfície;
3. Rede de Drenagem, representa o caminho do escoamento da água na superfície. A Rede de Drenagem é extraída selecionando-se um limiar (*threshold*) referente à área de contribuição;
4. Terreno Sujeito a Alagamento (HAND), representa a distância vertical à drenagem mais próxima no terreno. O HAND faz referência ao desnível altimétrico entre cada *pixel* da imagem em relação ao *pixel* da drenagem mais próxima. Logo, quanto menor for o valor do *pixel* no HAND, maior será a chance desta porção do terreno de estar sujeita a alagamentos.

Para realizar o mapeamento de terreno sujeito a alagamento, foi utilizado um algoritmo hidrológico denominado HAND, disponível no *plug-in* TerraHidro versão 0.4.5, junto com o software TerraView versão 4.4.2, ambos desenvolvidos pelo INPE, conforme citado na seção 2.3.4 [11].

A Figura 4.3 mostra um exemplo do processo de modelagem no *plug-in* TerraHidro, que tem como entrada o arquivo MDH.

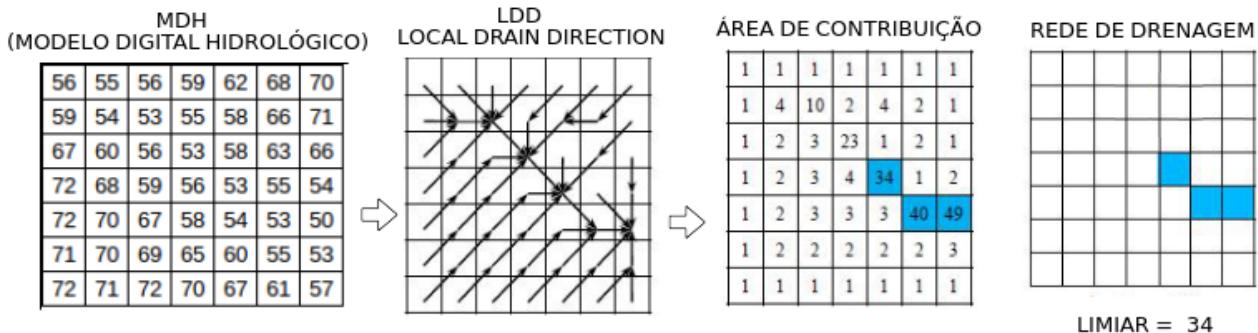


Figura 4.3 – Processo de normalização do MDH com o algoritmo HAND

Fonte: Rennó [37]

No exemplo apresentado na Figura 4.3, o MDH é representado por uma grade com números que significam a altura acima do nível mar de cada (*pixel*). O Fluxo de Drenagem (LDD), é representado pelas setas que indicam as direções do fluxo da água. A Área de Contribuição é representada por uma grade com números que significam a soma do acúmulo contribuição de água para cada *pixel*. A Rede de Drenagem, é representada por *pixel* na cor azul. De acordo com o exemplo utilizado, o *pixel* que inicia a Rede de Drenagem foi definido pelo limiar de valor 34, que significa $34 m^2$ de acúmulo de água, sendo este identificado na grade de Área de Contribuição.

A Figura 4.4 mostra a etapa final do processo para a geração do terreno sujeito a alagamento por meio do algoritmo HAND. Na representação do MDH original, na cor azul, estão identificados cada *pixel* da Rede de Drenagem modelada pelo TerraHidro. Na representação da grade HAND, os mesmos pixel modelados na rede de drenagem possuem valor zero, assim, indicando o caminho da água. Em torno desta rede de drenagem, o algoritmo HAND calcula a diferença de nível vertical subtraindo o valor de cada *pixel* em relação ao *pixel* mais próximo da rede de drenagem modelada, porém utilizando os valores referentes ao MDH original. Logo resultando no arquivo que representa o terreno sujeito a alagamento.

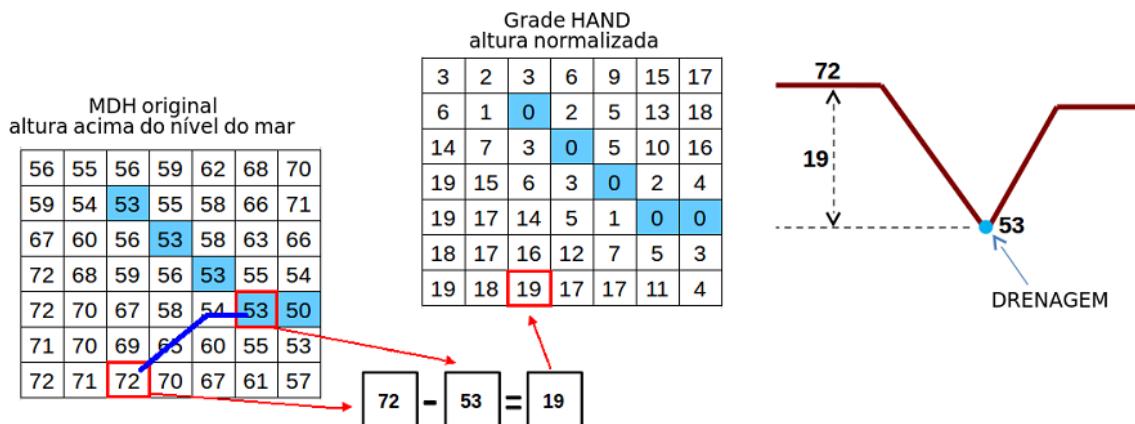


Figura 4.4 – Cálculo da diferença de altura - HAND

Fonte: Rennó [37]

Conforme citado anteriormente na descrição do arquivo de Rede de Drenagem, o TerraHidro utiliza um limiar como parâmetro para identificar o *pixel* de início da rede de drenagem (“nascentes”). Quanto menor for o valor do limiar, maior será o detalhamento da rede de drenagem delimitada. Na presente de pesquisa, a rede de drenagem utiliza um valor de limiar de 100 metros. Este valor foi escolhido pela equipe LSA e LTIG tendo em vista a necessidade de detalhamento da rede de drenagem inerente às ruas e avenidas da área de estudo possibilitando então, a modelagem de terrenos sujeitos à alagamentos, conforme as Figuras 4.5(a) e 4.5(b) a seguir.

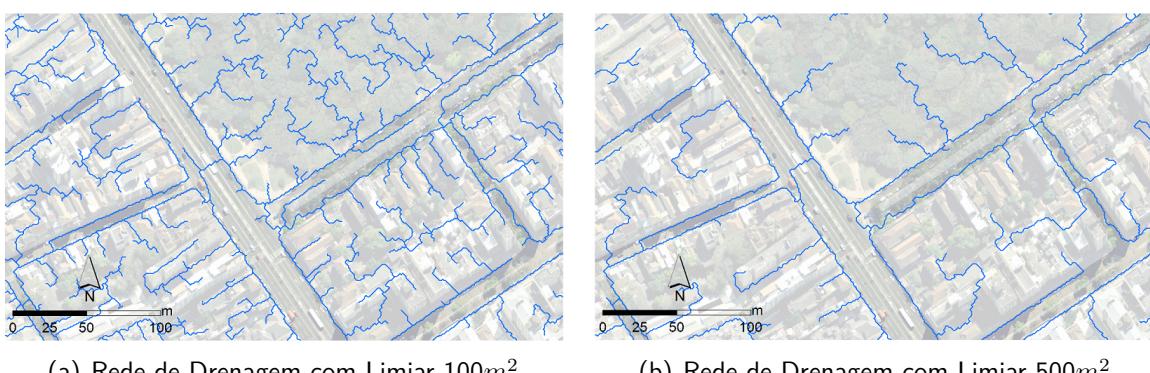
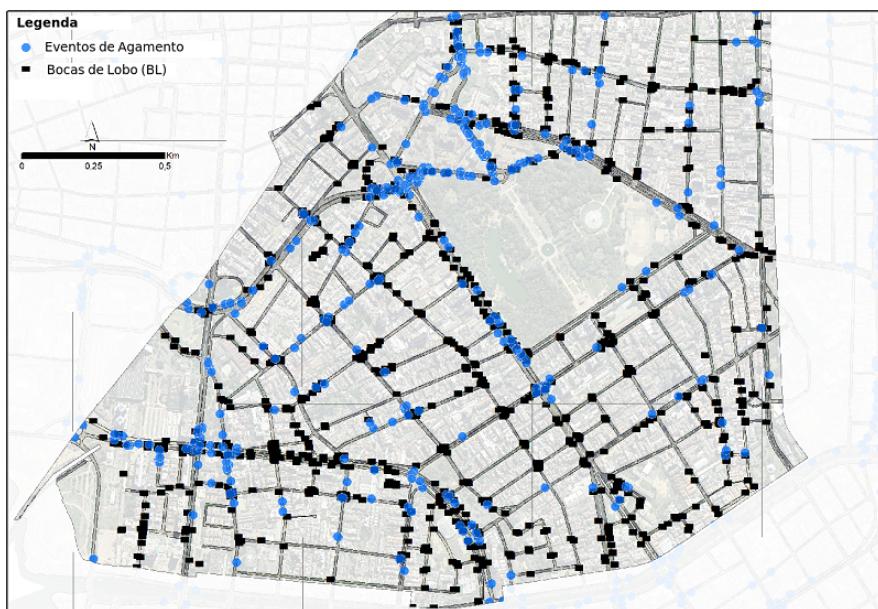


Figura 4.5 – Ilustração da diferença entre um limiar maior e outro menor

Mapeamento das BL

Todo o fluxo de água no escoamento superficial será direcionado a uma BL, esta por sua vez, apresenta-se em um ponto fixo e compõe o sistema de drenagem pluvial da cidade. Na Figura 4.6(a), são apresentadas todas as BL da área de estudo selecionada, juntamente com os registros de eventos de alagamento entre o período de 2012-2017. Já a Figura 4.6(b) apresenta a mesma imagem anterior porém com apenas algumas quadras selecionadas. Os pontos em preto representam as BL e os pontos em azul, os locais de registro de alagamento.



