

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

LAYANI PESSANHA DE FREITAS

**ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO HIDROLÓGICO VISANDO A
IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ALERTA COMO PROPOSTA PARA A
BACIA DO RIO ICARAÍ, NITERÓI - RJ**

PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO I

Niterói
2021

LAYANI PESSANHA DE FREITAS

**ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO HIDROLÓGICO VISANDO A IMPLANTAÇÃO
DE UM SISTEMA DE ALERTA COMO PROPOSTA PARA A BACIA DO RIO
ICARAÍ, NITERÓI - RJ**

PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO I

Projeto de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para conclusão do curso.

Orientador:
Prof.^a Paulo Luiz da Fonseca

Niterói
2021

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

F862e Freitas, Layani Pessanha de
ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO HIDROLÓGICO VISANDO A IMPLANTAÇÃO
DE UM SISTEMA DE ALERTA COMO PROPOSTA PARA A BACIA DO RIO
ICARAÍ, NITERÓI - RJ / Layani Pessanha de Freitas ; Paulo Luiz
da Fonseca, orientador. Niterói, 2021.
71 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia
Civil)-Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia,
Niterói, 2021.

1. Sistema de Alerta. 2. Drenagem Urbana. 3. Bacia do rio
Icaraí. 4. Estações de monitoramento hidrológico. 5.
Produção intelectual. I. Fonseca, Paulo Luiz da, orientador.
II. Universidade Federal Fluminense. Escola de Engenharia.
III. Título.

CDD -

Bibliotecário responsável: Debora do Nascimento - CRB7/6368

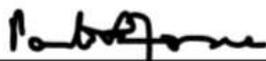
LAYANI PESSANHA DE FREITAS

**ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO HIDROLÓGICO VISANDO A
IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ALERTA COMO PROPOSTA PARA A
BACIA DO RIO ICARAÍ, NITERÓI - RJ**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de Bacharel em
Engenharia Civil, como requisito parcial
para conclusão do curso.

Aprovada em 22 de setembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Paulo Luiz da Fonseca (Orientador) - UFF



Prof. Renata Gonçalves Faisca - UFF



Prof. Elson Antônio do Nascimento - UFF

Niterói
2021

*“Tudo acontece na hora certa. Tudo acontece,
exatamente quando deve acontecer.”*

Albert Einstein

*Dedico à minha mãe, que tornou possível o meu
sonho.*

AGRADECIMENTOS

De início gostaria de agradecer a Deus, pois sem Ele nada seria possível. Se cheguei até aqui foi porque tirei forças da minha fé, que se manteve comigo até nos momentos mais difíceis. Agradeço a mim, por não ter desistido, por ter sido forte nos momentos de fundo do poço que só eu sei como foi. Sem a minha luta nada disso teria sido possível.

Agradeço a minha mãe e ao meu pai, por terem segurado a minha mão e me guiado à realização do meu sonho. Todas as ligações em que eu dizia “eu não nasci para isso, vou voltar para casa”, e a resposta sempre era “você é a pessoa mais forte que nós conhecemos, só precisa acreditar em você”. Vocês são o meu porto seguro, eu amo-os. A toda a minha família que me deu todo apoio emocional, em especial as minhas primas Suene, Pauliene, Gesiene e Cecília, as minhas tias Maria Olímpia, Célia e Joseli, a minha madrinha Daiene e o meu tio Luiz Emanuel, vocês são muito especiais nessa caminhada, amo todos vocês.

Ao meu professor orientador Paulo, por ter acreditado em mim mais do que tudo, e ter passado essa confiança para mim em cada reunião. Com toda certeza sem ele eu não conseguiria. Professor, não existe melhor orientador que o senhor, muito obrigada!

Aos meus amigos da faculdade pelos momentos de distração, pelo companheirismo, mesmo que com alguns momentos de estresse, nunca deixaram de estar comigo, em especial a Tamara, Pablo Perdonatti, Luccas Marques e Hian, vocês ficarão para sempre em meu coração.

À minha amiga Desirée, que esteve ao meu lado desde o primeiro período, segurou a minha mão e me ajudou a ter coragem e disposição para enfrentar o meu maior desafio. Viemos juntas desde 2016 até aqui, uma ajudando a outra, nos tornamos amigas de vida. Ao meu amigo e irmão Lucas Teixeira, que se tornou parte do meu coração, pegou o pedacinho dele e de lá nunca mais vai sair, também se tornou o meu amigo de vida. A vocês dois meu muito obrigada, eu amo-os demais, vou leva-los comigo para sempre.

Às minhas irmãs de apartamento Thatiele e Isabel, que me abrigaram tão bem e foram meu colo em períodos de recuperação. Vocês se tornaram as minhas irmãs mais velhas, protetoras e amigas, obrigada por todos os momentos. Aos meus xodós Joana e Ana Carolina Mendes, irmãs de apartamento também que me alegram, me ensinam e me fazem ter o dever de cuidar e proteger. Amo vocês quatro com todo o meu coração, muito obrigada.

À minha melhor amiga Rayssa e ao meu irmão Kayo, que mantiveram contato e o carinho de sempre mesmo com a distância, aliás, a distância nunca foi um problema para esses dois. Sempre me mandando mensagens, me ligando e mostrando que estavam ali comigo. Vocês são incríveis, eu amo vocês, obrigada por acreditarem em mim.

A todos que fizeram, e ainda fazem, parte desta minha caminhada: MEU MUITO OBRIGADA!

RESUMO

Com o crescimento populacional exacerbado, fez-se necessário a impermeabilização do solo para construção de prédios e pavimentação, aumentando o escoamento superficial e reduzindo a infiltração natural da água, visto que houve uma redução significativa da cobertura vegetal. Além disso, os sistemas de drenagem das grandes cidades ficaram subdimensionados e deficientes devido este crescimento, tornando possível a ocorrência de alagamentos e inundações oriundos de eventos de precipitação intensa. A cidade de Niterói sofre constantemente com estes problemas, onde o bairro de Icaraí é um dos principais alvos. Por conseguinte, a previsão de cheias pode contribuir na mitigação de desastres causados por estes eventos de precipitação intensa, sendo esta realizada por um sistema de alerta. O presente trabalho apresentou alguns sistemas de alerta do Brasil, e, em um estudo de caso na bacia do rio Icaraí, localizada no município de Niterói, apontou o número de estações pluviométricas existentes, além de concluir a ausência de estações fluviométricas. Com isso, foram sugeridos locais para implantação de três estações fluviométricas e de monitoramento de qualidade da água, e uma estação pluviométrica na bacia do rio Icaraí. Esta sugestão visa a implantação de um sistema de alerta de inundações para a bacia em questão.

Palavras-chave: Sistemas de alerta. Drenagem urbana. Bacia do rio Icaraí. Estações de monitoramento hidrológico.

ABSTRACT

With the excessive population growth, it was necessary to waterproof the soil for the construction of buildings and paving, increasing surface runoff and reducing natural water infiltration, since there was a significant reduction in vegetation cover. In addition, drainage systems in large cities were undersized and deficient due to this growth, making possible the occurrence of floods arising from intense precipitation events. The city of Niterói constantly suffers from these problems, where the neighborhood of Icaraí is one of the main targets. On the other hand, flood forecasting can contribute to the mitigation of disasters caused by these intense precipitation events, which is carried out by an early warning system. The present work has shown some warning systems in Brazil, and, in a case study in the Icaraí river basin, located in the city of Niterói, presented the number of existing pluviometric stations, in addition to concluding the absence of pluviometric stations. As a result, locations were suggested for the implementation of three pluviometric and water quality monitoring stations, and a pluviometric station in the Icaraí river basin. This suggestion aims to implement a flood warning system for the basin in question.

Keywords: Early warning system. Urban drainage. Icaraí river basin. Hydrological monitoring stations.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Av. Roberto Silveira após chuva intensa	15
Figura 2 –	Divisores de água de uma bacia hidrográfica	20
Figura 3 –	Bacia hidrográfica	21
Figura 4 –	Ordem dos cursos d'água	23
Figura 5 –	Tipos de chuva	24
Figura 6 –	Traçado dos polígonos de Thiessen	25
Figura 7 –	Pluviômetro convencional	25
Figura 8 –	Localização de um pluviômetro	27
Figura 9 –	Localização de réguas limnimétricas	29
Figura 10 –	Área de cobertura – Radar Sumaré	35
Figura 11 –	Estação Hidrológica do CEMADEN	40
Figura 12 –	Bacia hidrográfica do rio Icaraí	41
Figura 13 –	Pirâmide etária do município de Niterói	43
Figura 14 –	Mapeamento de suscetibilidade de alagamento em Niterói	47
Figura 15 –	Canal da Ary Parreiras extravasa durante chuva intensa	48
Figura 16 –	Bacia do rio Icaraí e os pluviômetros existentes	49
Figura 17 –	Áreas de influência das estações existentes	50
Figura 18 –	Bacia do rio Icaraí e as estações fluviométricas propostas	52
Figura 19 –	Bacia do rio Icaraí e suas sub-bacias	54
Figura 20 –	Nós e caminho do sistema de drenagem – simulação hidrodinâmica	55
Figura 21 –	Simulação – perfil da rede existente	56
Figura 22 –	Seção transversal do canal no ponto da estação fluviométrica 1	58
Figura 23 –	Seção transversal do canal no ponto da estação fluviométrica 2	58
Figura 24 –	Seção transversal do canal no ponto da estação fluviométrica 3	58
Figura 25 –	Bacia do rio Icaraí e estação pluviométrica proposta	59
Figura 26 –	Nova rede de monitoramento pluviométrico	60
Figura 27 –	Áreas de influência das estações consolidadas	61
Figura 28 –	Bacia do rio Icaraí e estações pluviométricas e fluviométricas	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Densidade mínima de estações recomendada para rede hidrometeorológica segundo a OMM	28
Tabela 2 –	Matriz de níveis de alertas e impacto potencial	39
Tabela 3 –	Informações dos cursos d'água da Bacia do rio Icarai	45
Tabela 4 –	Áreas de influência das estações existentes	46
Tabela 5 –	Dimensão das seções de monitoramento	50
Tabela 6 –	Variáveis IQA_{NSF}	53
Tabela 7 –	Áreas das sub-bacias	55
Tabela 8 –	Áreas de influência das estações consolidadas	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Precipitação e temperatura média anual	42
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PMSB	Plano Municipal do Saneamento Básico de Niterói
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>
GSM	<i>Group Spacial Mobile</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
SAISP	Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo
COR	Centro de Operações Rio
COMLURB	Companhia Municipal de Limpeza Urbana
CET-RIO	Companhia de Engenharia e Tráfego do Rio de Janeiro
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
FCTH	Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica
ER	Estações remotas
EB	Estações de base
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Informação
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
OMM	Organização Mundial de Meteorologia
IQ _{NSF}	Índice de Qualidade de Água – <i>National Sanitation Foundation</i>
PMRR	Plano Municipal de Redução de Riscos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS E METODOLOGIA	16
1.1.1 Objetivo Geral	16
1.1.2 Objetivos Específicos	16
1.1.3 Metodologia	17
2. REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1 SISTEMA DE INFORMAÇÃO HIDROLÓGICA	18
2.1.1 Bacia Hidrográfica	19
2.1.2 Precipitação	23
2.1.3 Estações Pluviométricas	26
2.1.4 Estações Fluviométricas	28
2.1.4 Qualidade da Água	30
2.2 SISTEMAS DE ALERTA	21
3. SISTEMAS DE ALERTA NO BRASIL	34
3.1 ALERTA RIO	34
3.2 SAISP	37
3.3 CEMADEN	38
4. MATERIAIS E MÉTODOS	41
4.1 CARACTERÍSTICAS DA BACIA DO RIO ICARAÍ	41
4.1.1 Aspectos Econômicos e Sociais	43
4.1.2 Hidrografia, Relevo e Ocupação do Solo	44
4.2 PROPOSTA DE MONITORAMENTO HIDROLÓGICO	46
4.2.1 Estações Pluviométricas Existentes	48
4.2.2 Estações Fluviométricas e de Qualidade de Água Propostas	51
4.2.3 Estações Pluviométrica Proposta	59
4.2.4 Estações de Monitoramento Hidrológico Consolidadas	61
5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	63
6. REFERÊNCIAS	65

1. INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado da população urbana no Brasil, ocorrido após a década de 60, estimulou o surgimento de uma população carente de infraestrutura, influenciando diretamente todo o aparelho urbano relativo a recursos hídricos: saneamento básico e drenagem pluvial (Tucci, 2005). Outrossim, este crescimento descontrolado ocasionou o aumento do escoamento superficial e, conseqüentemente, a diminuição da infiltração, uma vez que foi necessário retirar a cobertura vegetal para a construção de casas, prédios e pavimentação. Este aumento do escoamento superficial e a redução do tempo de concentração causam as enchentes (Pompêo, 2000).

As enchentes são processos naturais dos cursos d'água que ocorrerem devido a episódios de chuvas de magnitude excessiva, porém sem o transbordamento. Considera-se enchente urbana, ou inundação, quando estas chuvas intensas são suficientes para ocasionar o transbordamento de cursos d'água, sendo estes provocados pelo desequilíbrio do ciclo hidrológico¹. Para evitar as inundações, e outros desastres, é necessário dimensionar adequadamente um sistema de drenagem pluvial, que tem como principal objetivo o afastamento acelerado das águas das chuvas de áreas urbanas, de maneira que garanta o funcionamento dos serviços da cidade durante um período de chuva, como a circulação de veículos (Pompêo, 2000).

Em virtude da necessidade do controle e manejo de águas pluviais, destaca-se a importância da atenção que deve ser dada ao sistema de drenagem pluvial das áreas urbanas por parte do estado, porém, na maioria das vezes, este campo fica em segundo plano. Desta forma, a falta de investimento nessa área provoca efeitos relacionados à qualidade de vida diretamente ligados à população. Diversas cidades no Brasil sofrem com as conseqüências das enchentes, como Rio de Janeiro e São Paulo. A ocorrência destes problemas mostra a necessidade da otimização dos sistemas de drenagem pluvial (Macedo, 2019).

Como alternativa de otimização do sistema de drenagem pluvial de uma cidade, existe o redimensionamento do mesmo, tendo em vista que com o aumento populacional, o sistema projetado para atender uma demanda menor, fica subdimensionado. Porém algumas cidades estão utilizando outras alternativas de otimização, como reservatórios de retenção e desvios de cursos d'água, por exemplo, uma destas é a cidade de Niterói (Faria, 2012). Aliado ao sistema

¹ Movimento cíclico iniciado pela evaporação das águas e seguido da precipitação (Stuart, 2006).

de drenagem pluvial, destaca-se a utilização de sistemas de alerta, como por exemplo o Alerta Rio, sistema de alerta de chuvas intensas e deslizamentos na cidade no Rio de Janeiro, que emite avisos para órgãos da Prefeitura em casos de chuvas fortes, como a Defesa Civil, e utiliza canais na internet para avisar à população sobre possíveis desastres.

O funcionamento de um sistema de alerta está diretamente relacionado ao monitoramento pluviométrico, fluviométrico e meteorológico, realizado através do envio de dados de determinadas estações a um centro de controle localizado em uma sede. Através de estudos e com a utilização de uma modelagem computacional hidráulica e hidrológica, é possível analisar, de maneira eficiente, pontos estratégicos para locação destas estações, sejam elas pluviométricas, fluviométricas ou meteorológicas.