(a) Visão da Área Total de Estudo

Fonte: Imagem Adaptado pelo autor [2]



(b) Parte da Área de Estudo

Figura 4.6 – Ilustração das BL na Área de Estudo com os Registros de Alagamento

Fonte: Imagem Adaptado pelo autor [2]

Para cada BL há uma área de contribuição, ou seja, toda a chuva que escorrer por esta área será direcionado à BL correspondente. A Figura 4.7 mostra a área de contribuição e a BL correspondente. A área delimitada em azul, por exemplo, representa toda a área que contribui para a BL marcada em vermelho, ou seja, toda a água contida sobre a área delimitada, escoará até a BL marcada em vermelho. Os pontos em azul são os registros de alagamento dentro da área de contribuição e fazem parte do estudo de caso explicado posteriormente. Os pontos em verde são outros registros de alagamento. Os pontos em preto são outras BL.

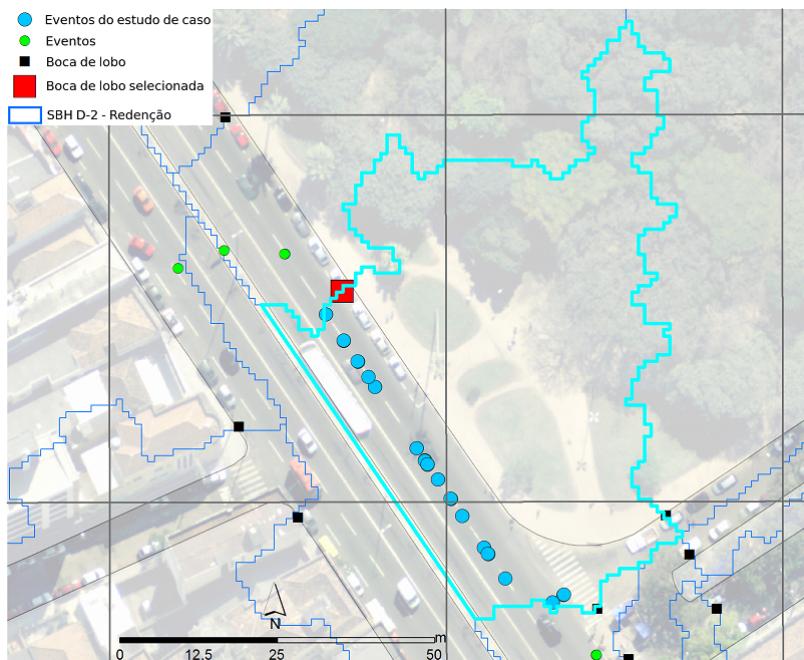


Figura 4.7 – Área de Contribuição de uma BL

Fonte: [2]

As imagens das Figuras 4.8(a) e 4.8(b), representam a BL da Figura 4.7 e é possível visualizar em ambas imagens, que a BL está completamente submersa. A Figura 4.8(a), apresenta uma imagem captada as 14hs 30min do dia 16 de outubro de 2014 e até o exato momento da fotografia, já havia sido registrado pela estação meteorológica 45 mm de precipitação, neste dia o acumulado alcançou 54.9 mm. Já a Figura 4.8(b), apresenta uma imagem captada as 17hs do dia 04 de janeiro de 2017 e até o exato momento da fotografia, já havia sido registrado pela estação meteorológica 101 mm de precipitação, neste dia o acumulado alcançou 107 mm.



(a) Imagem do dia 16 de outubro de 2014



(b) Imagem do dia 04 de janeiro de 2017

Figura 4.8 – Avenida João Pessoa - Redenção
[20] [21]

4.4.1.4 Dados Históricos Meteorológicos

A obtenção dos dados produzidos das estações meteorológicas ocorreu diretamente no *site* das instituições que as administram. Primeiramente, as informações são extraídas para planilhas, no formato de tabelas. Posteriormente, as informações das planilhas são transferidas para banco de dados.

Os registros de precipitação de chuva são gerados pela medição dos sensores pluviométricos instalados nas estações meteorológicas. Em Porto Alegre, há 4 instituições que as administram, sendo 3 públicas e 1 privada, especificamente são: **INMET** (Instituto Nacional de Meteorologia) [9], ligado ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; **Cemaden** (Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais) [2], ligado ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações; **Metroclima**, ligado a prefeitura de Porto Alegre [15]; **Weather Underground**, serviço de informações meteorológicas, recentemente adquirido pela empresa IBM [17].

O intervalo das medições varia de acordo com cada estação. As mensurações apresentam intervalos de 4 minutos à 60 minutos. Cada uma destas entidades possui um formato de dados diferente, sendo necessário criar métodos e procedimentos para uniformizá-los.

Em Porto Alegre há quase 30 estações meteorológicas ativas. A localização delas é muito importante para obter uma relação mais fiel dos evento de alagamento com a quantidade de precipitação mensurada. Visando isto, serão utilizados dados de estações próximas aos locais de estudo.

4.4.2 Enriquecimento dos Dados de Entrada

Sobre os dados de entrada, foram efetuados cálculos e agrupamentos com os registros de precipitação de chuva. O objetivo é enriquecer a massa de dados com mais informações que possam vir a ser relevantes para a predição do risco da ocorrência de alagamento. A seguir são descritos as novas informações adicionadas.

A cada registro efetuado por uma estação meteorológica, foi adicionada a informação da precipitação acumulada referente ao intervalo de 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240, 300 e 360 minutos que antecederam ao registro. Por exemplo, para o intervalo 30 minutos, será calculada e armazenada a soma das precipitações das medições dos últimos 30 minutos que antecederam ao registro.

Outra informação adicionada foi a intensidade de precipitação, nos mesmos intervalos já citados. Por exemplo, para o intervalo 60 minutos, o valor da soma das precipitações registrados nos últimos 60 minutos será dividido por 60, assim a unidade da intensidade será calculada em mm/mim.

Mais outra informação adicionada é o valor de precipitação acumulada por evento contínuo. A medida que o valor registrado de precipitação for maior que zero, tal valor de precipitação vai acumulando. O valor zera no momento que o valor da medição de precipitação for igual a zero, ou seja, não registrar chuva. O tempo de cada evento contínuo também é acumulado e segue o mesmo princípio, ou seja, a contagem de tempo recebe zero no instante que não houver registro de precipitação.

A partir do primeiro registro da estação no dia (meia-noite), todos os demais registros estarão acumulando a quantidade de precipitação e também calculando a intensidade de chuva. Este acúmulo encerra no último registro do dia.

Estudo de Caso

Foram coletados registros de 4 eventos de alagamento em dias distintos. Estes eventos estão inseridos na área de contribuição da BL localizada no logradouro da Av. João Pessoa, 616-944 - Centro Histórico. Esta área de contribuição é a mesma observada na Figura 4.7, bem como o logradouro referido pode ser visto em dias de alagamento nas imagens das Figuras 4.8(a) e 4.8(b)

A Figura 4.9 apresenta 4 gráficos extraídos do estudo de caso. Cada gráfico mostra no eixo X o valor da intensidade de precipitação nos últimos 60 minutos em mm/min, e no eixo Y o período em minutos ao longo do dia selecionado. A marcação na cor vermelho, posiciona o exato momento em que foi reportada a ocorrência de alagamento.

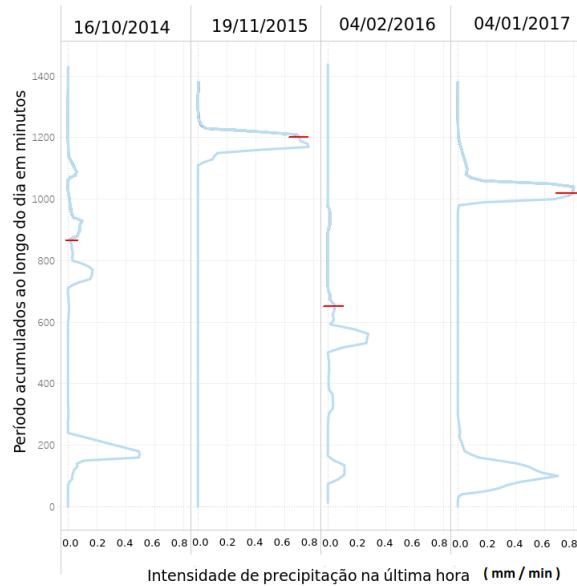


Figura 4.9 – Intensidade nos Últimos 60 Minutos no 4 dias de evento de alagamento estudados

Fonte: Imagem Adaptado pelo autor [2]

A Figura 4.10 também apresenta 4 gráficos extraídos do estudo de caso. Cada gráfico mostra no eixo X o valor de precipitação acumulada ao longo do dia, e no eixo Y o período em horas. A marcação na cor vermelho, posiciona o exato momento em que foi reportada a ocorrência de alagamento.

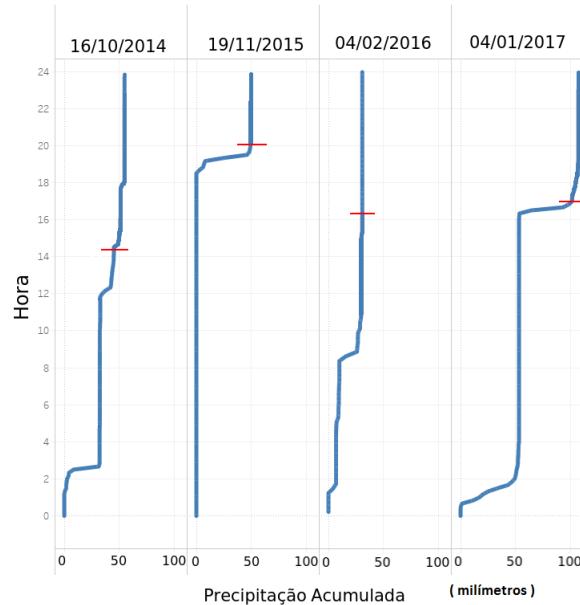


Figura 4.10 – Precipitação Acumulada ao Longo do Dia

Fonte: Imagem Adaptado pelo autor [2]

4.5 Resultados Preliminares e Planejados

Esta Seção relaciona os objetivos específicos descritos na Seção 4.5 com as atividades já desenvolvidas e as que ainda estão em desenvolvimento.

4.5.1 Objetivo Específico 1: Desenvolver aplicações para armazenar os dados

Os dados históricos dos registros de eventos de alagamento, informações sobre as estações meteorológicas, medições de precipitação realizadas pelas estação meteorológicas e informações sobre as BL, originalmente estavam armazenadas em planilhas formato .xls. Para manipulação dos dados de forma integrada, os mesmos foram transferidos para uma base de dados PostgreSQL. Para isto, foram desenvolvidas aplicações em linguagem Python que transferem os dados das planilhas em formato .xls para a base de dados criada no SGBD PostgreSQL, com a extensão espacial PostGIS. O diagrama ER está na Figura C.1 do Apêndice C localizada na página 63 e as aplicações estão descritas no Apêndice D localizada na página 69.

Também na linguagem Python, foram criadas aplicações para enriquecimento dos dados a fim de agregar mais informações relevantes, como precipitações acumuladas e intensidade de precipitação, também descritas no Apêndice D. Isto posto, considera-se que o objetivo específico 1 foi atendido.

4.5.2 Objetivo Específico 2: Efetuar uma análise exploratória preliminar dos dados

Para atender ao objetivo específico 2 são apresentados imagens e gráficos sobre uma breve análise exploratória dos dados no Apêndice A, localizado na página 55

4.5.3 Objetivo Específico 3: Construir algoritmos com técnicas de Classificação e de Regressão

Para atender ao objetivo específico 3, estão sendo realizados estudos e testes iniciais com algoritmos de *machine learning*, com propósito de identificar qual(is) algoritmo(s) apresenta(m) vantagem(ns) frente às variáveis disponíveis na pesquisa, como: precipitações, posição geográfica das estações, pontos recorrentes de alagamentos, relevo da região alagada, diferença entre o alagamento efetivo e o relato do mesmo, tempo de permanência do alagamento, entre outras variáveis que poderão surgir ao longo da pesquisa.

Os algoritmos de aprendizado supervisionado fazem previsões com base em um conjunto de exemplos. Procuram por padrões nas variáveis de entrada e usarão esses padrões para fazer previsões [4]. Aprendizagem supervisionada dividi-se em classificação e regressão.

- Classificação: Quando os dados estiverem sendo usados para prever um valor categórico (0 para não alagado e 1 para alagado). Quando há apenas duas opções, isso é chamado de classificação binomial ou de duas classes [4].
- Regressão: Quando um valor contínuo estiver sendo previsto, como por exemplo, intensidade de chuva para alagar ou volume de precipitação para alagar [4].

Para predizer a ocorrência de um evento de alagamento pode-se utilizar a técnica de análise de regressão. Análise de Regressão é uma coleção de ferramentas estatísticas utilizada para encontrar as estimativas dos parâmetros no modelo de regressão. Ou seja, é uma técnica para modelar e investigar a relação entre duas ou mais variáveis. Por exemplo, se um fenômeno tem relação de incidência com um ou mais eventos, a análise de regressão pode ser usada para construir um modelo e prever a ocorrência deste fenômeno dado o comportamento dos eventos relacionados [33].

Dos modelos de análise de regressão, a regressão logística, assim como as regressões lineares múltipla, estuda a relação entre uma variável resposta e uma ou mais variáveis independentes. Na regressão logística, a variável de interesse (resposta) é dicotômica ou binária. Na previsão, por meio da regressão logística, a decisão pela classificação em uma das duas categorias (ocorrência de alagamento ou não) dependerá de uma série de atributos relacionados às variáveis independentes [42].

Lohmann [42] e René [38], duas teses de doutoramento, são utilizados o método de regressão logística para previsão de inundação em grande escala.

Yang, Chen e Sun [32] utilizam um modelo híbrido de regressão linear e rede neural artificial. O seu modelo de regressão linear prevê o nível da água do rio em relação aos dados dos níveis históricos das últimas horas.

O algoritmo de *Random Forest* é um outro algoritmo que pode executar a classificação ou a regressão. Este é constituído por um conjunto de árvores de decisão menores, podem estimar valores contínuos e categóricos. Alguns ajustes na implantação do algoritmo é a definição do tamanho da árvore e o número de nodos folha. A configuração ajustará os valores preditores.

Com base neste estudos anteriormente apresentados e outros a serem pesquisados, os mesmos serão aprofundados com a finalidade de obter a ciência do método de Análise de Regressão na previsão dos alagamentos.

4.5.4 Objetivo Específico 4: Apresentar por meio de mapa o índice de risco de alagamento

A visualização de dados é um termo abrangente que cobre todos os tipos de representações visuais, tais como, gráficos, diagramas, mapas, dentre outros. Estão em andamento estudos para a definição da melhor forma de representar os resultados. No entanto, para fins de exemplo de visualização, como uma saída da modelagem computacional, é apresentada na Figura 4.11. Na

figura, a probabilidade de alagamento das BL será caracterizado com a identificação das seguintes cores:

- VERDE : BL sem risco de alagamento.
- AMARELO : BL com alto risco de alagamento.
- VERMELHO : BL alagada.

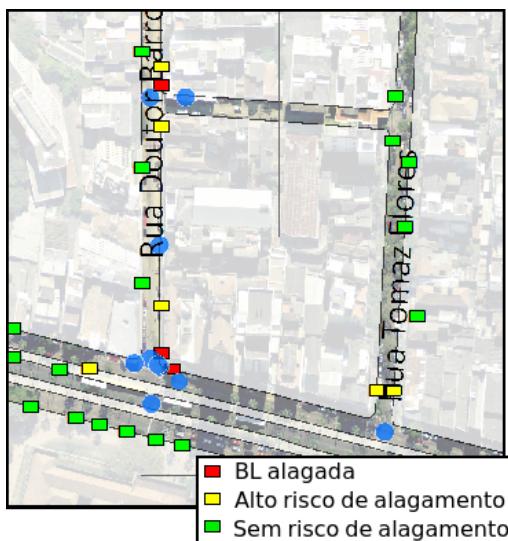


Figura 4.11 – Visualização do Mapa com Risco Alagamento

Fonte: Imagem adaptado pelo autor

4.6 Atividades e Plano de Trabalho

Esta seção descreve as atividades a serem realizadas entre setembro de 2017 até agosto de 2018.

1. Revisar os métodos estatísticos para dados hidrológicos de previsão de alagamentos urbanos, com a obtenção de uma lista dos potenciais métodos. O método de análise de regressão logístico e *Random Forest* já foram utilizados em alguns casos de predição de inundação, sendo potenciais métodos selecionados;
2. Tratar os dados de entrada para cada padrão (INMET, Cemaden, Metroclima e Weather Underground) de estação meteorológica, antes do armazenamento no banco de dados, com o objetivo de ter os dados íntegros. Opcionalmente um destes tipos de estações devem ser acessadas em tempo real, o que significa que a verificação dos dados deve ser realizada previamente a sua inserção no banco;

3. Tratar os dados *Outlier* (pontos fora da curva), ou seja, dados que são inconsistentes, estranhos ou distante dos outros dados. Ocorrem por erro de mensuração ou muita variabilidade entre as estações e nos registros de alagamento. Os *outliers* podem causar erro na interpretação dos resultados. Para detectá-los utiliza-se métodos de dispersão estatística, como por exemplo: medida de variância, mediana ou medida de desvio padrão;
4. Implementar dois ou mais métodos revisados na atividade anterior com o objetivos de predizer os alagamentos com base nos dados históricos e geográficos já mencionados;
5. Realizar testes e avaliação do método de regressão, revisados na atividade anterior, com base nos dados históricos e geográficos já mencionados;
6. Escrever artigo sobre a forma que os dados históricos (precipitações e eventos relatados), dados geográficos e métodos estatísticos contribuíram para a previsão de alagamentos em Porto Alegre;
7. Preparar a apresentação do seminário de andamento. Relatar o que foi concluído, o que está em andamento e o que vai ser realizado;
8. Estudar as formas mais adequadas de visualização de dados, principalmente a apresentação de mapas e gráficos. Este estudo tem por objetivo garantir a exibição das variáveis do problema dos alagamentos a um público leigo em computação; e Realizar a integração da implementação desenvolvida no item 4 e 5 com os meios de visualização estudados e selecionados.
9. Escrever a dissertação. Relatar o processo de pesquisa e os resultados alcançados;