Assim como em várias cidades do Brasil, a cidade de Niterói possui um sistema de drenagem não otimizado e subdimensionado. Desta forma, diversos bairros do município sofrem com as enchentes e deslizamentos de terra, deixando alguns moradores desabrigados, causando transtorno no trânsito, entre outras consequências. O bairro de Icaraí, por exemplo, localizado na zona sul do município, possui alguns pontos que sofrem com enchentes em períodos de chuvas intensas. Em fevereiro de 2020, um evento de chuva intensa que durou poucos minutos causou alagamento em diversos pontos das principais ruas do bairro, como a Av. Roberto Silveira, sendo esta uma das ruas de maior movimento de Icaraí (Figura 1) (G1 Rio, 2020).

Figura 1 – Av. Roberto Silveira após chuva intensa



Fonte 1: G1 Rio (2020)

De modo a minimizar os impactos causados pelas chuvas intensas e preparar a população e os órgãos responsáveis pelo trânsito da cidade, seria eficiente a utilização de um sistema de alerta e um centro de controle na cidade de Niterói. Para isso, faz-se necessário a realização de estudo preliminar utilizando métodos matemáticos e modelagem computacional, afim de analisar pontos estratégicos nas bacias hidrográficas para locação de estações pluviométricas e fluviométricas.

O bairro de Icaraí, citado anteriormente, fica situado na macrobacia da Baía de Guanabara, com sua maior parte na bacia hidrográfica do rio Icaraí (PMSB, 2015). Desta forma, o presente trabalho visa analisar o número de estações pluviométricas existentes na bacia do rio Icaraí e sugerir pontos de locação para novas estações, ampliando a capacidade de monitoramento pluviométrico da região. Outrossim, serão propostas estações de monitoramento fluviométrico e de qualidade da água em alguns pontos da bacia do rio Icaraí.

1.1. OBJETIVOS E METODOLOGIA

1.1.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo geral elaborar pesquisa exploratória referente a sistemas integrados de informações hidrológicas, de forma a integrar e implantar estações de monitoramento pluviométrico, fluviométrico e de qualidade de água como proposta de implementação de sistema de alerta de cheias para a bacia do rio Icaraí, Niterói – RJ, com o objetivo de mitigar os impactos advindos de eventos extremos de precipitação.

1.1.2. Objetivo Específico

- Elaborar pesquisa exploratória referente a sistemas de informações hidrológicas e sistemas de alerta para a população em eventos de chuvas intensas.
- Integrar estações de monitoramento pluviométrico, fluviométrico e de qualidade de água como proposta de implementação de sistema de alerta de cheias para a bacia do rio Icaraí, Niterói – RJ.

1.1.3. Metodologia

O desenvolvimento do presente trabalho baseou-se em pesquisa exploratória referente a sistemas de informações hidrológicas, monitoramento de cheias para controle e mitigação dos malefícios a sociedade e ao meio ambiente. Como base científica para o embasamento deste trabalho, foram consultadas teses de doutorado, artigos em periódicos, publicações em revistas científicas, livros, dissertações e documentos referente ao planejamento urbano e sobre os recursos hídricos.

Em um estudo de caso, contemplaram-se estações de monitoramento pluviométrico, fluviométrico e de qualidade de água como proposta de implementação de sistema de alerta de cheias para a bacia do rio Icaraí, Niterói – RJ. Para a elaboração da proposta de implementação do sistema integrado de informações hidrológicas, utilizar-se-á metodologia específica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será realizada uma revisão da literatura, definindo alguns tópicos importantes da hidrografia e abordando os principais aspectos dos sistemas de informação hidrológica e apresentando os elementos essenciais para o funcionamento adequado deste sistema. Em seguida será tratado o sistema de alerta de um modo geral, apontando a importância do Marco de Sendai e destacando as principais ferramentas utilizadas em um sistema de alerta.

2.1. SISTEMA DE INFORMAÇÃO HIDROLÓGICA

A Lei 14.026, de 15 de julho de 2020, conhecida como “marco do saneamento básico”, estabelece os princípios fundamentais para a prestação de serviços públicos no que diz respeito ao saneamento básico, sendo um destes princípios definido por

“disponibilidade, nas áreas urbanas, de serviços de drenagem e manejo das águas pluviais, tratamento, limpeza e fiscalização preventiva das redes, adequados à saúde pública, à proteção do meio ambiente e à segurança da vida e do patrimônio público e privado. ”

Desta forma, como um meio de controle e fiscalização de desastres ambientais oriundos de eventos de chuvas intensas, destaca-se a contribuição dos sistemas de informação hidrológicos no que diz respeito a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos dos municípios e ao apoio aos órgãos responsáveis pela mitigação dos desastres naturais, preservando a vida da sociedade e o meio ambiente (ANA, 20--?).

Segundo a ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, um sistema de informações hidrológicas, ou de recursos hídricos, refere-se a um vasto conjunto de informações interligadas no que diz respeito a coleta, armazenamento, tratamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos de uma determinada região. No Brasil, a Lei n. ° 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que rege a Política Nacional de Recursos Hídricos, tem como um de seus instrumentos o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos - SNIRH, em que o principal objetivo deste sistema é fornecer informações quantitativas e qualitativas dos

recursos hídricos de todo o território nacional. Entre as informações disponíveis no SNIRH, encontram-se os eventos hidrológicos críticos (Brasil, 1997).

O SNIRH é composto por três subsistemas principais: PLANN, REGLA e QUALT. O PLANN é responsável pelo planejamento e gestão dos recursos hídricos, disponibilizando informações pertinentes a qualidade e quantidade destes recursos. Já o REGLA é o subsistema de regulação do uso dos recursos hídricos do território nacional, sendo responsável por fornecer informações pertinentes ao uso da água e a influência das bacias monitoradas nas águas subterrâneas. O subsistema designado a fornecer informações referentes ao monitoramento hidrometeorológico do país é o QUALT, no qual fornece informações para gestão e análise de dados hidrológicos das águas do território nacional, sendo estes dados pluviométricos, fluviométricos e de qualidade da água (Souza, et al, 2009).

Os dados pluviométricos e fluviométricos de um sistema de informações hidrológicas são obtidos utilizando instrumentos adequados. Além disso é necessário ter conhecimento da bacia hidrográfica que se deseja obter tais dados, pois as locações destes instrumentos estão diretamente ligadas as características destas bacias.

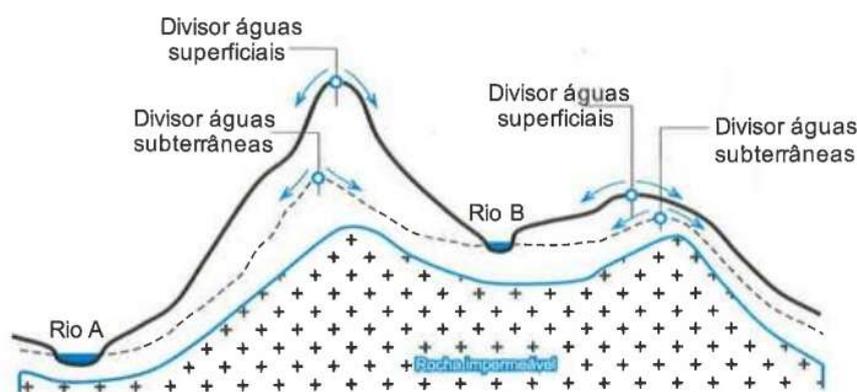
2.1.1. Bacia Hidrográfica

Carvalho, Mello e Silva (2007) definem bacia hidrográfica, ou bacia de drenagem, como uma área determinada de forma topográfica, onde um sistema de cursos d'água é responsável por realizar a drenagem desta bacia, de forma que toda a vazão efluente seja lançada em um mesmo ponto. Destacam também a importância da bacia hidrográfica como um dos principais objetos de estudos dos hidrologistas. Além disso apresentam as características físicas mais importantes no que se refere ao estudo de bacias hidrográficas: a área de drenagem, a forma da bacia, as características geológicas, o sistema de drenagem e as características agroclimáticas da bacia.

Já Coslischonn e Dornelles (2013) considera a bacia hidrográfica como um sistema físico que está sucessível a entradas de águas que ocorrem em um tempo curto, neste caso as precipitações, e saídas de água que ocorre de maneira distribuída no tempo, é o caso do escoamento da bacia. Apontam também que uma bacia hidrográfica é definida por um curso

d'água, uma saída, denominada exultório, e pelo relevo, no qual é possível identificar os divisores de águas superficiais. Este divisor, também chamado de divisor topográfico, é uma linha imaginária responsável por dividir o escoamento das águas oriunda das chuvas na superfície, de modo que neste ponto este escoamento seja divergente. O escoamento interno ao solo depende do tipo de rocha que ali se encontra, fazendo com que haja os divisores de água subterrâneas, como pode ser observado na Figura 2.

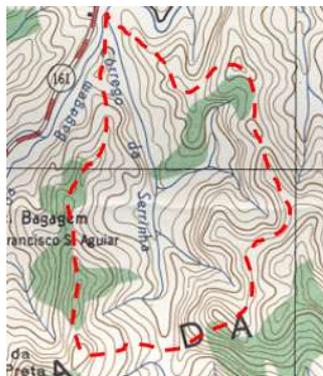
Figura 2 – Divisores de água de uma bacia hidrográfica.



Fonte : Coslischonn, Dornelles (2013)

A delimitação das bacias é feita com base nos divisores de águas superficiais, onde estes são traçados de modo a separar a área na qual o escoamento superficial tenha como destino o exultório. O traçado da bacia é realizado em mapas, e devem levar em conta a ortogonalidade entre os divisores topográficos e as curvas de nível do relevo em questão. Este traçado cruza o curso d'água em apenas um ponto: o exultório (Coslischonn, Dornelles, 2013). A Figura 3 apresenta a delimitação de uma bacia hidrográfica (linha tracejada em vermelho), onde podem ser observadas as questões apontadas anteriormente quanto ao seu traçado.

Figura 3 – Bacia hidrográfica definida.



Fonte: Carvalho, Mello e Silva (2017)

A características mais importantes que devem ser levadas em conta no estudo de uma bacia hidrográfica são:

- a) Área de drenagem: medida em m² e definida pela área plana interna ao traçado da bacia, trata-se de um parâmetro fundamental para definir a potencialidade hídrica de uma bacia hidrográfica, pois para obter o volume de água recebido em um determinado período de tempo, multiplica-se a lâmina d'água formada neste período pela área da bacia (Tucci, 2001).
- b) Tempo de concentração: definido como o tempo necessário para que toda a bacia contribua com a vazão que chega no exultório. Este tempo está relacionado com a velocidade do escoamento e com a distância total que a água deve percorrer. Existem algumas equações para determinar este tempo de concentração, definidas a partir de métodos experimentais. A equação de Carter trata-se de uma destas equações, e foi desenvolvida para ser usada em bacias urbanas, apresentada abaixo pela Equação (1) (Coslischonn, Dornelles, 2013).

$$t_c = 5,96 \times \frac{L^{0,6}}{S^{0,3}} \quad (01)$$

Onde:

L: comprimento do curso d'água principal em km;

S: declividade do curso d'água principal.

- c) Forma da bacia: uma bacia pode ter um formato mais alongado, ou próximo de um círculo. Esta característica tem efeito no comportamento hidrológico da bacia, como no tempo de concentração, sendo este contabilizado a partir do início da precipitação. A forma da bacia é determinada através de índices que buscam relacionar a mesma com sua forma geométrica, sendo estes o coeficiente de compacidade (K_c) (valores próximos de 1 correspondem a uma bacia relativamente circular) e o fator de forma (K_f) (valores baixos corresponde a bacias compridas) determinados pelas Equações (2) e (3), respectivamente (Carvalho, Mello e Silva, 2007).

$$K_c = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (02)$$

Onde:

P: perímetro da bacia hidrográfica;

A: área de drenagem da bacia.

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (03)$$

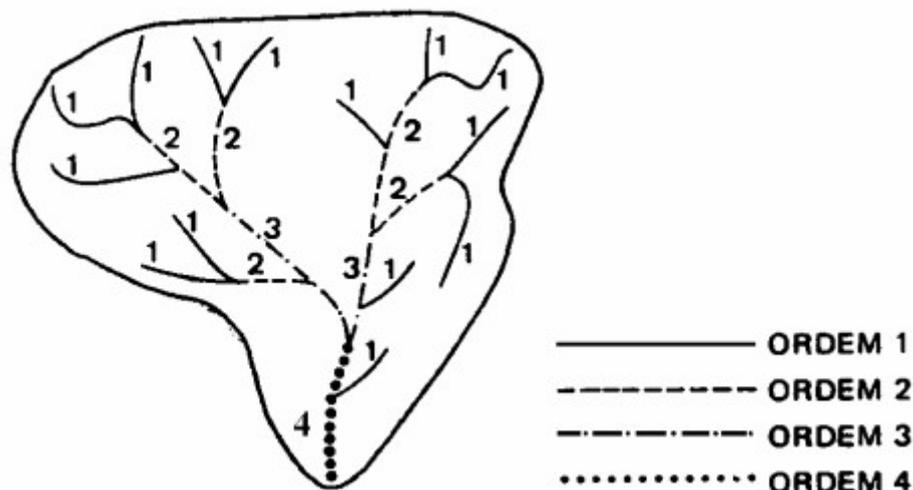
Onde:

A: área de drenagem da bacia;

L: comprimento da foz ao ponto mais distante da área.

- d) Sistema de drenagem: caracterizado pelos cursos d'água presentes na bacia, que contam com o curso principal e os tributários. Estes cursos d'água são classificados como perenes, sendo estes os cursos que se mantem em todo o tempo, intermitentes, cursos d'água que se mantem apenas em estações chuvosas, e efêmeros, cursos que possuem duração imediatamente após um evento de precipitação ou até mesmo durante este evento (Barbosa, in). Para mais, cabe destacar que estes cursos d'água possuem uma ordem de hierarquização, podendo estes serem classificados como cursos de 1ª, 2ª, 3ª e 4ª ordem, como pode ser observado na Figura 4 (Carvalho, Mello e Silva, 2007).

Figura 4 – Ordem dos cursos d'água.



Fonte 1: Carvalho, Mello e Silva (2007)

Além das características já apresentadas, deve-se levar em conta outros aspectos importantes de uma bacia hidrográfica. Um destes aspectos é o relevo da bacia, pois este define a declividade e a altitude da mesma, parâmetros de extrema importância na determinação de fatores climáticos, velocidade de escoamento e tempo de concentração. Uma bacia que apresenta uma declividade elevada, desenvolve uma velocidade de escoamento também elevada e, conseqüentemente, um tempo de concentração curto. Outros aspectos importantes como a geologia e o clima, são fundamentais para definir uma bacia hidrográfica, objeto principal de estudo dos sistemas de informação hidrológica.

2.1.2. Precipitação

A precipitação pode ser entendida como a água que atinge a superfície da terra em forma de granizo, chuva, neblina ou neve. Esta é de extrema importância para o balanço hídrico² de uma bacia hidrográfica, uma vez que é a única forma de entrada de água. Isso posto, as chuvas podem ser definidas como frontais, convectivas e orográficas, no qual esta classificação está

² Balanço hídrico pode ser entendido como o equilíbrio entre a entrada e saída de água em uma bacia hidrográfica (Collischonn e Dornelles, 2013).

diretamente relacionada com a formação das nuvens de chuva e o movimento ascendente de massas de ar úmido. A Figura 5 apresenta um esquema didático no que se refere aos tipos de chuva de acordo com a origem destes movimentos de massas de ar úmido (Collischonn e Dornelles, 2013).