Mês Atividade	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										

Tabela 4.1 – Plano de trabalho para os próximos 12 meses do projeto

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] 100 resilient cities - pioneered by the rockefeller foundation. <http://www.100resilientcities.org/>. Accessed: 2017-05-18.
- [2] Arcgis - software de manipulação e visualização de dados geográficos. <https://www.arcgis.com/features/index.html>. Accessed: 2017-08-03.
- [3] Chuva causa transtornos no trânsito de porto alegre. <http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/noticia/2017/06/chuva-causa-transtornos-no-transito-de-porto-alegre-9805614.html>. Accessed: 2017-06-23.
- [4] Como escolher algoritmos de aprendizado de máquina do microsoft azure. <https://docs.microsoft.com/pt-br/azure/machine-learning/machine-learning-algorithm-choice>. Accessed: 2017-09-10.
- [5] Defeitos construtivos - bocas de lobo. <http://licelioribeiro.blogspot.com.br/2014/08/defeitos-construtivos-parte-vi-bueiros.html>, note = Accessed: 2017-09-18.
- [6] Distribution maps software - dmap. <http://www.dmap.co.uk/>. Accessed: 2017-06-26.
- [7] EM-DAT international disaster database. <http://www.emdat.be/database>. Université catholique de Louvain (UCL), Bruxelas, Bélgica, Accessed: 2017-03-13.
- [8] Estratégia de resiliência de porto alegre. <http://www.portoalegreresiliente.org/documentos/>. Accessed: 2017-05-04.
- [9] A geospatial open collaborative architecture for building resilience against disasters and extreme events. <http://www.agora.icmc.usp.br/>. Accessed: 2017-03-28.
- [10] Glossário de cartografia. http://portalgeo.rio.rj.gov.br/mlateral/glossario/T_Cartografia.htm. Accessed: 2017-09-17.
- [11] Grupo de modelagem para estudos da biodiversidade - inpe. <http://www.dpi.inpe.br/~alexandre/TerraHidro/>. Accessed: 2017-08-02.
- [12] Hydrologic enforcement of lidar dems. <https://pubs.usgs.gov/fs/2014/3051/>. Accessed: 2017-07-18.
- [13] Iowa flood information system. <http://ifis.iowafloodcenter.org/ifis/>. Accessed: 2017-03-31.
- [14] Lidar base specification. <https://pubs.usgs.gov/tm/11b4/pdf/tm11-B4.pdf>. Accessed: 2017-07-18.
- [15] Onlinewebfonts. <https://www.onlinewebfonts.com/icon/>. Accessed: 2017-06-28.

- [16] Postgis 2.4.0 - manual. <http://postgis.net/docs/manual-dev/postgis-br.html>. Accessed: 2017-06-30.
- [17] Proteção e defesa civil - são bernardo do campo. <http://dcsbcsp.blogspot.com.br/2011/06/enchente-inundacao-ou-alagamento.html>. Accessed: 2017-03-27.
- [18] Terrahidro - inpe. <http://www.dpi.inpe.br/menu/Projetos/terrahidro.php>. Accessed: 2017-08-02.
- [19] Terraview - inpe. <http://www.dpi.inpe.br/terraview/index.php>. Accessed: 2017-08-02.
- [20] Twitter centro de comando poa.
- [21] Twitter plantão rs. <https://twitter.com/plantaors>, note = Accessed: 2017-09-18.
- [22] Stan Aronoff. *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. W D L Publication, 1989.
- [23] P. Burrough and McDonnell R. *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press, 1998.
- [24] Antônio Luiz Coimbra de Castro. *Manual de Desastres*. volume I. Ministério da Integração Nacional, 2003.
- [25] Robert Allan Clark III. *Machine Learning Predictions Of Flash Floods*. PhD thesis, 2016.
- [26] Gilberto Câmara, Antônio Miguel Monteiro, Clodoveu Davis, Carlos Alberto Felgueiras, Júlio César Lima D'Alge, Gilberto Ribeiro de Queiroz, João Pedro Cordeiro, and Cláudio Clemente Faria Barbosa. *Introdução à Ciência da Geoinformação*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2001.
- [27] Paulo Robert Fitz. *Geoprocessamento sem complicaçāo*. 8586238821. Oficina de Textos, 2008.
- [28] S. Gaitan, L. Calderoni, P. Palmieri, M. C. t. Veldhuis, Maio D., and M. B. Van Riemsdijk. From sensing to action: Quick and reliable access to information in cities vulnerable to heavy rain. *IEEE Sensors Journal*, (12):4175–4184, 2014.
- [29] Michael Frank Goodchild. Geographical information systems in undergraduate geography: a contemporary dilemma. *Canadian Association of Geographers Annual Meeting - The Operational Geographer: La géographie appliquée*, (8):34–38, 1985.
- [30] M Kobiyama, T Checchia, R. V Silva, P. H Schröder, A. Grando, and G. M. P. Reginatto. Papel da comunidade e da universidade no gerenciamento de desastres naturais. 2004.
- [31] M. Kobiyama, M. Mendonça, D. A. Moreno, Isabela P. V. de O. Marcelino, Emerson V. Marcelino, Edson F. Gonçalves, Letícia Luiza P. Brazetti, Roberto F. Goerl, Gustavo S. F. Moller, and Frederico de M. Rudorff. *Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos*. Organic Trading, 2006.

- [32] Marciel Lohmann. *Regressão Logística e Redes Neurais Aplicadas à Previsão Probabilística de Alagamento no Município de Curitiba, PR*. PhD thesis, 2011.
- [33] D.C. Montgomery and G.C. Runger. *Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros*. LTC, 2003.
- [34] R.O. Obe and L.S. Hsu. *PostGIS in Action*. Manning, 2015.
- [35] Maria de Fátima Pina and Simone M. Santos. *Conceitos básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia aplicados à saúde*. Organização Panamericana da Saúde, 2000.
- [36] Maria de Fátima de Pina and Simone M. Santos. *Conceitos básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia aplicados à saúde*. Organização Pan-Americana da Saúde - OPAS, 2000.
- [37] Camilo Daleles Rennó, Antonio Donat Nobre, Luz Adriana Cuartas, João Viane Soares, Martin G. Hodnett, Javier Tomasella, and Maarten J. Waterloo. Hand, a new terrain descriptor using srtm-dem: Mapping terra-firme rainforest environments in amazonia. *Remote Sensing of Environment*, (112):3469–3481, 2008.
- [38] Jeanne-Rose Christelle René. *Probabilistic Real-Time Urban Flood Forecasting Based on Data of Varying Degree of Quality and Quantity*. PhD thesis, 2014.
- [39] Cézar Henrique Barra Rocha. *Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar*. Editora do Autor, 2000.
- [40] Ramesh S. V. Teegavarapu. *Floods in a Changing Climate: Extreme Precipitation*. Cambridge University Press, 2012.
- [41] C.E.M. Tucci. *Hidrologia: ciência e aplicação*. ABRH. Coleção de Recursos Hídricos. Editora da Universidade, 1993.
- [42] Taimeng Yang, Guanlin Chen, and Xinxin Sun. A big-data-based urban flood defense decision support system. *International Journal of Smart Home*, (12):81–90, 2015.

APÊNDICE A – ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS

A seguir, uma breve análise exploratória dos dados coletados até o momento. Os gráficos e tabela abaixo são resultados da extração dos dados da área de estudo selecionada, como visto na Figura 4.1.

A Figura A.1 apresenta as 10 BL com maior quantidade de registros de eventos de alagamento durante o período de 2014 até o primeiro semestre de 2017. Os eventos registrados estão inseridos dentro da área de contribuição de cada BL, como pode ser entendido na explicação da Figura 4.7.

ID	Logradouro	Quantidade
8891	Av. Osvaldo Aranha, 340 - Bom Fim, Porto Alegre - RS, 90035-190, Brazil	55
10333	Av. Loureiro da Silva, 4509 - Cidade Baixa, Porto Alegre - RS, Brazil	31
10383	Av. Joo Pessoa, 975 - Cidade Baixa, Porto Alegre - RS, 90040-000, Brazil	29
10337	R. Eng. Luiz Englert, 242-252 - Farroupilha, Porto Alegre - RS, 90040-040, Brazil	22
10431	Av. Aureliano de Figueiredo Pinto, 285-307 - Praia de Belas, Porto Alegre - RS, 90050-191, Brazil	19
8878	Av. Paulo Gama, 2-58 - Farroupilha, Porto Alegre - RS, 90040-060, Brazil	18
9702	Condomínio Edifício Executives Center - Av. Osvaldo Aranha, 1423 - Bom Fim, Porto Alegre - RS, 90035-191, Brazil	18
10434	R. Dr. Vicente de Paula Dutra, 272-300 - Praia de Belas, Porto Alegre - RS, 90110-200, Brazil	15
9698	Av. Venceslau Aires, 1071-1085 - Cidade Baixa, Porto Alegre - RS, 90040-191, Brazil	12
8880	R. Sarmento Leite, 538-540 - Farroupilha, Porto Alegre - RS, Brazil	10

Figura A.1 – 10 Bocas de Lobo com Maior Recorrência de Registros de Alagamento

O gráfico da Figura A.2 apresenta o volume de precipitação máxima no dia por quantidade de eventos de alagamento registrados no mesmo dia, durante o período de 2014 até o primeiro semestre de 2017. Nota-se que quanto maior é a quantidade de precipitação de chuva, maior será o número de registros reportados.

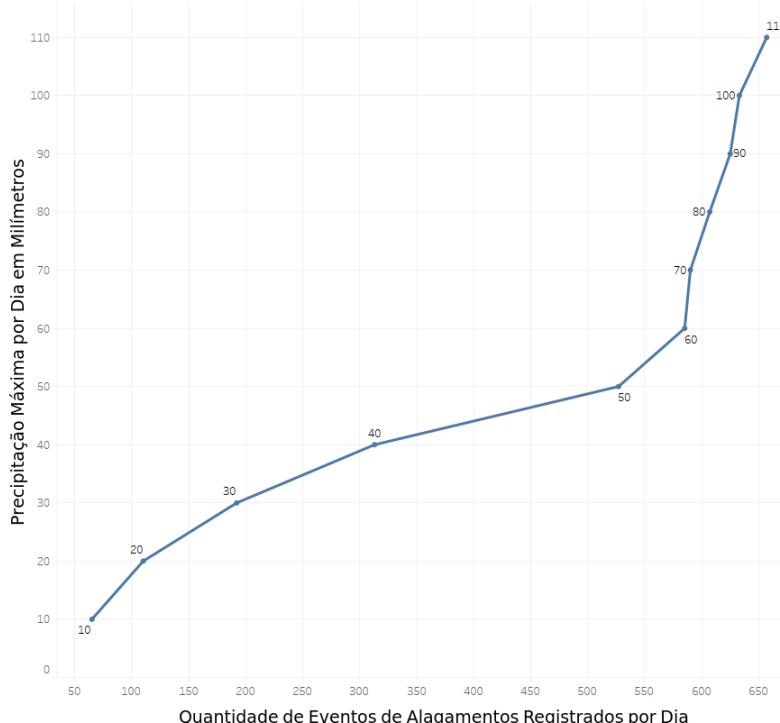


Figura A.2 – Quantidade de Eventos de Alagamento por Precipitação Máxima registrada no Dia do Alagamento

A Figura A.3 apresenta a relação entre os dias em que houve ocorrência de alagamento e a precipitação máxima registrada pela estação meteorológica no respectivo dia. Na parte superior, observa-se a separação por ano, trimestre e mês; na parte inferior, observa-se os dias de alagamento. Acima de cada barra está a quantidade de precipitação acumulada no dia.

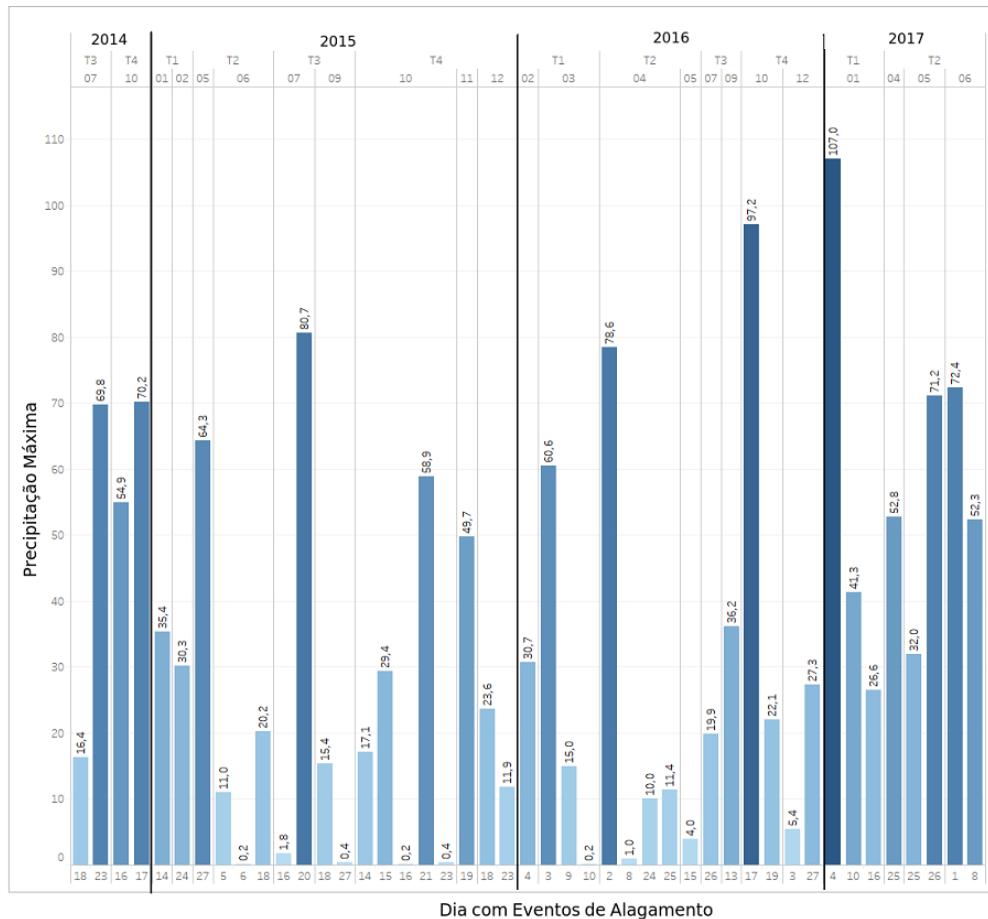


Figura A.3 – Máxima Precipitação Registrada em Cada Dia que Houve Ocorrência de Alagamento

A Figura A.4 apresenta a quantidade de eventos reportados por ano. É possível observar que no ano de 2015 ocorreram mais eventos, pois neste ano foram registrados maiores quantidades de precipitações, como pode ser observado na Figura A.3.

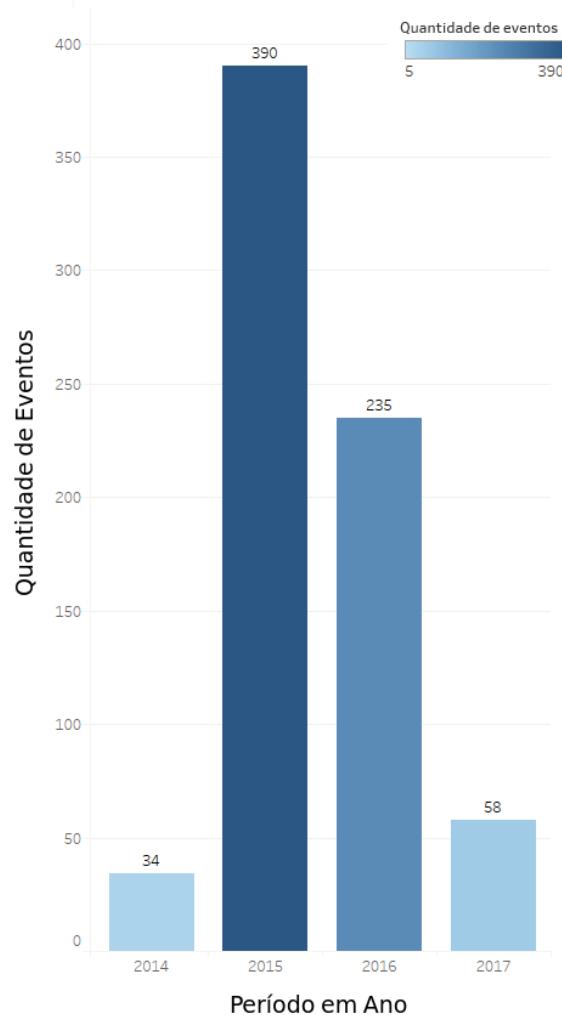


Figura A.4 – Quantidade de Eventos de Alagamento Registrados por Ano na Área Estudada

A Figura A.5 apresenta o gráfico do valor médio do HAND atingido (em metros de altura) por valor de precipitação máxima registrada no dia. À medida que a precipitação de chuva cai e a vazão do sistema de drenagem não comporta o volume, a água começa a acumular na superfície. O eixo X representa o valor da precipitação máxima em milímetros. O eixo Y representa o valor médio da altura do alagamento em relação a BL correspondente. Nota-se que com uma precipitação máxima de 10 mm, o valor médio do HAND (que identifica o terreno sujeito a alagamento) atinge 0,1720 metros.

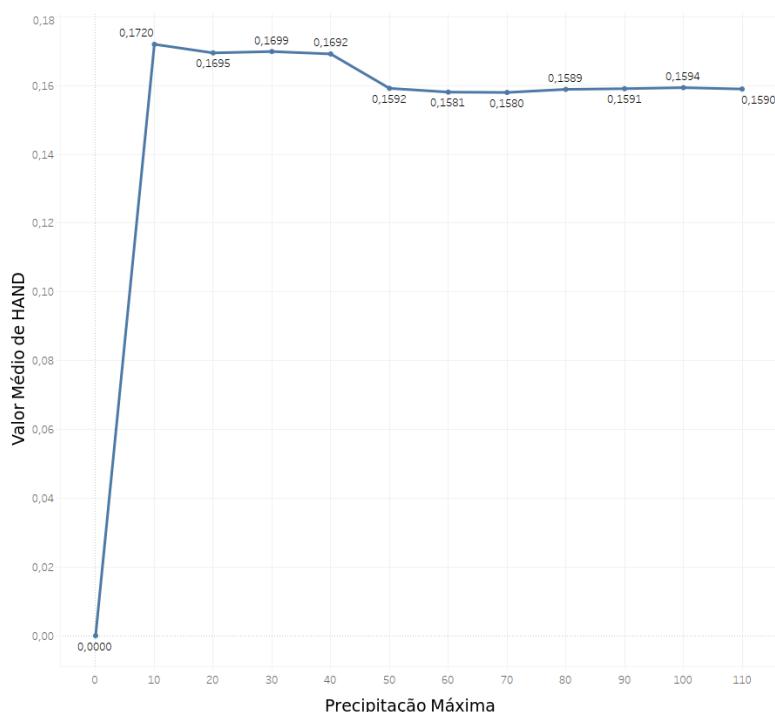


Figura A.5 – Precipitação de Chuva Máxima por Valor Médio de HAND

A Figura A.6 apresenta o gráfico do valor máximo do HAND (altura máxima do alagamento em relação a BL, em metros) por dia em que houve registro de eventos de alagamento, ou seja, a altura do alagamento. Na parte superior, observa-se a separação por ano, trimestre e mês; na parte inferior, observa-se os dias. Acima de cada barra está o valor da altura em que a água alcançou em relação a BL (valor HAND) registrada no dia. Observa-se que no dia 27 de dezembro de 2016, a altura máxima de um ponto de alagamento alcançou 0,8242 metros em relação a BL. Nota-se que no ano de 2015 os eventos de alagamento atingiram alturas (valor HAND) maiores, isso se explica pelo elevado volume de precipitação registrado, visto na Figura A.3, bem como o grande número de eventos registrados, conforme observado na Figura A.4.