Figura 5 – Tipos de chuva.



Fonte : Collischonn e Dornelles (2013)

A quantificação das chuvas é realizada por instrumentos específicos, denominados pluviômetros (convencionais ou eletrônicos) ou pluviógrafos, porém esta medição é considerada extremamente restrita, uma vez que são realizadas de forma pontual nas bacias hidrográficas. Desta forma, faz-se necessário a utilização de métodos específicos quando se deseja obter a precipitação média em uma determinada área. Os métodos existentes são: o método das isoietas, o método da média aritmética, o método dos polígonos de Thiessen, e os métodos de interpolação ponderada pela distância. Para mais, o presente trabalho visa dar ênfase ao método de Thiessen (Collischonn e Dornelles, 2013).

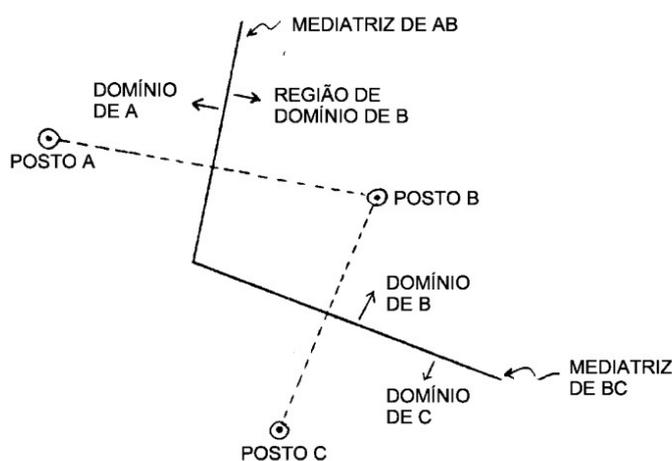
O Método de Thiessen considera a distribuição espacial dos postos pluviométricos em uma bacia hidrográfica, entretanto este método não considera o relevo (Mendonça, Sena e Santos, 2015). Segundo Cabral (2012), a metodologia pode ser definida da seguinte forma:

- a) As estações pluviométricas são ligadas por linhas retas;
- b) Em cada segmento de reta traçado de acordo com item a) são traçadas mediatrizes ortogonais a estes segmentos, sendo estas prolongadas de um lado até interceptarem entre si, e do outro até interceptarem o limite da bacia hidrográfica;

- c) Os polígonos são formados a partir da intersecção das linhas, onde estes representam a área de influência de cada estação pluviométrica.

A Figura 6 exemplifica o traçado dos polígonos de Thiessen.

Figura 5 – Traçado dos polígonos de Thiessen.



Fonte : Cabral (2012)

Em posse das áreas de influência de cada estação (polígonos de Thiessen), é possível determinar a equação que define o peso ou coeficiente da área de influência perante a área total da bacia, este é definido pela Equação (4) (Marciano, Barbosa e Silva, 2016):

$$W_i = A_i / A \quad (4)$$

Onde:

W_i : fator de peso;

A_i : área de influência da estação;

A : área total da bacia hidrográfica.

Para a determinação da precipitação média pelo método de Thiessen, é necessário conhecer a precipitação média em cada estação. Em posse de todos os dados é possível obter a precipitação média de acordo com a Equação (5):

$$Pm = \sum [(AiPi) / A] \quad (5)$$

Onde:

P_i : precipitação média da estação;

A_i : área de influência da estação;

A : área total da bacia hidrográfica.

2.1.3. Estações Pluviométricas

Os pluviômetros são os principais instrumentos das estações pluviométricas, e são utilizados para medir a precipitação em um determinado ponto de uma bacia hidrográfica, estes podem ser manuais, sendo necessário um operador para fazer sua leitura, ou automático. Os automáticos podem ser digitais ou analógicos, os analógicos são definidos como pluviógrafos, e funcionam através dos movimentos de suas engrenagens, estes são registrados em *dataloggers* por meio de pulsos elétricos. Além do volume precipitado, outras são as variáveis que podem ser observadas em um pluviograma, são estas a intensidade, duração e frequência da precipitação (Nascimento, et al., 2017). A Figura 7 apresenta um pluviômetro.

Figura 7 – Pluviômetro convencional.

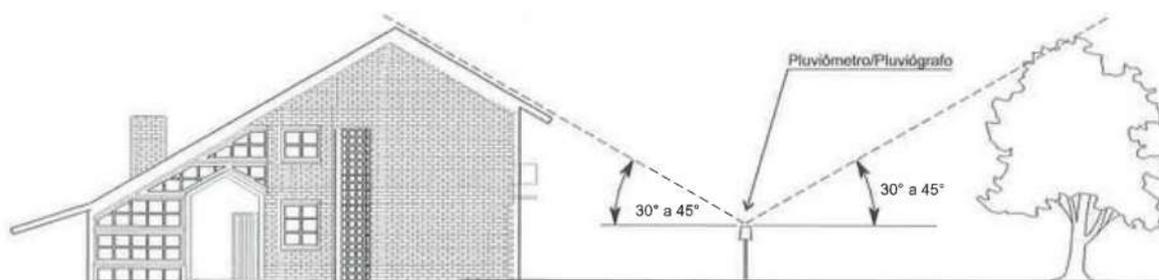


Fonte : Studart (2006)

A Organização Mundial de Meteorologia – OMM apresenta técnicas que devem ser levadas em conta para locação dos pluviômetros, pois estes instrumentos devem ser alocados

de forma que não sofram alterações provocadas por vento, uma vez que desta forma poderia prejudicar a precisão do instrumento (WMO, 2008). Para mais, o mesmo deve estar afastado de obstáculos de modo que garanta um espaço livre acima de um ângulo que pode variar de 30° a 45° com a linha do horizonte, como pode ser observado na Figura 8 (Coslischonn, Dornelles, 2013).

Figura 8 – Locação de um pluviômetro.



Fonte 1: Coslischonn e Dornelle (2013)

Nos dias atuais, a precipitação está sendo medida também por radares meteorológicos associados a pluviógrafos ou pluviômetros automáticos, onde é possível estimar uma determinada precipitação em uma região relativamente grande ao redor da antena emissora e receptora. Esta estimativa de precipitação também pode ser feita através de imagens de satélites, nas quais é possível analisar a temperatura das nuvens, sendo relacionada diretamente com a ocorrência ou não de precipitação em um dado momento (Coslischonn, Dornelles, 2013).

No que diz respeito a distribuição espacial das estações pluviométricas, Marcuzzo e Melati (2015), seguindo os critérios da OMM relacionados a densidade mínimas de estações de acordo com características fisiográficas da bacia de estudo, apresentam um estudo para validar o número de estações pluviométricas na bacia 87, no Rio Grande do Sul, e uma proposta de novas estações baseados nas mesmas premissas. Utilizando a Tabela 1, aqui apresentada, chegaram à conclusão de que a bacia 87 encontra-se deficitária em quantidade de estações pluviométricas, e, com base na mesma tabela, recomendaram a implantação de novas estações.

Tabela 1 – Densidade mínima de estações recomendada para rede hidrometeorológica segundo a OMM

Unidades Fisiográficas	Pluviômetro	Pluviógrafo	Evaporação	Vazão	Sedimentos	Qualidade da Água
Litoral / Região Costeira	900	9.000	50.000	2.750	18.300	55.000
Montanhas	250	2.500	50.000	1.000	6.700	20.000
Planícies Interiores	575	5.750	5.000	1.875	12.500	37.500
Ondulada / Montanhosa	575	5.750	50.000	1.875	12.500	47.500
Pequenas Ilhas (< 500 km ²)	25	250	50.000	300	2.000	6.000
Áreas Urbanas	-	10 a 20	-	-	-	-
Polar / Árida	10.000	100.000	100.000	20.000	200.000	200.000

Fonte: Marcuzzo e Melati *apud* OMM, 2015

2.1.4. Estações Fluviométricas

Além das estações pluviométricas, um sistema de informação de recursos hídricos conta com estações fluviométricas, cujo principal objetivo é realizar a medição de nível de água na seção aberta de um rio, por exemplo, utilizando instrumentos adequados. Dentre os instrumentos utilizados estão os sensores de nível e as réguas limnimétricas (Studart, 2006). A medição do nível d'água da seção de um rio ou canal pode ser utilizada para se obter a vazão de curso d'água daquele ponto. Atualmente existem diversos tipos de sensores de nível, como o do tipo radar, ultrassônico e transdutor de pressão. (ANA, 2011).

As réguas limnimétricas são os instrumentos mais simples para a medição de nível, e são utilizadas nas estações fluviométricas convencionais. São construídas em material resistente com um metro de altura e graduadas em centímetros, e instaladas ao longo das margens de um rio ou canal. Uma das desvantagens de se utilizar este instrumento está no fato da necessidade da leitura no local. (Pereira, 2018). A Figura 9 apresentam réguas instaladas de acordo com as recomendações da ANA, que orientam que as réguas sejam instaladas de maneira perpendicular ao eixo do rio (ANA, 2011).

Figura 9 – Locação de réguas limnimétricas.



Fonte 1: ANA (2011)

Os sensores de nível são instrumentos utilizados nas estações fluviométricas automáticas, estes enviam os dados coletados para uma central pela internet, por um sistema GSM – *Group Spacial Mobile*, ou por satélite. No Brasil, este envio de dados tem como base a resolução conjunta da ANEEL/ANA nº 03 de 2010, que determina que estes dados devem ser enviados em intervalos de, no máximo, uma hora para uma central de apoio na qual as entidades que operam as estações de monitoramento são responsáveis. Estas estações automatizadas podem medir outras variáveis necessárias em estudos hidrológicos, como índice de chuva, velocidade e direção do vento (Chaves, 2013).

Os sensores de nível do tipo ultrassônico atuam sem a necessidade de contato com o corpo hídrico. Seu funcionamento se dá através da medição do tempo necessário para uma sonora, emitida por este sensor, refletir na superfície da água e retornar ao mesmo. Sua utilização possui diversas vantagens, como estabilidade, segurança contra vandalismo e não necessita de frequente calibração e manutenção, porém trata-se de um instrumento com dificuldade no processo de instalação (Jimenez, 2016).

A medição de nível pode ser realizada ainda através dos sensores de nível do tipo radar, sendo estes implementados sem a necessidade de contato com o curso d'água. Seu funcionamento se dá de forma similar ao sensor ultrassônico, porém as ondas emitidas pelo sensor do tipo radar são eletromagnéticas. Apesar do custo elevado, este tipo de sensor possui

um alcance maior que o sensor ultrassônico, para mais suas medições são realizadas com incertezas pequenas e seu funcionamento não é afetado por interferências externas, como a temperatura do ar (Jimenez, 2016).

Com relação aos sensores de nível do tipo transdutor de pressão, destacam-se dois tipos: os não submersíveis e com sensores de borbulhamento, e os submersíveis. Este primeiro é composto por uma fonte de gás ou ar, ligada a um medidor pneumático e uma tubulação ligada ao corpo hídrico, e seu funcionamento se dá através do bombeamento de ar por meio do tubo, e conseqüente aumento da pressão no interior do mesmo, esta pressão é medida pelo medidor pneumático e através dela obtém-se o nível do rio. Os sensores transdutores de pressão submersíveis possuem uma membrana e um sensor piezoresistivo que ficara submerso e gera uma resistência elétrica, estes são ligados a um circuito eletrônico que mede esta resistência elétrica e, por conseqüência, o nível d'água (Jimenez, 2016).

2.1.5. Qualidade da Água

A água é o principal objeto de estudo em uma bacia hidrográfica, seja presente nos rios, em forma de vapor no processo de evaporação ou em forma de precipitação. Isso posto, é de extrema importância avaliar constantemente a qualidade da água, uma vez que esta é destinada a diversos usos, como o doméstico. Esta qualidade está diretamente relacionada ao clima, cobertura vegetal da região, geologia, uso e manejo dos solos, topografia e interferência humana.

Em seu estado natural, a água possui sólidos dissolvidos e gases. A origem destes sólidos e gases está na forma em que a água chega ao manancial, uma vez que durante o escoamento superficial e a infiltração a água entra em contato com gases e dissolve os sais presentes no solo. Estudos mostram que durante os períodos de estiagem, a alimentação dos mananciais é feita pelas águas subterrâneas, estas possuem um nível de salinidade elevado, uma vez que durante a infiltração a água carrega consigo mais sólidos dissolvidos e gases do que no caso de escoamento superficial (Correntino, 2011).

O monitoramento da qualidade de águas é feito através da análise de alguns parâmetros, sendo estes a temperatura, oxigênio dissolvido, ferro, cloro total, cromo, acidez, condutividade,

pH, cor, dureza, nitritos, nitratos e demanda bioquímica de oxigênio – DBO. Para o presente trabalho, como proposta inicial, serão contemplados os três parâmetros: a temperatura, uma vez que a variação desta influencia nas propriedades físicas, químicas e biológica da água; o oxigênio dissolvido, sendo este um dos principais indicadores da qualidade sanitária das águas, tendo sua concentração diminuída com o aumento da temperatura; e a DBO, esta trata-se da quantidade de oxigênio dissolvido para oxidação aeróbica de substâncias orgânicas presentes na água (Correntino, 2011).

A análise convencional da qualidade das águas é realizada em laboratório após a coleta de uma amostra diretamente no corpo hídrico que se deseja analisar. Entretanto, atualmente este monitoramento pode ser realizado em tempo real com o auxílio das sondas multiparâmetro, que tem por vantagem a capacidade de mensurar os principais parâmetros das águas ao ser mergulhada no corpo hídrico (Silva e Silveira, 2014).

2.2. SISTEMAS DE ALERTA

Adotado na Terceira Conferência Mundial sobre a Redução dos Riscos de Desastres, realizada no Japão em 2015, o Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030 tem como uma de suas prioridades a compreensão do risco de desastres, onde destaca a importância da divulgação periódica de informações sobre riscos de desastres em determinados locais, incluindo mapas de riscos. Além disso, destaca a relevância do uso de sistemas de informações integrados, utilizando dados meteorológicos, hidrológicos e meios de comunicação para alertar sobre os riscos de desastres, sendo estas as características de um sistema de alerta (UNISDR, 2015).

Um sistema de alerta de inundações é caracterizado por constituir um grupo de ferramentas capaz de monitorar a vazão e o nível de corpos de água, e em posse destes dados, alertar a população e aos órgãos responsáveis por mitigar os impactos oriundos de desastres naturais sobre o risco de inundações. Estas ferramentas são as estações meteorológicas, estações pluviométricas, modelos numéricos de previsão de chuvas, dados de medição de níveis de cursos d'água, imagens oriundas de satélites, entre outras (Vasconcelos, 2018). Meller, 2012, define como principal objetivo de um sistema de alerta a previsão precisa das condições futuras

de corpos d'água em seus pontos suscetíveis a inundação, tornando possível a emissão de avisos de alerta à população e aos órgãos de interesse, como a Defesa Civil.

A garantia de um funcionamento adequado no que tange ao sistema de alerta vai além da coleta e previsão dos dados pluviométricos e fluviométricos, visto que estes são influenciados por outros fatores. Desta forma, dados sobre o vento, pressão, temperatura e humidade são necessários para se obter corretamente um diagnóstico hidrometeorológico da região de estudo (WMO, 2008).

Tucci (2005) destaca os principais aspectos envolvidos em um sistema de alerta que atua com previsão em tempo real, estes aspectos são:

- Sistema de coleta e transmissão de informações hidrológicas e de tempo: monitoramento realizado por meio de redes telemétricas, satélites ou radares e a transmissão destes dados para um centro de controle e previsão;
- Centro de controle e previsão: local responsável pela recepção e processamento dos dados mencionados no item anterior, avaliação destes dados e alerta;
- Defesa Civil ou outro órgão responsável pela mitigação de desastres ambientais: responsável por comunicar a população sobre os riscos, emitir mapas de alerta e, quando necessário, realizar a mobilização da população atingida para locais seguros.

No Brasil alguns municípios contam com o auxílio dos sistemas de alerta, como por exemplo Rio de Janeiro, com o Alerta Rio, e São Paulo, com o SAISP. Estes sistemas possuem diversas informações hidrometeorológicas que ficam disponíveis para acesso da população. Destaca-se também o Cemaden, órgão do governo federal que tem por missão monitorar ameaças de possíveis desastres naturais em municípios brasileiros localizados em áreas de risco (CEMADEN, 2017).

Com relação a eficácia dos sistemas de alerta, em matéria realizada pela revista *Veja* em 2016, apontou-se uma considerável redução no número de mortes na cidade de São Paulo após a implementação do sistema de alerta. Destacou-se também a importância de um treinamento da população para com o funcionamento destes sistemas de monitoramento, de modo que estas

peças deixem suas casas de maneira segura em caso de possíveis desastres (informação verbal)³.

³ Entrevista da revista Veja com um dos engenheiros responsáveis por projetar o sistema de alerta da cidade de São Paulo, Mário Thadeu Leme de Barros. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/ciencia/em-sao-paulo-sistemas-de-alerta-ja-fazem-a-diferenca/>

3. SISTEMAS DE ALERTA NO BRASIL

Neste capítulo serão apresentadas as principais características dos sistemas de alerta das cidades do Rio de Janeiro, o Alerta Rio, e de São Paulo, o SAISP, identificando o funcionamento, estrutura e informações referentes a hidrometeorologia disponíveis para a população. Outrossim, apresentar-se-á o Cemaden, bem como seus objetivos e principais aspectos de funcionamento.

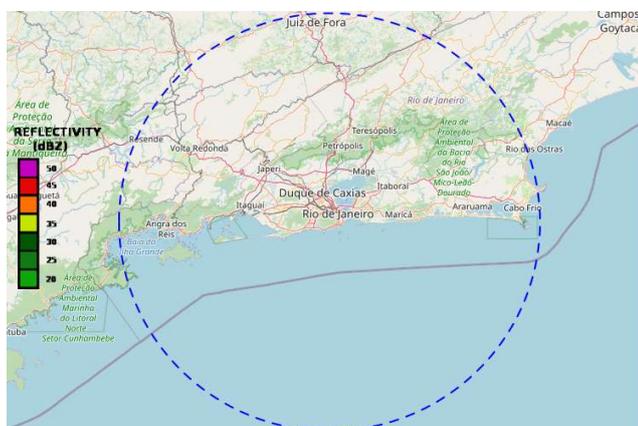
3.1. ALERTA RIO

Criado em 1996, o Alerta Rio é um sistema que tem por objetivo alertar a população da cidade do Rio de Janeiro por meio de boletins de alerta, no que se refere a previsão de chuvas intensas que possam gerar inundações e deslizamentos de terra, colocando em risco a vida da população. Atualmente este sistema conta com 26 estações pluviométricas e 7 estações hidrometeorológicas, totalizando 33 estações de monitoramento que enviam dados em intervalos de 15 minutos para o Centro de Operações Rio – COR, onde está localizada a equipe do Alerta Rio. (Alerta Rio, 20--?).

O sistema conta também com um radar meteorológico do tipo banda-C⁴ denominado Radar Sumaré. O mesmo está localizado no alto da Serra da Carioca no Parque Nacional da Tijuca e é operado diretamente do COR de forma remota via rádio. A Figura 10 apresenta a extensa área de cobertura do Radar Sumaré representada pelo círculo tracejado em azul (Alerta Rio, 20--?).

⁴ Este radar opera em comprimentos de onda entre 4 e 7,5cm, sendo o mais indicado para detecção de eventos extremos (Maes, et al, IN).

Figura 10 – Área de cobertura – Radar Sumaré.



Fonte : Alerta Rio (20--?)

O Alerta Rio utiliza os canais de acesso a população em conjunto com o COR para comunicação em caso de condições meteorológicas para chuvas intensas na cidade do Rio de Janeiro. Esta informação se baseia nos estágios operacionais do sistema, sendo estes em função da previsão de chuva intensa na cidade, no qual são diferenciados por cor, título e descrição.

- Normalidade (verde): estágio em que podem ocorrer acúmulos de água nas vias e pequenos acidentes, como quedas de árvores, mas estes não irão interferir de forma significativa na circulação do tráfego e no dia-a-dia da população.
- Atenção (amarelo): estágio caracterizado pela ocorrência de poucos incidentes que podem levar ao bloqueio de algumas vias importantes e comprometer o deslocamento da população.
- Mobilização (cinza): estágio em que há riscos de ocorrências de alto impacto, recomenda-se a população que siga com a rotina, porém mantendo-se informados nos canais do Alerta Rio.
- Alerta (vermelho): neste estágio a recomendação é que a população não se desloque e que se mantenham em locais seguros, pois as chances de que ocorram impactos graves na cidade são grandes.
- Crise (roxo): estágio em que define a ocorrência de um evento inesperado e de grande porte, no qual causa transtorno em regiões da cidade. Este estágio também

pode representar a previsão de um grande temporal que elevará o índice pluviométrico da cidade, aumentando os riscos de deslizamento e inundações.

No que se refere ao alerta de deslizamentos, o sistema informa a população a probabilidade de um possível desastre de acordo com a detecção de valores de chuva que ultrapassam o limite esperado pela equipe de geólogos do Geo-Rio, esta detecção é feita através das estações pluviométricas e as possibilidades classificadas em:

- a) Baixa: possibilidade da ocorrência de deslizamento devido circunstâncias que não estão ligadas diretamente com a ocorrência de chuvas;
- b) Média: possibilidade da ocorrência de deslizamento ocasionado por chuvas, porém com maior concentração em taludes artificiais;
- c) Alta: probabilidade de ocorrência de escorregamento de taludes naturais e artificiais esparsos, ocasionado por chuvas intensas;
- d) Muito alta: probabilidade de ocorrência de escorregamento de modo generalizado.

Atualmente o Alerta Rio é operado 24 horas através do COR. Este centro de operação surgiu no ano de 2010, após um evento de chuva intensa que atingiu a cidade do Rio de Janeiro. Com isso, a prefeitura viu a necessidade da interação de diversos órgãos da cidade, como a Rio Águas (monitoramento hidrológico de rios e canais), Comlurb (companhia de limpeza urbana), Geo-Rio (gestão do risco geológico-geotécnico), CET-Rio (companhia de trânsito), Light (companhia de energia), Defesa Civil, entre outros (informação verbal)⁵. Além disso, o COR conta com câmeras em locais considerados estratégicos, sendo estas mais um elemento fundamental no monitoramento.

A plataforma digital do Alerta Rio possui diversos documentos informativos disponíveis para a população, como relatórios de chuva e de climatologia, dados pluviométricos e meteorológicos dos anos de 1997 aos dias de hoje, mapa de chuvas, entre outros. Ademais, informações pertinentes a previsão do tempo e a sensação térmica também estão disponíveis para acesso na plataforma (Alerta Rio, 20--?). Vale ressaltar que o sistema Alerta Rio auxiliou na idealização de sistemas de alerta de outros municípios do país, servindo

⁵ Comunicação feita pela meteorologista do Alerta Rio, Juliana Hermsdorff durante uma palestra ao Curso de Atualização em Tempo, LAMET/CCT da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF.

de exemplo para estes no que se refere a implantação de redes de monitoramento, instrumentos usados e transmissão de dados (informação verbal)⁴.

3.2. SAISP

Em janeiro de 1976 ocorreram eventos de fortes chuvas na região metropolitana de São Paulo, causando risco de rompimento do reservatório de Guarapinga, localizado na cabeceira do rio Pinheiros. Desta forma, fez-se necessário a realização de um monitoramento, em tempo real, da região, de modo a resguardar a vida da população existente a jusante do reservatório em caso de um possível rompimento. Isto posto, em 1977 foram implantados os primeiros postos pluviométricos e fluviométricos distribuídos a montante do rio Pinheiros, localizado na bacia do Rio Tietê. Logo, foi criado o Sistema de Alerta a Inundações do estado de São Paulo – SAISP pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE (Varella, 2003).

O SAISP é operado pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica – FCTH, no qual são gerados boletins informativos a cada 5 minutos, referentes aos eventos de chuvas e suas possíveis consequências na cidade de São Paulo. Este monitoramento hidrometeorológico é realizado pela rede telemétrica hidrológica e pelo Radar Meteorológico de São Paulo, ambos de propriedade do DAEE. Em posse dos dados hidrometeorológicos, a equipe do SAISP realiza o tratamento destes dados e fornece mapas de chuva, leitura dos postos da rede telemétrica e mapa com previsão de inundações da cidade de São Paulo para a população através de meios digitais (SAISP, 2021).

O Radar Meteorológico de São Paulo é do tipo banda S⁶ e origina produtos de extrema importância para o SAISP, são estes:

- Mapas de precipitação (CAPPI): nestes são apresentados dados de chuva em uma escala colorimétrica a cada 5 minutos (quanto mais intensa a cor, mais intensa é a chuva);

⁶ Este radar opera em comprimentos de onda variando entre 7,5 cm e 15cm, e possui uma frequência baixa, o que acarreta em uma resolução temporal da informação menor (Maes, et al, 20--?).

- Altitudes máximas dos sistemas precipitantes (ECHO-TOP): sendo este responsável por exibir a medida de precipitação no topo das nuvens, sendo útil no que tange a avaliação da intensidade de uma precipitação;
- Precipitação acumulada (ACUMM): trata-se de um mapa responsável por fornecer dados de precipitação acumulada, informação necessária para avaliação do estado hidrológico das bacias hidrográficas. Os mapas de acumulação são gerados com intervalos de 1 hora, 12 e 24 horas;
- Corte vertical dos sistemas precipitantes (VIL): sistema responsável por apresentar a disponibilidade de água nos sistemas em tempo real, com intervalos de 5 minutos;
- Estimativas de rajada (GUST): produto que disponibiliza o campo de estimativas de rajada de vento que se encontram próximo a superfície. Sua previsão é válida de 5 a 15 minutos e possui intervalo de disponibilização de 5 minutos.

A Rede Telemétrica que fornece dados hidrológicos ao SAISP é composta por 28 postos, sendo 13 fluviométricos e 15 pluviométricos, sendo estas ditas como estações remotas – ER. A rede conta ainda com uma estação base – EB, composta por um microcomputador, na qual é responsável por coletar os dados das ERs através de linhas privadas e sistema de rádio VHF. O centro de controle responsável por tratar os dados e emitir o alerta, interroga a EB em intervalos de 5 minutos de forma automática (SAISP, 2021).

3.3. CEMADEN

Criado em julho de 2011, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – Cemaden, tem como principal objetivo o desenvolvimento e disseminação de conhecimentos científicos e tecnológicos, e a realização do monitoramento e divulgação de alerta de modo a auxiliar a gestão de riscos e impactos de desastres naturais. Esta criação foi estabelecida pelo Decreto MCTI n.º 7.513, pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, após a ocorrência de um grande desastre na Região Serrana do Rio de Janeiro, o qual ocasionou mais de 900 mortes (CEMADEN, 2017.).

Atualmente o Cemaden monitora 959 municípios do Brasil, onde estes possuem registros de desastres decorrentes de deslizamento de terra, inundações, enxurradas, dentre outros. O órgão monitora de forma contínua as condições geo-hidrometeorológicas destes

municípios, enviando alertas de riscos de desastres naturais quando são observadas situações que podem resultar em processos geodinâmicos e hidrológicos. Além disso, o impacto potencial da emissão de um alerta é definido a partir de uma matriz de níveis de alerta, apresentada na Tabela 2. (CEMADEN, 2017)

Tabela 2 – Matriz de níveis de alertas e impacto potencial

Matriz de níveis de Alertas		Impacto Potencial		
		Moderado	Alto	Muito Alto
Possibilidade de ocorrência	Muito Alta	Moderado	Alto	Muito Alto
	Alta	Moderado	Alto	Alto
	Moderada	Observação	Moderado	Moderado

Fonte 1: (CEMADEN, 2017)

O monitoramento da quantidade e intensidade de chuvas dos municípios monitorados pelo CEMADEN é feito através de estações de pluviômetros automáticos, locados com base em premissas importantes, como disponibilidade de espaço físico e inserção do município a ser instalada a estação na lista dos municípios considerados prioritários no que tange a gestão de risco de desastres naturais. A transmissão de dados a Sala de Situação do CEMADEN é realizada através de conexão com os servidores do Centro. Estes dados são enviados a cada 10 minutos em caso de dias chuvosos, e a cada uma hora quando não houver chuva. Estes dados são tratados e disponibilizados nos mapas interativos disponíveis em plataforma digital (CEMADEN, 2017).

O CEMADEN conta com radares meteorológicos para realização do monitoramento hidrometeorológico de alguns municípios do Brasil, os quais são capazes de obter informações detalhadas em raios de até 400 km. Além da previsão de chuvas em curto prazo, os radares são de extrema importância no que diz respeito a outros tipos de dados, como detecção de descargas atmosféricas. Além dos radares, alguns municípios contam com sensores geotécnicos, compostos por pluviômetros automáticos e sensores de umidade de solos, sendo possível coletar dados referente a quantidade de chuva acumulada e teor de umidade no solo (CEMADEN, 2017).

As estações hidrológicas são de extrema importância na rede observacional do Centro, e são utilizadas para monitorar os níveis dos rios por meio de sensor do tipo radar, e a precipitação, utilizando pluviômetros do tipo báscula. Estas estações contam com *webcam* integrada ao *datalogger* de forma que sejam obtidos registros fotográficos em tempo real, apresentando a situação do rio. Todas as informações coletadas nas estações hidrológicas são enviadas por meio de redes de telefonia celular (CEMADEN, 2017). A Figura 11 apresenta uma das estações hidrológicas do CEMADEN, onde é possível observar o sensor do tipo radar à esquerda e o pluviômetro do tipo báscula no topo.

Figura 11 – Estação Hidrológica do CEMADEN.



Fonte 1: CEMADEN (2017)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados aspectos importantes da bacia hidrográfica do rio Icaraí, objeto de estudo deste trabalho, bem como as estações pluviométricas existentes. Outrossim, apresentar-se-á uma proposta de implantação de novas estações pluviométricas, bem como estações fluviométricas e de controle da qualidade de água, visando um sistema de alerta antecipado de cheias nesta área.