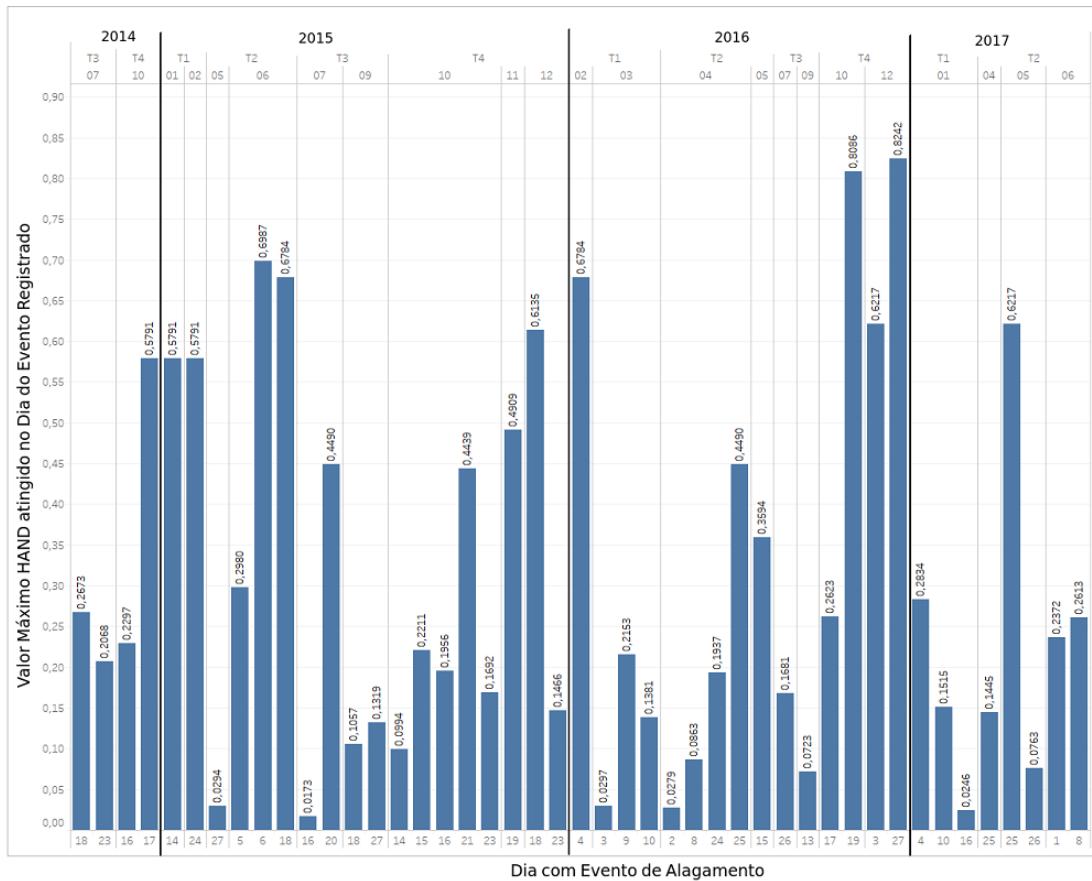


Figura A.6 – Valor Máxima de HAND Atingido em cada Dia que Houve Ocorrência de Alagamento

APÊNDICE B – FONTE DOS DADOS DOS REGISTRO DE ALAGAMENTO

ORIGEM	FONTE	QTDE. EVENTOS
Acervo pessoal	EPTC	32
		243
Midia Digital	CEIC	3
	EPTC	5
	Jornal do Comércio	1
	Jornal Floripa	1
	Plantão RS	3
	Porto Imagem	8
	Prefeitura de Porto Alegre	7
	RBS	128
	RECORD	62
	REDE GLOBO	25
Midia Social		633
	Twitter	258
	Waze	375
Total Eventos		908
FONTE	CONTA	QTDE. EVENTOS
CEIC		3
	sem dados	3
EPTC		37
	Centro	22
	Plantão	8
	sem dados	5
	Sul	2
Jornal do Comércio		1
	sem dados	1
Jornal Floripa		1
	sem dados	1
Plantão RS		3
	sem dados	3
Porto Imagem		8
	portoimagem.wordpress.com	8
		7
Prefeitura de Porto Alegre	CEIC	3
	EPTC	3
	SITE PMPOA	1
RBS		128
	Diario de Santa Maria	2
	Gaucha Clickrs	4
	Rádio Gaúcha	1
RECORD	Zero Hora	121
		62
	Correio do Povo	42
	Rádio Gaúba	20
REDE GLOBO		25
	G1	25
Twitter		258
	_PauloRocha	8
	agoranotransito	10
	analima_vet	1
	andrelmachado	1
	andressasilvano	1
	aovivozh	4
	CEIC_POA	1
	clan2708	14
	EduPagnella	1
	EPTC_POA	78
	felipedarit	23
	fernandodolores	1
	fornao_berthold	2
	GuilhermeKepier	2
	lucasabatti	5
	maira_gatto	5
	marcelo_peres	1
	marinapagno	13
	mateusferraz	5
	maurenzavier09	10
	mefortuna	4
	OMarcusBruno	3
	PlantaoRS	5
	rbenfatto	1
	RdGaucha	6
	silva_naor	2
	TransitoPOARS	26
	transitozh	10
	vankannenberg	2
Waze	VivendoPORTOALE	7
	voitairesantos	4
	yasmin_luz	1
	zerohora	1
		375
	sem dados	375
Total Eventos		908

Figura B.1 – Origem e Fonte das informações coletadas referentes aos registros de alagamento em Porto Alegre