4.1. CARACTERÍSTICAS DA BACIA DO RIO ICARAÍ

Localizada no município de Niterói, região metropolitana do estado do Rio de Janeiro, a bacia do rio Icaraí é uma bacia hidrográfica da macrobacia da Baía de Guanabara, a qual os rios drenam somente o território de Niterói, e desaguam na baía que dá o nome a macrobacia em questão (PMSB, 2015).

A bacia do rio Icaraí possui uma área de drenagem de, aproximadamente, 7,4 km², e é caracterizada como uma bacia urbana, visto que a ocupação de seu solo, em sua maioria, é de zonas urbanas. Os bairros pertencentes a esta bacia são Icaraí, Pé Pequeno, Cubango, Viçoso Jardim, Santa Rosa, Viradouro e Vital Brasil. A Figura 12 apresenta a bacia do rio Icaraí e seus bairros de forma detalhada (Faria, 2012).

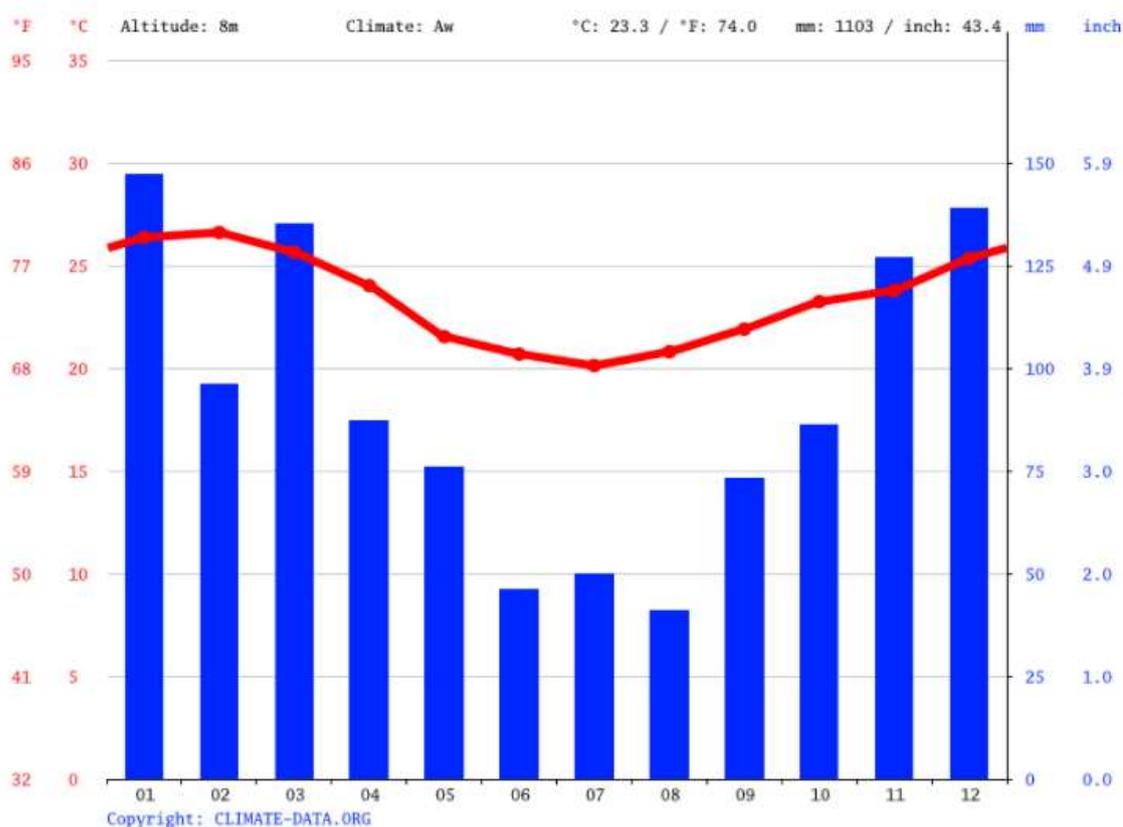
Figura 12 – Bacia hidrográfica do rio Icaraí.



Fonte: Faria, 2012

A cidade de Niterói está localizada na Região Sudeste do Brasil, na qual o clima é gerido pelo Sistema Tropical Atlântico, o que caracteriza a elevada umidade característica da região. É influenciada também pelo Sistema Polar, que ao encontrar o Sistema Tropical Atlântico origina os grandes temporais característicos da região, sendo estes mais intensos no período do verão, o contrário acontece no inverno, período em que as precipitações ocorrem em menor número (PMSB, 2015). A cidade possui pluviosidade média anual de 1103 mm⁷ e temperatura média anual de 23,3°C⁵, sendo fevereiro o mês mais quente e julho o mais frio. O Gráfico 1 apresenta a precipitação e a temperatura média mensal da cidade de Niterói (Climate-DATA, 2020).

Gráfico 1 – Precipitação e temperatura média anual.



Fonte 1: <https://pt.climate-data.org/americas-do-sul/brasil/rio-de-janeiro/niteroi-1772/#climate-graph>

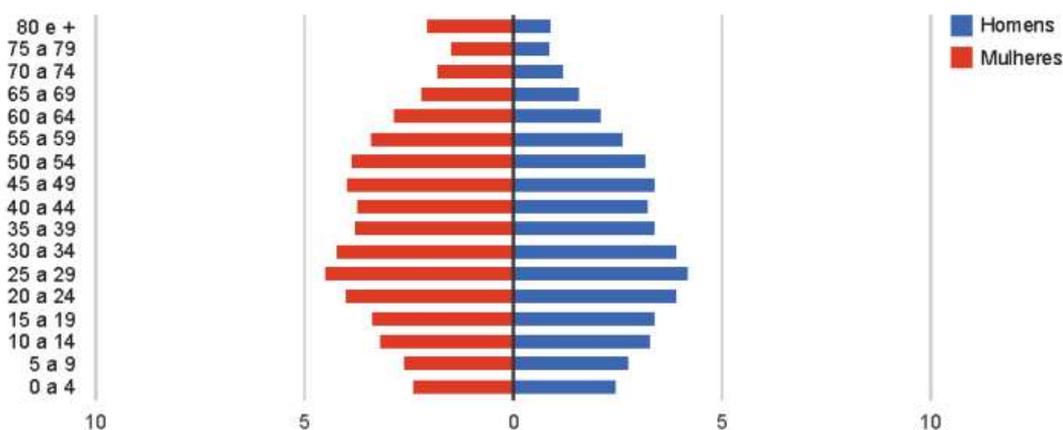
⁷ Estas informações são referentes a dados coletados entre os anos de 1999 a 2019 pela (Climate-DATA, 2021).

4.1.1. Aspectos Econômicos e Sociais

De acordo com Censo do IBGE, realizado no ano de 2010, a densidade demográfica do município de Niterói era de 3.640,8 habitantes por quilometro quadrado, onde Icaraí e Santa Rosa fazem parte dos bairros mais populosos da cidade. O Censo também apontou que o município apresenta uma taxa de urbanização de 100%, o que significa que a população de Niterói é, em sua totalidade, urbana, sendo assim um exemplo do processo de urbanização do país (TCE-RJ, 2011).

No que diz respeito ao perfil demográfico do município, o Censo de 2010 apresentou um estreitamento na base da pirâmide etária e um alargamento, considerado pequeno, na base com relação ao censo realizado anteriormente nos anos 2000, o que indica um aumento do envelhecimento populacional e uma redução na taxa de natalidade. Estes aspectos em uma pirâmide etária, frequentemente, estão atrelados a melhoria de vida da população e ao aumento na expectativa de vida. A Figura 13 apresenta a pirâmide etária obtida nos estudos do IBGE, na qual é possível observar os aspectos apontados neste parágrafo (PMSB, 2015).

Figura 13 – Pirâmide etária do município de Niterói.



Fonte: TCE-RJ, 2011

Com relação ao Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDHM, o município de Niterói está situado na faixa de Desenvolvimento Humano Muito Alto⁸, pois apresenta IDHM de 0,837. Uma das possíveis traduções para um alto IDHM é a melhora na qualidade de vida da população, porém este alto valor do índice também pode ser entendido como um indicador da desigualdade econômica e social de uma região. Os bairros que compõe a bacia do rio Icaraí possuem cerca de 25% da população com renda superior a dez salários mínimos (IBGE, 2010).

4.1.2. Hidrografia, Relevo e Ocupação do Solo

O relevo do município de Niterói é formado por grande parte montanhosa ou por morros elevados. O alinhamento estrutural que delinea a área do município forma os vales e os morros, outrossim as encostas presentes no relevo são declivosas, sendo este aspecto associado aos elevados índices pluviométricos da cidade de Niterói. Esta formação geomorfológica da região favorece os alagamentos durante os eventos de grande volume de precipitação, característicos da região sudeste (PMSB, 2015).

Os rios que drenam a bacia do rio Icaraí encontram-se, em grande parte, canalizados ou retificados, onde alguns trechos são de canalização externa e outros de canalização subterrânea. A Tabela 3 apresenta as informações referentes aos rios e canais da bacia do rio Icaraí. A desnaturalização destes rios se deu devido ao processo de urbanização da região, no qual ocorrem em outras cidades do Brasil. Apesar de necessária para construção de edificações e pavimentação da região, a canalização quase que totalmente subterrânea dos rios da bacia do rio Icaraí dificulta a localização de pontos de seção aberta (Holzer e Araújo, 2018). No que diz respeito ao monitoramento hidrometeorológico, é de extrema importância o fácil acesso aos pontos de seção aberto do curso d'água que se deseja monitorar.

⁸ Desenvolvimento Humano Muito alto: valores de IDHM entre 0,8 e 1 (IBGE, 2010).

Tabela 3 – Informações dos cursos d'água da bacia do rio Icarai

RIOS E CANAIS	EXTENSÃO (m)	TIPO DE SEÇÃO
Rio Cubango	2.600	Mista: maior parte fechada com calha retangular (concreto)
Canal Marins e Torres	2.200	Enterrado em seção retangular (concreto)
Rio Icarai	1.500	Mista: seção fechada de seção retangular (concreto) e aberta com canal de seção retangular (concreto)
Canal da Ary Parreiras	3.500	Aberta: canal com seção trapezoidal (concreto) até cruzamento com Canal Icarai e seção final retangular (concreto)

Fonte 1: PMSB, 2015 adaptada pelo autor.

Holzer e Araújo (2018) destacam ainda a necessidade de retificação e canalização subterrânea do rio Icarai para instalação do Estádio Caio Martins, sendo este um dos pontos de alagamento mais crítico do bairro de Icarai. Isso se dá devido a necessidade do escoamento natural da água oriunda da precipitação. Além disso, o trecho canalizado na região do Estádio Caio Martins possui uma curva a 90° a jusante, o que acarreta na desaceleração do escoamento do fluido, reduzindo a capacidade de escoamento do canal. Apesar do Estádio ser um ponto crítico, todas as ruas em seu entorno e grande parte do bairro de Icarai é considerada uma área crítica. (PMSB, 2015)

Com relação a ocupação do solo, mais de 70% da Bacia do rio Icarai é coberta por ocupação urbana, quase não havendo infiltração no solo, o que acarreta no aumento do escoamento superficial e em uma velocidade de escoamento elevada. Estes fatores contribuem demasiadamente na formação de alagamentos nas regiões mais baixas da bacia, o que se agrava com a baixa presença de vegetação (PMSB, 2015).

4.2. PROPOSTA DE MONITORAMENTO HIDROLÓGICO

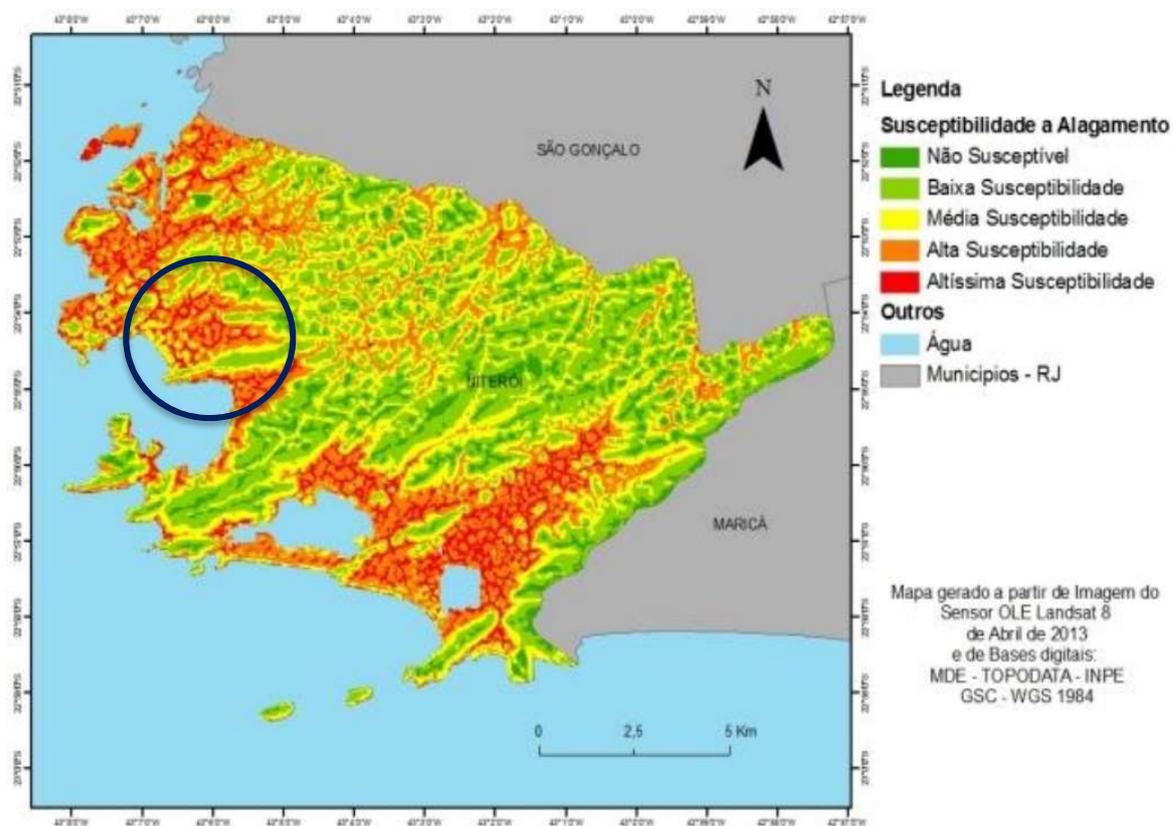
A elevada ocupação do solo e pouca existência de cobertura vegetal da área pertencente à bacia do rio Icaraí é um dos principais fatores para a ocorrência de alagamentos (acúmulo momentâneo de águas em determinados pontos por ineficiência do sistema de microdrenagem⁹) e inundações (transbordamento de água nos elementos da macrodrenagem¹⁰). Outrossim, o elevado crescimento populacional desta região e a não adaptação do sistema de microdrenagem também são ditos como causa dos desastres oriundos de eventos intensos de precipitação. De acordo com o PMSB, realizado em 2015, a rede subterrânea de macrodrenagem do município de Niterói não possui um levantamento cadastral dos dispositivos hidráulicos e espacialização dos mesmos (PMSB, 2015).

Neto, *et al* (2014), destacou os principais pontos suscetíveis a alagamento no município de Niterói, onde uma das causas estava atrelada a formação de relevo da região e o nível de ocupação do solo. As regiões mais favoráveis ao alagamento eram denotadas como planícies de inundação, regiões planas caracterizadas como superfícies de convergência de fluxo. A Figura 14 trata-se de um mapa elaborado por Neto, *et al* (2014), no qual apresenta as áreas mais e menos suscetíveis ao alagamento. Destaca-se a região da bacia do rio Icaraí como uma região crítica e favorável ao alagamento.

⁹ Microdrenagem: sistema de condutos pluviais que tem por função conduzir as águas pluviais ao sistema de macrodrenagem (PMSB, 2015).

¹⁰ Macrodrenagem: sistema que compreende os principais canais de veiculação das vazões, como rios e córregos (PMSB, 2015).

Figura 14 – Mapeamento de suscetibilidade de alagamento em Niterói.



Fonte: Neto, et al. (2014) adaptado pelo autor.

Em fevereiro do ano de 2018 um evento de precipitação de grande magnitude atingiu a região metropolitana do estado do Rio de Janeiro. Neste evento, o município de Niterói registrou índices pluviométricos com cerca de 85% acima do esperado para todo o mês. Em matéria realizada pelo G1 Rio (2018), foi registrado o transbordamento do Canal da Ary Parreiras no cruzamento entre as ruas Roberto Silveira e Ary Parreiras, no bairro de Icaraí. O Canal da Ary Parreiras é dos cursos d'água responsável pela macrodrenagem da bacia do rio Icaraí. A Figura 15 foi retirada da matéria em questão, e apresenta o transbordamento do Canal Ary Parreiras.

Figura 15 – Canal da Ary Parreiras extravasa durante chuva intensa.



Fonte: G1 Rio, 2018

O monitoramento hidrológico e a utilização de seus dados em um sistema de alerta de cheias são uma das medidas não estruturais que podem ser utilizadas afim de alertar a população e os órgãos sobre os riscos causados pelos eventos intensos de chuva que atingem constantemente a região de estudo. Além disso, a utilização de um sistema de monitoramento hidrológico auxilia na elaboração e planejamento de intervenções estruturais necessárias nos sistemas de macro e microdrenagem, visando um melhor funcionamento dos mesmos.

4.2.1. Estações Pluviométricas Existentes

A bacia do rio Icaraí conta com três pluviômetros eletrônicos instalados e monitorados pela Prefeitura de Niterói e pela Defesa Civil em conjunto com o CEMADEN, estes pluviômetros podem ser visualizados no endereço eletrônico da Defesa Civil¹¹. O primeiro fica localizado na Rua Itaguaí, no bairro Pé Pequeno, o segundo localiza-se na Rua Dr. Beltrão, no bairro Beltrão e o terceiro fica localizado na Alameda Paris entre os bairros de Icaraí e São

¹¹ Disponível em:

<http://sirene.cbmerj.rj.gov.br:8080/sirenesestadorj/MapaControle?cmd=consultaPluviometrosMapaPublico>

Francisco. A Figura 16 apresenta os pluviômetros eletrônicos existentes dispostos na bacia do rio Icaraí. Foi utilizado o *software* Google Earth para traçar a bacia de estudo e alocar os pluviômetros. Vale ressaltar que atualmente não existem estações de monitoramento de nível de curso d'água, como estações fluviométricas, na bacia do rio Icaraí.

Figura 16 – Bacia do rio Icaraí e os pluviômetros existentes.



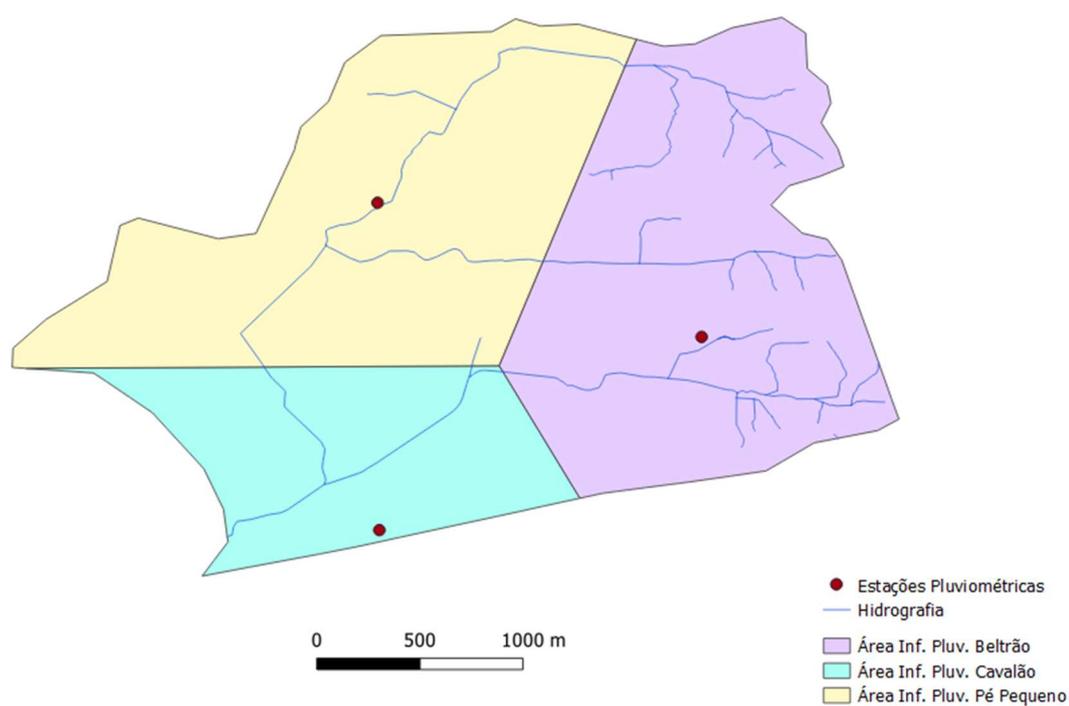
Fonte: Elaborada pelo autor.

De acordo com a OMM e com a Tabela 1 apresentada no subcapítulo 2.1.2 - Estações Pluviométricas do presente trabalho, uma estação pluviométrica cobre uma área de 900 km², ou seja, uma unidade de pluviômetro é o mínimo necessário em áreas de drenagem de até 900km². Desta forma, a bacia do rio Icaraí possui estações pluviométricas suficientes para o monitoramento da região, uma vez que possui uma área de drenagem de 7,4 km² e 3 estações pluviométricas. Porém, visto que se trata de uma área favorável a inundações e a eventos intensos de chuva, propor-se-á uma nova estação pluviométrica.

Em pesquisa exploratória buscou-se os dados de precipitação média coletados pelos pluviômetros apresentados acima, porém não se obteve sucesso. Para mais, em posse das coordenadas das estações pluviométricas e da delimitação da bacia hidrográfica do rio Icaraí,

definiu-se as áreas de influência de cada estação pluviométrica pelo método de Thiessen, com o auxílio do *software* de referenciamento geográfico ArcGis. A Figura 17 e a Tabela 4 apresenta estas áreas de influencia de forma ilustrativa e numérica.

Figura 17 – Áreas de influência das estações existentes.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 5 – Áreas de influência das estações existentes.

Estação Pluviométrica	Área de Influência
Pluv. Pé Pequeno	3,07 km ²
Pluv. Cavalão	1,17 km ²
Pluv. Beltrão	3,16 km ²

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2.2. Estações Fluviométricas e de Qualidade da Água Propostas

Como foi destacado anteriormente, a bacia do rio Icaraí conta apenas com estações pluviométricas. Porém, para realizar adequadamente o monitoramento hidrológico de uma bacia hidrográfica visando a previsão de cheias, faz-se necessário o controle dos níveis dos cursos d'água, pois através deste dado é possível obter a vazão em um dado ponto do curso d'água no tempo. Outrossim, o monitoramento do nível d'água é importante no controle de transbordamento de canais. Desta forma, o presente trabalho irá apresentar três locais para implantação de estações fluviométricas e de monitoramento da qualidade da água.

A escolha dos locais para a proposta de implantação das estações fluviométricas e de qualidade foi restrita, uma vez que a maior parte dos rios e canais que drenam a bacia do rio Icaraí encontram-se canalizadas de forma subterrânea, sendo necessário buscar locais de seção aberta. Utilizando o *software* Google Earth foram marcados os três pontos, o primeiro está localizado no Campo de São Bento (Estação Fluviométrica 1), o segundo encontra-se no início do canal da Ary Parreiras (Estação Fluviométrica 2), e o terceiro no final da Ary Parreiras (Estação Fluviométrica 3). A Figura 18 apresenta os três locais propostos para instalação das estações. Com relação ao monitoramento dos níveis nos canais, recomenda-se inicialmente a utilização dos sensores pizeresistivos submersíveis, porém ressalta-se a necessidade de calibração destes em função dos dados históricos de precipitação.

Figura 18 – Bacia do rio Icarai e as estações fluviométricas propostas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Como proposta de implementação de monitoramento da qualidade da água, recomenda-se que as estações responsáveis por este monitoramento sejam alocadas no mesmo ponto sugerido para as estações fluviométricas. Para isso, faz-se necessário o uso de equipamentos adequados, como foi mostrado no subcapítulo 2.1.3 – Estações Fluviométricas e 2.1.4 – Qualidade da água do presente trabalho, como por exemplo a sonda multiparamétrica, instrumento capaz de medir parâmetros relacionados a qualidade da água.

Ressalta-se que os parâmetros indicados a serem medidos nestas estações são: a temperatura, o oxigênio dissolvido e a demanda bioquímica de oxigênio – DBO. Estes fazem parte do Índice de Qualidade de Água – IQANFS, criado pela *National Sanitation Foundation* – NSF, nos Estados Unidos, onde foram selecionadas nove variáveis consideradas representativas com relação à qualidade da água, entre estas variáveis estão a temperatura, o oxigênio dissolvido e a DBO. À vista disso, a Tabela 6 apresenta estas variáveis com suas respectivas unidades de medida, onde é possível observar os parâmetros a serem considerados nas estações de monitoramento de qualidade de água propostas. (INEA, 20--?)

Tabela 6 – Variáveis IQA_{NSF}.

Variáveis - IQA _{NSF}	Unidade de medida
Coliformes Termotolerantes	NMP / 100 mL
DBO	mg /L O ₂
Fosfato Total	mg / L
Nitratos	mg / L
Oxigênio Dissolvido	% Saturação
pH	-
Sólidos Totais Dissolvidos	mg / L
Temperatura	°C
Turbidez	uT

Fonte: INEA (20--?), adaptada pelo autor

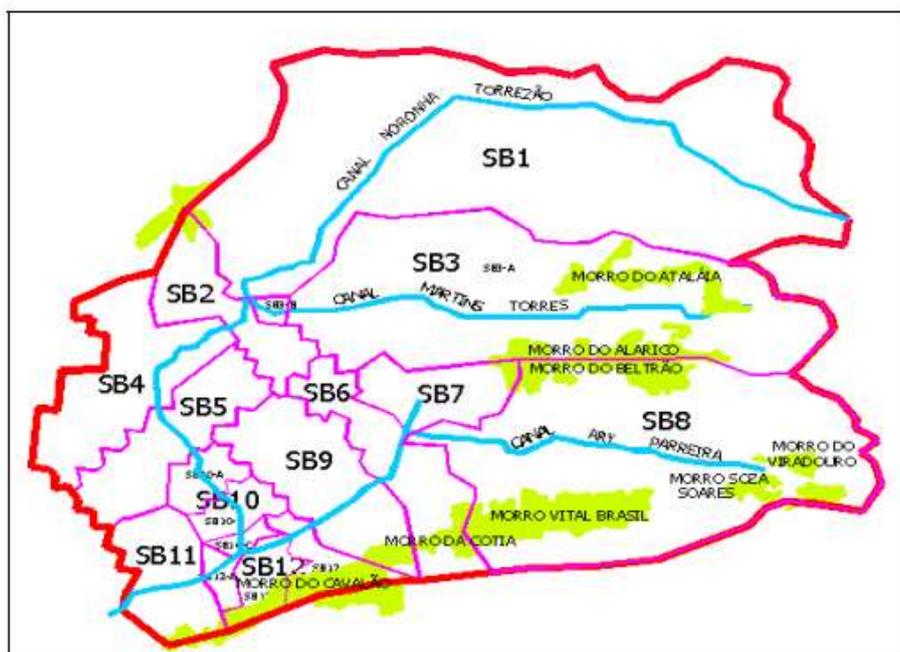
De acordo com Blainski, Garbossa e Antunes (2012) a escolha do local de implantação de uma estação fluviométrica está diretamente ligada com a finalidade da rede de monitoramento. Algumas recomendações pertinentes as escolhas de locais para instalação de estações são ditas pela WMO (2010), e são utilizadas independente da finalidade da rede de monitoramento, algumas destas recomendações são:

- a) A seção do rio ou canal selecionada para instalação da estação fluviométrica deve ser retilínea e livre de obstáculos;
- b) O local deve estar apropriado para receber todas as instalações da estação;
- c) O local deve ter fácil acesso para a equipe de monitoramento e manutenção acessá-lo;
- d) Deve-se levar em conta a forma de transmissão de dados para garantir o alcance adequado;
- e) O local deve ser associado a uma referência de nível, constituída de dois marcos que devem ser instalados em locais seguros e com a mesma referência de nível da calha do rio ou canal a ser monitorado.

Com relação a escolha dos locais para monitoramento dos níveis d'água, utilizou-se como base a modelagem computacional apresentada no relatório do seminário de apresentação

do projeto do Plano Municipal de Redução de Riscos – PMRR da cidade de Niterói. A bacia do rio Icaraí foi escolhida como prioridade para o início do estudo para elaboração deste, uma vez que o bairro de Icaraí se encontra nesta bacia, sendo este considerado por apresentar grande concentração de assentamentos precários. A Figura 19 apresenta a divisão da bacia do rio Icaraí em sub-bacias, e a Tabela 7 apresenta a área de cada uma destas sub-bacias.

Figura 19 – Bacia do rio Icaraí e suas sub-bacias.



Fonte: Niterói (2005)

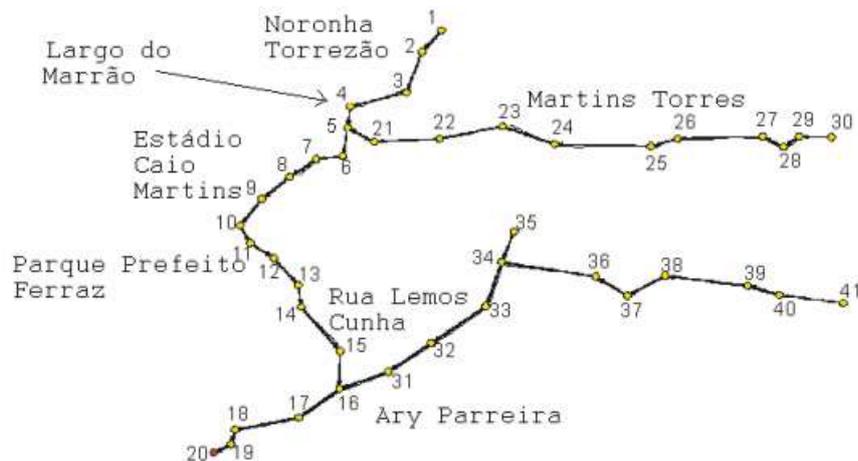
Tabela 7 – Áreas das sub-bacias.