APÊNDICE C – DIAGRAMA ENTIDADE-RELACIONAMENTO

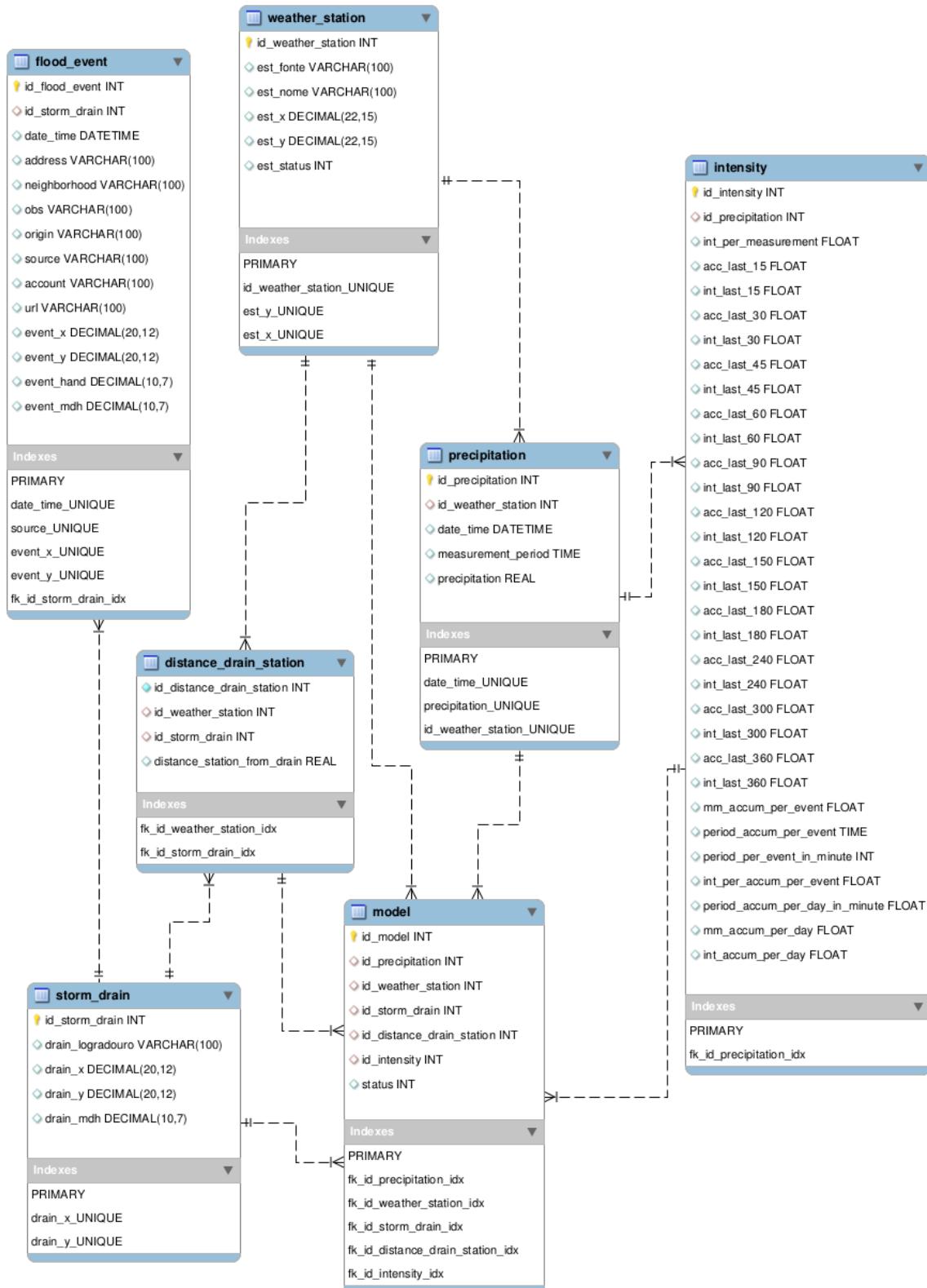


Figura C.1 – Representação do diagrama entidade relacionamento

- Relação dos Atributos das Tabelas do Banco de Dados

Atributos da Tabela *flood_event* :

- **id_flood_event**: Identificador único do evento de alagamento. Exemplo: 987654.
- **id_storm_drain**: Identificador na BL. Exemplo: 874.
- **date_time**: Data e horário completo referente ao momento em que o evento de alagamento foi publicado na Fonte. Exemplo: 11/07/2017 07:12.
- **address**: Logradouro registrado na Fonte como o local do evento de alagamento. Exemplo: Rua Edu Chaves, 600.
- **neighborhood**: Bairro registrado na Fonte como sendo onde o evento de alagamento ocorreu. Exemplo: São João.
- **obs**: Observações relatadas sobre o evento de alagamento. Exemplo: Próximo a Av. Sertório.
- **origin**: Origem da informação. Exemplo: Mídia Digital, Mídia Social ou Acervo Pessoal
- **source**: Veículo de comunicação que publicou a notícia. Exemplo: RBS, Twitter, Waze, etc.
- **account**: Conta vinculada ao veículo de comunicação que publicou a notícia. Exemplo: Zero Hora, @AlagaPOA, @EPTC_POA, etc.
- **url**: Endereço da URL em que foi publicado o evento de alagamento. Exemplo: <http://zh.clicrbs.com.br/rs/alegre/transito/noticia/2016/07/chuva-provoca-diversos-pontos-de-alagamentos-em-porto-alegre-6534804.html>
- **event_x e event_y**: Coordenadas geográficas do local onde ocorreu o evento de alagamento, no formato SIRGAS2000 / UTM 22S. Tal formato representa as coordenadas em metros. A vantagem da obtenção das coordenadas em metros é a possibilidade do cálculo de distâncias entre dois ou mais pontos. Exemplo de coordenadas em formato métrico: 481655.581608276 e 6680998.08386683.
- **event_hand**: Representa a distância vertical em relação ao ponto mais baixo da rede de drenagem modelada pelo TerraHidro (explicado posteriormente). Exemplo: 0.2 m.
- **event_mdh**: Representa a distância vertical em relação ao nível do mar modelada pelo TerraHidro (explicado posteriormente) Exemplo: 41.2 m.

Atributos da Tabela *storm_drain* :

- **id_storm_drain**: Identificador único da BL. Exemplo: 12345.
- **drain_logradouro**: Logradouro onde se localiza a BL. Exemplo: Av. João Pessoa, 1000.

- **drain_x e drain_y:** Coordenadas geográficas do local da BL, no formato SIRGAS2000 / UTM 22S. Tal formato representa as coordenadas em metros. Exemplo de coordenadas em formato métrico: 481234.123456 e 6687777.123456.
- **drain_mdh:** Apresenta a altura do relevo da BL. Esta informação é relevante para identificar o risco de alagamento, ou seja, quanto menor a altura do relevo maior será a probabilidade de alagamento. Exemplo: 62.

Atributos da Tabela *weather_station* :

- **id_weather_station:** Identificador único da estação meteorológica. Exemplo: 401.
- **est_font:** Empresa que administra a estação meteorológica. Exemplo: Cemaden.
- **est_nome:** Nome próprio da estação meteorológica. Exemplo: Cidade Baixa.
- **est_x e est_y:** Coordenadas geográficas da estação meteorológica, no formato SIRGAS2000 / UTM 22S. Tal formato representa as coordenadas em metros. Exemplo de coordenadas em formato métrico: 483333.654321 e 6678899.654321.
- **est_status:** Status se a estação meteorológica está ativa ou desativada. Exemplo: 1 para ativa e 0 para desativada.

Atributos da Tabela *distance_drain_station* :

- **id_distance_drain_station:** Identificador único da distância entre BL e a estação meteorológica. Exemplo: 9898.
- **id_storm_drain:** Identificador único da BL. Exemplo: 12345.
- **id_weather_station:** Identificador único da estação meteorológica. Exemplo: 401.
- **distance_station_from_drain:** Distância em metros da BL e a estação meteorológica. Exemplo: 2450m.

Atributos da Tabela *precipitation* :

- **id_precipitation:** Identificador único da precipitação registrada. Exemplo: 234578.
- **id_weather_station:** Identificador da estação meteorológica que registrou a medição de precipitação. Exemplo: 201.
- **date_time:** Data e horário completo referente ao momento em que a medição de precipitação foi registrada na estação. Exemplo: 14/01/2015 15:30.
- **measurement_period:** É a diferença de tempo da última medição a medição atual. Exemplo: 00:05:00 (intervalo de 5 minutos).

- **precipitation:** Medição da altura, em milímetros, da quantidade de precipitação captada pela estação. Exemplo: 12.00.

Atributos da Tabela *intensity* :

- **id_intensity:** Identificador único da tabela Identity. Exemplo: 12345.
- **id_precipitation:** Identificador do registro da medição realizado pela estação meteorológica. Exemplo: 23432
- **int_per_measurement:** Resultado da divisão de cada medição registrada pela estação meteorológica pelo seu respectivo intervalo de tempo. Exemplo: Dia 10 de Abril as 14:20:00 foi registrado 2 mm no período de 10 minutos. Logo, $2 \text{ mm} / 10 \text{ minutos} = 0.2 \text{ mm/min}$.
- **acc_last_XX:** As letras XX são substituídas por 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240, 300, 360 Minutos. Resultado da precipitação acumulada no intervalo de cada período citado. Este processo é executado a cada registro da estação meteorológica. Exemplo: uma estação registrou 0.1 mm as 14:30 do dia 01/05/2017; para o período de 15 minutos, será criado um registro com a soma das precipitações a partir de 15 minutos antes do horário, ou seja, toda a precipitação de 14:15 até 14:30; assim sucessivamente até 360 minutos anteriores ao registro (o resultado será em milímetros).
- **int_last_XX:** As letras XX são substituídas por 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240, 300, 360 Minutos. Resultado da divisão do acumulado calculado no item anterior pelo respectivo tempo. Exemplo: $30 \text{ mm} / 300 \text{ minutos} = 0.1 \text{ mm/min}$.
- **mm_accum_per_event:** Resultado da soma da precipitação de cada evento de chuva, que inicia ao primeiro registro da estação meteorológica (> 0) e encerra quando o registro da estação for igual a 0 (zero). Exemplo: 21 mm.
- **period_accum_per_event:** Contagem de tempo do item anterior (tempo entre o primeiro registro maior do que zero e o último antes de voltar a registrar zero). Este registro será em formato HH:MM:SS. Exemplo: 01:10:00, ou seja, a estação registrou medição de precipitação maior do que zero por 1 hora e 10 minutos.
- **period_per_event_in_minute:** Contagem de tempo do item anterior (tempo entre o primeiro registro maior do que zero e o último antes de voltar a registrar zero). Este registro será em formato inteiro. Exemplo: 60 minutos, ou seja, a estação registrou medição de precipitação maior do que zero por 1 hora.
- **int_per_accum_per_event:** Resultado da divisão do atributo mm_accum_per_event pelo atributo period_per_event_in_minute. Exemplo: $30 \text{ mm} / 30 \text{ minutos} = 1 \text{ mm/minuto}$.
- **period_accum_per_day_in_minute:** Conversão para o total de minutos para cada horário do dia. Exemplo: 6 horas da manhã representam 360 minutos.

- **mm_accum_per_day:** Resultado da soma da precipitação acumulada ao longo do dia. A cada período registrado do dia, é armazenado o total de precipitação desde a meia-noite. Ao final do dia o contador é zerado. Exemplo: 19/11/2015 06:00:00 = 60 mm, significa que o acúmulo de precipitação desde a meia noite do dia até as 06:00:00 era de 60mm.
- **int_accum_per_day:** Resultado da divisão da Precipitação Acumulada por Dia pelo Período Acumulado por Dia em Minutos. Exemplo: 19/11/2015 06:00:00 = 60 mm de acumulado de chuva, então 60 mm / 360 minutos = 0.16667 mm/minuto.