Sub-bacias	Área (km ²)
SB1	2,2
SB2	0,2
SB3	
SB3-A	1,3
SB3-B	0,0
SB4	0,4
SB5	0,3
SB6	0,3
SB7	0,2
SB8	1,5
SB9	0,4
SB10	
SB10-A	0,1
SB10-B	0,1
SB10-C	0,0
SB11	0,2
SB12	
SB12-A	0,0
SB12-B	0,1
SB12-C	0,1
Total	7,4

Fonte: Niterói (2005), adaptada pelo autor.

Utilizando os dados referente ao caminhamento das seções dos canais e galerias do sistema de drenagem da bacia do rio Icaraí, foi realizada uma simulação computacional empregando o *software* SOBEK, no qual a principal finalidade era a avaliação do escoamento do sistema (Niterói, 2005). A Figura 20 apresenta os nós, representado as seções, e o caminho do sistema de drenagem em estudo.

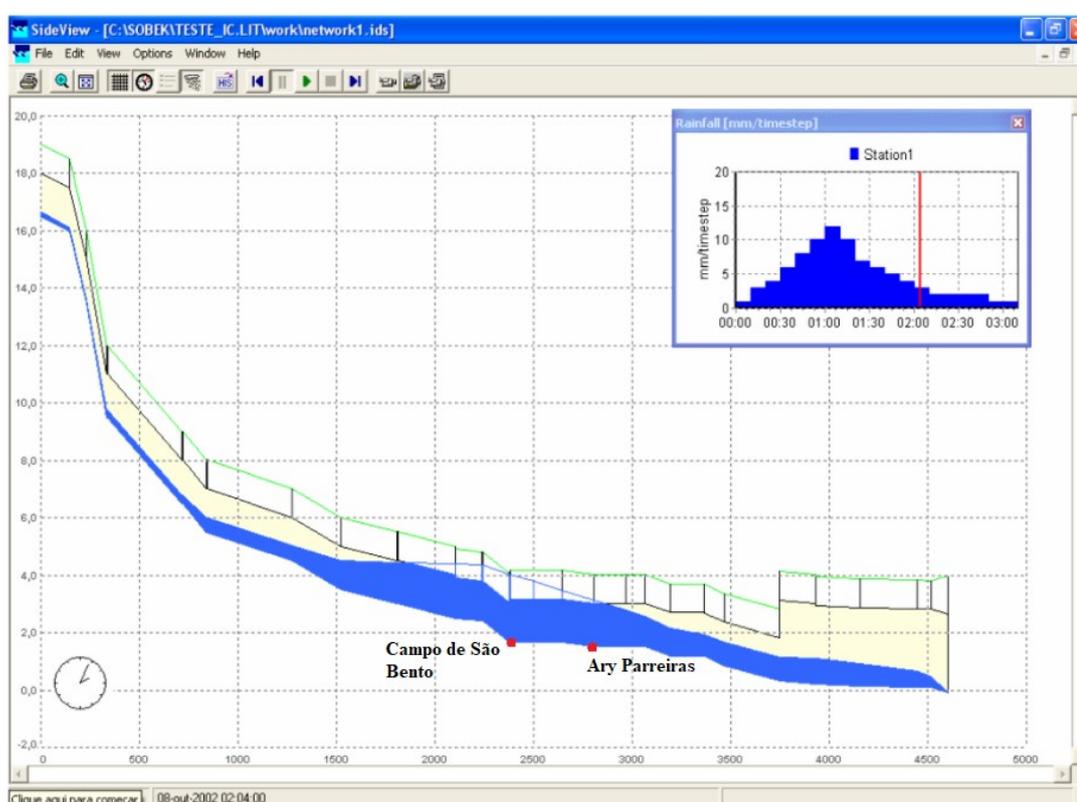
Figura 20 – Nós e caminho do sistema de drenagem – simulação hidrodinâmica.



Fonte: Niterói (2005)

Analisando o perfil da rede existente gerado pela simulação, foi possível observar os pontos localizados no Campo de São Bento (Estação Fluviométrica 1) e no final da Ary Parreiras (Estação Fluviométrica 3) seriam favoráveis à locação de estações fluviométricas, uma vez que o monitoramento de nível realizado nestes pontos garante o controle das seções a montante destas (Niterói, 2005). A Figura 21 apresente a simulação do perfil da rede em questão, bem como dois dos pontos selecionados para proposta de locação das estações fluviométricas do presente trabalho.

Figura 21 – Simulação – perfil da rede existente.



Fonte: Niterói (2005), adaptada pelo autor.

A escolha do terceiro ponto leva em consideração o monitoramento a montante do canal da Ary Parreiras com a Roberto Silveira, uma vez que este ponto é considerado crítico, como foi apresentado anteriormente no presente trabalho. Em eventos intensos de precipitação o canal da Ary Parreiras no ponto em questão transborda. À vista disso, o monitoramento do nível deste canal a montante deste ponto crítico faz-se favorável.

Como foi mencionado anteriormente, o monitoramento dos níveis dos cursos d'água em uma bacia é uma etapa fundamental em um sistema de alerta. À vista disso, propõe-se a definição de estágios de nível para as seções monitoradas, de modo que sejam emitidos alertas de acordo com o nível do canal. Os estágios de nível propostos são:

- a) Atenção: o nível d'água do canal encontra-se, aproximadamente, com 60% da altura total do mesmo;
- b) Emergência: o nível d'água do canal encontra-se, aproximadamente, com 80% da altura total do mesmo;
- c) Transbordamento: o nível d'água do canal atingiu a altura total do mesmo.

De modo a aplicar a proposta do monitoramento através de estágios de nível, faz-se necessário conhecer as dimensões dos canais a serem monitorados. Desta forma, a Tabela 6 apresenta as informações referentes a altura e largura da seção transversal dos canais ao qual estão sendo propostas as estações fluviométricas e de qualidade de água (Niterói, 2005).

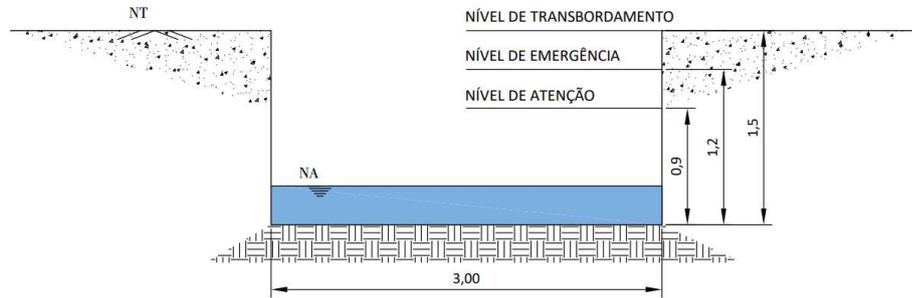
Tabela 6 – Dimensão das seções de monitoramento.

Canal - Estação Fluviométrica	Seção (b x h) (m)
Campo S. Bento - Est. Fluv. 1	3,0 x 1,5
Ary Parreiras - Est. Fluv. 2	0,20 x 3,0 - 0,7:1,00
Ary Parreiras - Est. Fluv. 3	5,5 x 1,5

Fonte: Niterói (2005), adaptada pelo autor.

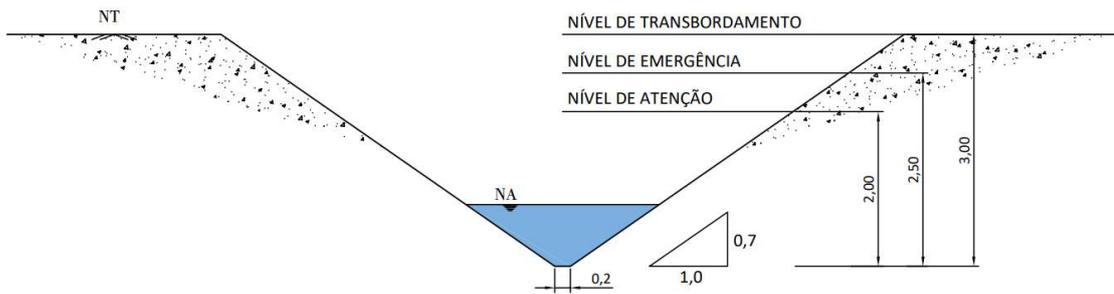
Em posse das dimensões das seções transversais dos canais em questão, define-se as alturas correspondente a cada estágio de nível dos pontos a serem monitorados. Desta forma, as Figuras 19, 20 e 21 apresentam tal configuração. A Figura 19 mostra o canal localizado no Campo de São Bento, cuja proposta se dá pela estação fluviométrica 1. A Figura 20 apresenta o canal situado no início da Ary Parreiras, tendo este como proposta a estação fluviométrica 2. Por fim, a Figura 21 traz o canal localizado no final da Ary Parreiras, sendo proposta a estação fluviométrica 3 para o mesmo.

Figura 19 – Seção transversal do canal no ponto da estação fluviométrica 1.



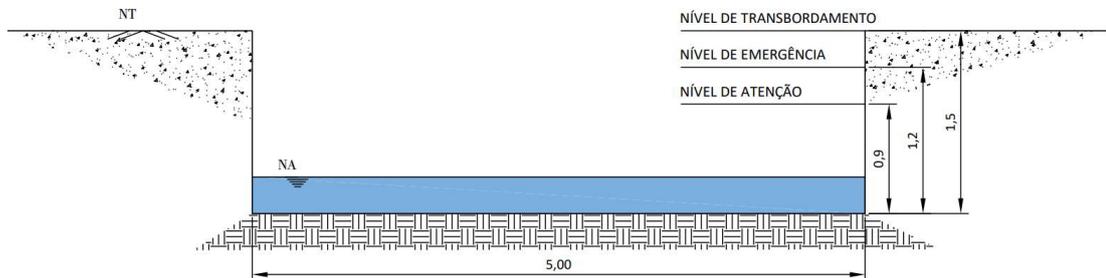
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 20 – Seção transversal do canal no ponto da estação fluviométrica 2.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 21 – Seção transversal do canal no ponto da estação fluviométrica 3.

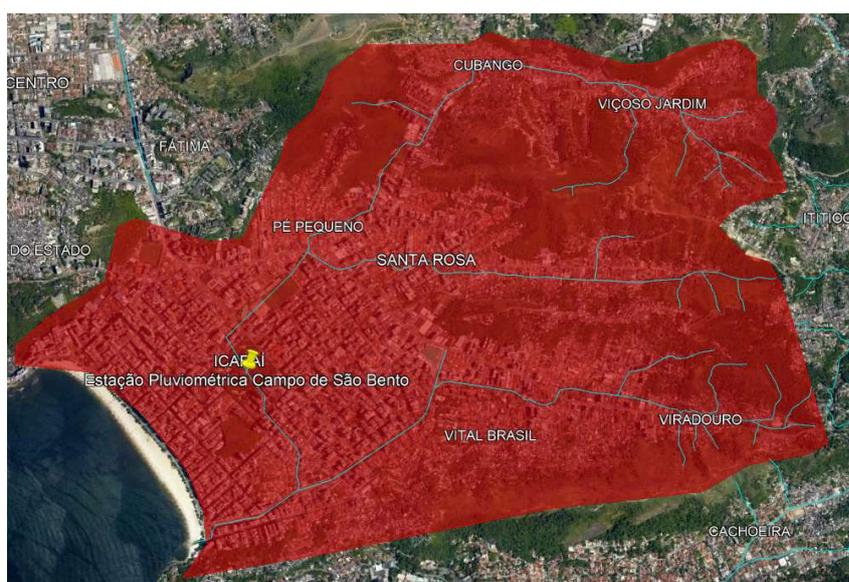


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.3. Estação Pluviométrica Proposta

A escolha do local para proposta de implantação da estação pluviométrica se deu a partir da necessidade de um ponto livre de obstáculos e da interferência do vento na bacia do rio Icaraí. Além disso, este local deve ser de fácil acesso para a equipe de manutenção de monitoramento acessar o equipamento. O local escolhido foi o Campo de São Bento, localizado no bairro de Icaraí, o mesmo local de implantação da Estação Fluviométrica 1. A Figura 22 apresenta o ponto de implantação da estação pluviométrica denominada Campo de São Bento, onde recomenda-se a instalação de um pluviômetro eletrônico.

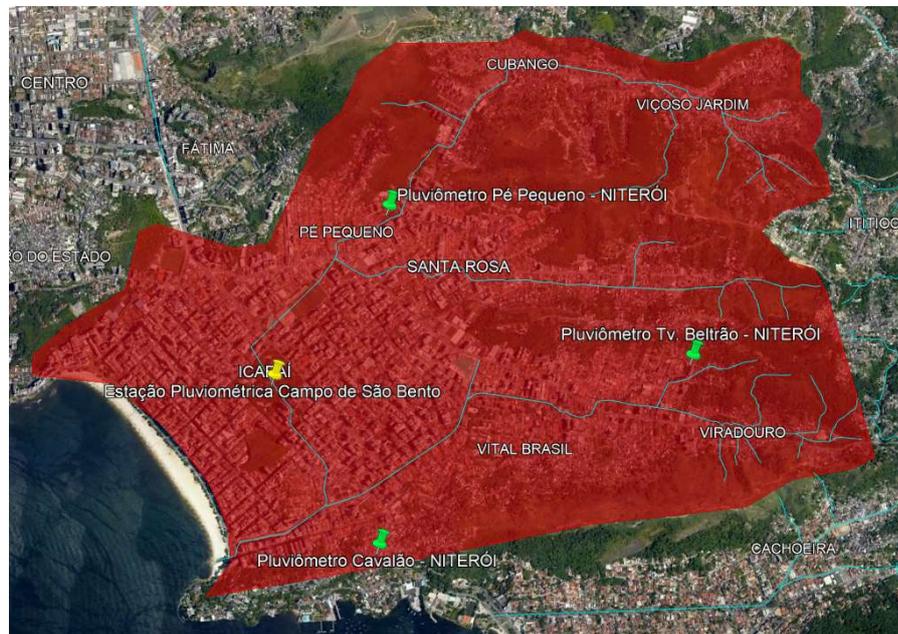
Figura 22 – Bacia do rio Icaraí e as estação pluviométrica proposta.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Posterior a proposta, a rede de monitoramento pluviométrico da bacia do rio Icaraí apresenta um novo arranjo. A Figura 23 apresenta esta nova rede em questão, onde as estações pluviométricas existentes são representadas pelos “pinos” na cor verde, e a estação pluviométrica proposta é representada pelo “pino” na cor amarela.