Atributos da Tabela *model* :

- **id_model:** Identificador único da tabela Model. Exemplo: 5689.
- **id_precipitation:** Identificador do registro da medição realizado pela estação meteorológica. Exemplo: 23432.
- **id_weather_station:** Identificador da Estação Meteorológica. Relaciona a tabela Exemplo: 103.
- **id_storm_drain:** Identificador da BL. Exemplo: 678.
- **id_distance_drain_station:** Identificador da relação de distância que da BL para cada Estação Meteorológica. Exemplo: 890.
- **id_intensity:** Identificador da tabela Intensity em que estão armazendos os acúmulos e intensidades de chuva. Exemplo: 4566
- **status:** Caracteriza se a BL está alagada ou não. O valor representado por 1 (um), significa que a BL está alagada e se o valor for igual a 0 (zero), significa BL não alagada. Por meio dos registros de alagamento, será definido o *status* da BL. Por exemplo, quando houver um registro de alagamento dentro da bacia de contribuição de uma determinada BL, significa que esta BL está alagada. Definição do *status* 1 (alagado): Analisa-se as ocorrências de alagamento que pertencem a bacia de contribuição de cada BL da região estudada. Para cada ocorrência de alagamento, relaciona-se a data/hora da tabela *flood_event* com a tabela *intensity*.

APÊNDICE D – RELAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS APLICAÇÕES DESENVOLVIDAS ATÉ O MOMENTO

- Aplicação para armazenar os dados dos Eventos de Alagamento no banco de dados A aplicação efetua os seguintes passos:
 - Recebe como parâmetro um arquivo no formato *.xls* separado por colunas os seguintes dados: Data/Hora; Logradouro; Bairro; Observação; Origem; Fonte; Conta; Endereço URL e Coordenadas Geográficas.
 - Efetua a conexão ao banco de dados PostgreSQL.
 - Realiza consulta a tabela *flood_event*, caso a mesma não exista, a tabela é criada.
 - Carrega todas as colunas em um *dataframe* do pacote Pandas do Python.
 - Remove as linhas duplicadas, informações idênticas em mais de uma linha nas colunas Data/Hora, Fonte e Coordenadas Geográficas são retiradas.
 - Verifica se os campos: Data/Hora; Logradouro; Bairro; Endereço URL e Coordenadas Geográficas são nulos, caso sim, a linha é removida.
 - Testar e formatar o campo Data/Hora para tornar-se compatível ao banco de dados PostgreSQL.
 - Percorre cada linha do *dataframe* e monta o *script* de inserção no banco de dados.
 - Executa cada linha criada no item anterior. O identificador único da tabela *flood_event* é gerado por uma *sequence* criada no próprio banco de dados.
 - retorna o número de linhas inseridas no banco de dados.
- Aplicação para armazenar os dados das Estações Meteorológicas no banco de dados A aplicação efetua os seguintes passos:
 - Recebe como parâmetro um arquivo no formato *.xls* separado por colunas os seguintes dados: ID; Fonte; Nome e Coordenadas Geográficas.
 - Efetua a conexão ao banco de dados PostgreSQL.
 - Realiza consulta a tabela *weather_station*, caso a mesma não exista, a tabela é criada.
 - Carrega todas as colunas em um *dataframe* do pacote Pandas do Python.
 - Remove as linhas duplicadas, informações idênticas em mais de uma linha nas colunas Fonte e Nome são retiradas.
 - Percorre cada linha do *dataframe* e monta o *script* de inserção no banco de dados.
 - Executa cada linha criada no item anterior.
 - retorna o número de linhas inseridas no banco de dados.

- Aplicação para armazenar os dados de Precitação no banco de dados A aplicação efetua os seguintes passos:

- Recebe como parâmetro um arquivo no formato *.xls* separado por colunas os seguintes dados: Data/Hora; Fonte; Nome e Coordenadas Geográficas.
- Efetua a conexão ao banco de dados PostgreSQL.
- Realiza consulta a tabela *precipitation*, caso a mesma não exista, a tabela é criada.
- Carrega todas as colunas em um *dataframe* do pacote Pandas do Python.
- Remove as linhas duplicadas, informações idênticas em mais de uma linha nas colunas Data/Hora, Fonte e Nome são retiradas.
- Verifica se o campo Precipitação é nulo, caso sim, a linha é removida.
- Testa e formata o campo Data/Hora para tornar-se compatível ao banco de dados PostgreSQL.
- Recupera o identificador único de cada estação meteorológica na tabela *weather_station*.
- Substitui as colunas Fonte e Nome pelo identificador único de cada estação meteorológica.
- Calcula a diferença entre o data/hora atual e a data/hora da última medição.
- Adiciona uma coluna ao *dataframe*, referente ao intervalo de tempo entre as medições, calculado no item anterior.
- Percorre cada linha do *dataframe* e monta o *script* de inserção no banco de dados.
- Executa cada linha criada no item anterior. O identificador único da tabela *precipitation* é gerado por uma *sequence* criada no próprio banco de dados.
- retorna o número de linhas inseridas no banco de dados.

- Aplicação para armazenar os dados das BL no banco de dados A aplicação efetua os seguintes passos:

- Recebe como parâmetro um arquivo no formato *.xls* separado por colunas os seguintes dados: ID; Logradouro e Coordenadas Geográficas.
- Efetua a conexão ao banco de dados PostgreSQL.
- Realiza consulta a tabela *storm_drain*, caso a mesma não exista, a tabela é criada.
- Carrega todas as colunas em um *dataframe* do pacote Pandas do Python.
- Remove as linhas duplicadas, informações idênticas em mais de uma linha nas colunas Logradouro e Coordenadas Geográficas são retiradas.
- Percorre cada linha do *dataframe* e monta o *script* de inserção no banco de dados.
- Executa cada linha criada no item anterior.

- retorna o número de linhas inseridas no banco de dados.
- Aplicação que calcula valores acumulados e intensidades de chuva A aplicação efetua os seguintes passos:
 - Efetua a conexão ao banco de dados PostgreSQL.
 - Realiza consulta a tabela *precipitation*.
 - Carrega todas as colunas em um *dataframe* do pacote Pandas do Python.
 - Calcula a intensidade de precipitação para cada registro de medição da estação meteorológica.
 - Soma os últimos 15 minutos anteriores a cada registro da estação meteorológica. E calcula a intensidade dividindo pelo período.
 - Soma os últimos 30 minutos anteriores a cada registro da estação meteorológica. E calcula a intensidade dividindo pelo período.
 - Soma os últimos 45 minutos anteriores a cada registro da estação meteorológica. E calcula a intensidade dividindo pelo período.
 - Soma os últimos 60 minutos anteriores a cada registro da estação meteorológica. E calcula a intensidade dividindo pelo período.
 - Soma os últimos 90 minutos anteriores a cada registro da estação meteorológica. E calcula a intensidade dividindo pelo período.
 - Soma os últimos 120 minutos anteriores a cada registro da estação meteorológica. E calcula a intensidade dividindo pelo período.
 - Soma os últimos 150 minutos anteriores a cada registro da estação meteorológica. E calcula a intensidade dividindo pelo período.
 - Soma os últimos 180 minutos anteriores a cada registro da estação meteorológica. E calcula a intensidade dividindo pelo período.
 - Soma os últimos 240 minutos anteriores a cada registro da estação meteorológica. E calcula a intensidade dividindo pelo período.
 - Soma os últimos 300 minutos anteriores a cada registro da estação meteorológica. E calcula a intensidade dividindo pelo período.
 - Soma os últimos 360 minutos anteriores a cada registro da estação meteorológica. E calcula a intensidade dividindo pelo período.
 - Calcula a soma da precipitação para cada evento de chuva, caso caso o valor de *precipitation* for igual a zero, o valor acumulado também zera.
 - Calcula a soma de minutos em formato HH:MM:SS para cada evento de chuva, enquanto a estação estiver registrando, *precipitation* maior que zero, o valor acumula.

- Calcula a soma de minutos em formato Inteiro para cada evento de chuva, enquanto a estação estiver registrando, *precipitation* maior que zero, o valor acumula.
 - Calcula a intensidade do evento da chuva, caso o valor *precipitation* igual a zero, o valor da intensidade também zera.
 - Extrai e acumula cada minuto do horário em que o registro da estação ocorreu.
 - Calcula a precipitação acumulada por dia. Efetua a soma progressiva dos dados de precipitação e zera o valor no final de cada dia.
 - Calcula a intensidade de chuva ao longo do dia e zera ao final do dia.
 - Percorre cada linha do *dataframe* e monta o *script* de inserção no banco de dados.
 - Executa cada linha criada no item anterior.
 - Retorna o número de linhas inseridas no banco de dados.
- Aplicação para definir o status de alagamento de cada BL no banco de dados A aplicação efetua os seguintes passos:
- Efetua a conexão ao banco de dados PostgreSQL.
 - Seleciona os registros de alagamento que estão na área de contribuição da BL correspondente.
 - Obtém o valor acumulado de precipitação até o registro de alagamento.
 - Atribui o menor valor acumulado (será o suficiente para alagar) para a variável MINIMO_ALAGA
 - Realiza consulta nas tabelas *intensity*, *precipitation*, *weather_station*, *distance_drain_station*.
 - Carrega todas as colunas em um *dataframe* do pacote Pandas do Python.
 - Percorre o *dataframe* e define o valor *status* igual a 1 (um), para os registros que obtiver precipitação acumulada por dia maior ou igual a variável MINIMO_ALAGA e a Intensidade das últimas 6 horas for maior ou igual a 0.01.
 - Percorre cada linha do *dataframe* e monta o *script* de inserção no banco de dados.
 - Executa cada linha criada no item anterior.
 - Retorna o número de linhas inseridas no banco de dados.