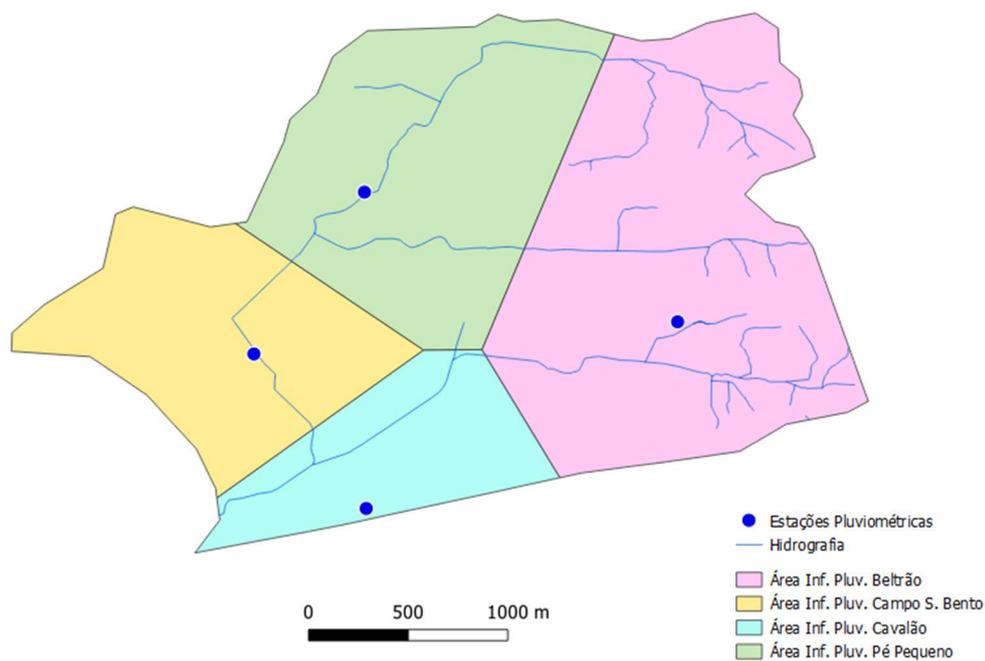
Figura 23 – Nova rede de monitoramento pluviométrico.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A nova rede de monitoramento pluviométrico proposta irá influenciar nas áreas de influência das estações existentes, uma vez que é adicionada uma nova estação. À vista disso, faz-se necessário a aplicação do método de Thiessen novamente, afim de definir as novas áreas de influência. Desta forma, com os dados referente as coordenadas das estações pluviométricas e o traçado da bacia hidrográfica de estudo, aplicou-se o método dos polígonos de Thiessen com o auxílio do *software* ArcGis. A Figura 24 apresenta as áreas de influência de forma ilustrativa e a Tabela 6 de forma numérica.

Figura 24 – Áreas de influência das estações consolidadas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 6 – Áreas de influência das estações consolidadas.

Estação Pluviométrica	Área de Influência
Pluv. Pé Pequeno	2,12 km ²
Pluv. Cavalão	0,57 km ²
Pluv. Beltrão	3,16 km ²
Pluv. Campo S. Bento	1,55 km ²

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2.4. Estações Pluviométricas e Fluviométricas após a Proposta

Após a locação das estações pluviométricas existentes e a definição dos locais para a proposta de implantação das estações fluviométricas e pluviométrica, utilizando o *software* Google Earth, estas foram dispostas na bacia do rio Icaraí, de modo a visualizar a rede hidrométrica de forma integralizada. Isso posto, a Figura 25 apresenta esta disposição final.

Figura 25 – Bacia do rio Icaraí e estações pluviométricas e fluviométricas.



Fonte 1: Elaborada pelo autor.

A transmissão dos dados coletados pelas estações hidrométricas ao centro de operação responsável por emitir o alerta deve ser em tempo real, pois a tomada de decisão dos gestores e dos órgãos responsáveis por mitigar os desastres causados pelas chuvas intensas, está diretamente ligada a recepção destes dados. Para mais, ressalta-se a importância da calibração dos instrumentos utilizados na medição de nível dos canais.

5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A bacia do rio Icaraí, localizada na cidade de Niterói, região metropolitana do estado do Rio de Janeiro, possui um sistema de drenagem subdimensionado e cerca de 70% da cobertura é de ocupação urbana, reduzindo a infiltração natural, devido à ausência de vegetação, e elevando o escoamento superficial. Para mais, a região é caracterizada por eventos de chuva intensa, chegando a atingir a média de precipitação prevista para o mês em apenas um dia. Estes fatores aumentam as chances de inundações e alagamentos, interferindo diretamente no cotidiano da população e, em alguns casos, acarretando em desastres.

A deficiência do sistema de macro e microdrenagem da região vai além do dimensionamento defasado com relação ao crescimento populacional. O posicionamento espacial dos elementos do sistema é pouco conhecido, o que dificulta a manutenção e outras intervenções. Outrossim, o redimensionamento deste sistema é considerado pouco viável economicamente e estruturalmente, uma vez que os bairros ao qual fazem parte da bacia do rio Icaraí são todos urbanizados e pavimentados, dificultando qualquer intervenção estrutural. Desta forma, se faz necessário buscar medidas não estruturais para mitigar os impactos advindos de eventos intensos de chuva, como as inundações.

Como medida não estrutural e emergencial, visando a redução destes desastres, destacam-se os sistemas de alerta, utilizados para alertar a população e aos órgãos responsáveis por intervir em casos de alagamentos, inundações e, por ventura, desastres que colocam em risco a vida da população. À vista disso, foram apresentados alguns sistemas de alerta do Brasil, caracterizados por fornecer informações pluviométricas, fluviométricas e meteorológicas. O funcionamento destes se baseiam na mesma sequência: captação de informação através da rede hidrometeorológica; transmissão de dados para um centro de controle operacional; e emissão de alerta.

O presente trabalho apresentou como proposta pontos para locação de estações de monitoramento hidrológico (três estações fluviométricas e de qualidade de água e uma estação pluviométrica) da bacia do rio Icaraí, visando a implantação de um sistema de alerta. Ressalta-se que a bacia de estudo possui três estações pluviométricas e nenhuma estação fluviométrica até o presente trabalho, sendo esta última extremamente necessária em sistemas de alerta.

Como recomendação para trabalhos futuros, preconiza-se o estudo de implantação de um sistema de alerta de inundações na cidade de Niterói, sugerindo a implementação de um centro de controle operacional no qual haja a integração dos órgãos da cidade responsáveis pelo fornecimento de energia elétrica, análise de deslizamentos de terra, trânsito, limpeza de rua, mobilização da população em caso de possíveis desastres, de modo que todos estes órgãos estejam cientes da previsão de inundações e alagamentos na cidade, estando preparados para realizar intervenções necessárias.

Outrossim, recomenda-se a análise de pontos críticos e suscetíveis a alagamentos e inundações da cidade de Niterói através de modelos computacionais hidrológicos ou históricos anteriores de eventos críticos de precipitação, visando a instalação de câmeras de monitoramento destes pontos, como instrumentos complementares ao sistema de alerta proposto.

Conclui-se que é de extrema importância analisar medidas que contribuam na redução de desastres ao qual a população está exposta. Apesar da intervenção estrutural na infraestrutura da região ser considerada pouco viável, existem outras medidas tão eficientes quanto, que garantem a proteção da vida da população e do meio ambiente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALERTA RIO (Rio de Janeiro - RJ). Fundação GEO-Rio. Quem Somos: Informações sobre o Sistema de Alerta de Chuvas da Prefeitura do Rio de Janeiro. *In: Sistema Alerta Rio*. [S. l.], 20--?. Disponível em: <http://alertario.rio.rj.gov.br/institucional/quem-somos/>. Acesso em: 30 jul. 2021.

ANA. **Informações sobre Recursos Hídricos**. Brasília 20--? Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/snirh-1/o-que-e>. Acesso em: 27 jul. 2021.

ANA. Ministério do Meio Ambiente. **Orientações para Elaboração do Relatório de Instalação de Estações Hidrométricas**. Brasília, 2011.

BLAINSKI, E.; GARBOSSA, L. H. P.; ANTUNES, E. N. **Estações hidrometeorológicas automáticas**: recomendações técnicas para instalação. 1. ed. rev. Florianópolis - SC: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, 2012. 43 p. v. 1.

BRASIL. **Lei n.º 14.026**, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera outras leis. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2020.

BRASIL. **Lei n.º 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1997.

CABRAL, J. B. P. **Análise pluviométrica aplicada ao estudo de caso de bacias hidrográficas**: Notas de Aula - Método de Thiessen. 1. ed. Curitiba-PR: Universidade Federal do Paraná, 2012

CARVALHO, Daniel F. de; MELLO, Jorge L. P.; SILVA, Leonardo D. B. da. **Hidrologia**. Rio de Janeiro: Notas de aula Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2007.

CEMADEN. GOVERNO FEDERAL (Brasil). Apresentação CEMADEN. *In: CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais*. [S. l.], 2017. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/missao-do-cemaden/>. Acesso em: 30 jul. 2021

CHAVES, Haroldo A. T. **Projeto de Uma Estação Fluviométrica Automática**. 2013. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) – Centro Universitário Univates, Lajeado, 2013.

CLIMATE-DATA (Brasil). Governo Federal. Clima Niterói. *In: CLIMATE-DATA (Brasil). Governo Federal. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC*. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-de-janeiro/niteroi-1772/#climate-graph>. Acesso em: 3 ago. 2021.

COLLISCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. **Hidrologia: para Engenharia e Ciências Ambientais**. Porto Alegre: 2013.

CORRENTINO, Marcos A. C. Agência Nacional de Águas – ANA. **Notas de aula sobre hidrometria – operação e manutenção de estações automáticas de coleta de dados**. Brasília, 2011.

FARIA, Ivan A. F. K. **Alternativas para mitigação de enchentes nos centros urbanos. Estudo de caso: reservatório para amortecimentos de cheias na bacia do rio Icaraí, município de Niterói – RJ**. 2012. Dissertação – Curso de Mestrado Profissional em Defesa e Segurança Civil – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2012.

G1 RIO. Chuva deixa Rio em estágio de atenção; Santos Dumont chegou a fechar por cerca de uma hora. **G1 RIO**, 10 fev. 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2020/02/10/rio-entra-em-estagio-de-mobilizacao.ghtml>. Acesso em: 23 jul. 2021.

G1 RIO (Brasil). Globo Notícias. **Chuva provoca alagamentos em ruas de Niterói**. G1, Rio de Janeiro, p. online, 20 fev. 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/video/chuva-provoca-alagamentos-em-ruas-de-niteroi-6526399.ghtml>. Acesso em: 25 ago. 2021.

HOLZER, Rainer; ARAÚJO, Eloisa Carvalho de. Rios Urbanos: O Caso do Rio Icaraí – Niterói/RJ. **Essentia Editora - IFFUMINENSE**, Campos dos Goytacazes, v. 12, ed. 1, p. 4-19, 2018.

IBGE (Brasil). Governo Federal. Censo Demográfico 2010: Niterói. *In*: IBGE (Brasil). Governo Federal. **Censo Demográfico 2010**. [S. l.], 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/niteroi/panorama>. Acesso em: 3 ago. 2021.

JIMENEZ, Pedro S. J. **Sistema de alerta de cheias com ênfase na previsão de vazões**. 2016. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

MACEDO, Lian de Araujo. **Modelagem hidrodinâmica aplicada à sub- bacia do rio Icaraí, Niterói-RJ**. 2019. Monografia – Curso de Engenharia Civil – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2019.

MAES, Gabriela *et al.* Estudo preliminar para a implantação de radar meteorológico em Santa Catarina. **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC**, Florianópolis - SC, 20--?

MARCIANO, A. G.; BARBOSA, A. A.; SILVA, A. P. M. Cálculo de precipitação média utilizando método de Thiessen e as linhas de cumeada. **SciELO Brasil** : Revista Ambient. Água, Taubaté - SP, n. 1, ed. 13, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/sdNHVHFwqXBgsTRG5KsR6BK/?lang=pt#>. Acesso em: 14 set. 2021

MARCUZZO, Francisco F. N.; MELATI, Maurício D. **Densidade de estações fluviométricas com descarga líquida na bacia da Lagoa dos Patos segundo os critérios da Organização Mundial de Meteorologia**. Rio Grande do Sul, Universidade Federal Rio Grande do Sul, 2015.

MELLER, Adalberto. Assimilação de Dados de Vazão na Previsão de Cheias em Tempo Real com o Modelo Hidrológico MGB-IPH. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s. l.], v. 7, ed. 3, p. 209-224, Jul/set 2012

MENDONÇA, M. C. S.; SENA, I. M. N.; SANTOS, M. R. A. Comparação dos métodos da média aritmética e de THIessen para determinação da pluviosidade média da sub-bacia do rio

Siriri. **Congresso Internacional RESAG: Gestão da água e monitoramento ambiental**, Aracaju-SE, ed. 2, p. 1-7, 2015.

NASCIMENTO, Dênis A. *et al.* **Análise comparativa de dados pluviométrico com pluviômetro e pluviógrafo de báscula**. *In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, n. ° 22, 2017, Florianópolis: ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2017.

NETO, D. S. *et al.* Identificação de área susceptíveis a eventos de alagamento no município de Niterói-RJ. **Revista GEONORTE**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, ed. 4, p. 473-477, 2014.

NITERÓI, Prefeitura Municipal de. **PMSB – Plano Municipal de Saneamento Básico: Diagnóstico, descrição e análise crítica do sistema de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas**. Niterói, 2015.

NITERÓI, Prefeitura Municipal de. **Relatório – Seminário do Projeto Plano Municipal de Redução de Riscos**. Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2005.

PEREIRA, Eric O. **Altimetria por satélite radar na medição do nível d'água de rios de pequeno e médio porte: um estudo de caso no Rio São Francisco**. 2018. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

POMPÊO, Cesar A. Drenagem Urbana Sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Santa Catarina, n. 5, p. 15-23, janeiro/março 2000.

SAISP (São Paulo - SP). Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. SAISP - Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo. *In: VARELA, G. M. Fundação Centro Tecnológico de São Paulo*. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.saisp.br/estaticos/sitenovo/home.html>. Acesso em: 1 ago. 2021.

SILVA, Régis L. L. da; SILVEIRA, Geraldo L. da. **Avaliação do uso da sonda multiparâmetros em apoio ao monitoramento da qualidade da água em rios**. *In: SRHNE – Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, n. ° 12, 2014, Natal – RN, ABRhidro, 2014.

SOUZA, Fernando M. L. e *et al.* **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos: sistematização conceitual e modelagem funcional.** *In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, n. ° 18, 2009, Campo Grande – MS. 2009.

STUDART, Ticiania M. C. **Hidrologia.** 2006

TCE-RJ (Rio de Janeiro). Secretaria Geral de Planejamento. Estudos Socioeconômicos dos Municípios do Estado do Rio de Janeiro: Niterói. **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC.**, Rio de Janeiro, p. 1-90, 30 dez. 2011.

TUCCI, Carlos E. M. **Gestão de Inundações Urbanas.** Rio Grande do Sul: Ministério das Cidades – Global Water Partnership – Word Bank – Unesco, 2005.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** Porto Alegre: Ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 4, 2001.

UNISDR. **Marco de Sendai para la reducción del Riesgo de Desastres 2015 – 2030.** Ginebra, 2015.

VARELA, G. M. **Um Sistema de Alerta para Monitoração, Divulgação e Coordenação de Atividades em Situações de Enchentes.** Orientador: Rosvelter João Coelho da Costa. 2003. 78 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

VASCONCELOS, Yuri. Alerta contra inundações: Sistema desenvolvido na USP pode ajudar a reduzir transtornos gerados pelo transbordamento de rios urbanos. **Explorando a abordagem sensor web e o sensoriamento participatório no monitoramento de rios urbanos**, Revista Pesquisa Fapesq, ano 19, n. 12, ed. 263, p. 74-75, 1 jan. 2018. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/folheie-a-edicao-263/>. Acesso em: 30 jul. 2021.

WMO. Weather Meteorological Organization. **Guide to Meteorological Instruments and Methods od Observation.** Geneva, 2008.