

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

BRUNA RAFAELA MARIZ DOS SANTOS
JONATHAN COSTA BRANT DE ARAÚJO
NATHALIA BRAGA FERREIRA
NATHALIA ROBERTA MARIZ DOS SANTOS

SOLUÇÕES DE ENGENHARIA PARA INUNDAÇÕES DO RIBEIRÃO BRANDÃO
EM VOLTA REDONDA, NO BAIRRO VILA SANTA CECÍLIA

VOLTA REDONDA

2021

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

SOLUÇÕES DE ENGENHARIA PARA INUNDAÇÕES DO RIBEIRÃO BRANDÃO
EM VOLTA REDONDA, NO BAIRRO VILA SANTA CECÍLIA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
do UniFOA como requisito à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Alunos:

Bruna Rafaela Mariz Dos Santos

Jonathan Costa Brant De Araújo

Nathalia Braga Ferreira

Nathalia Roberta Mariz Dos Santos

Orientador:

Prof. M. Sc. Marcus Vinicius Faria de
Araújo

Coorientadora: Prof^a. M. Sc. Erika Fraga
Rodriguez

VOLTA REDONDA

2021

FOLHA DE APROVAÇÃO

Orientador: Prof. M. Sc. MARCUS VINICIUS FARIA DE ARAUJO

Co orientadora: Prof^a. M. Sc. ERIKA FRAGA RODRIGUES

Banca Examinadora:

M. Sc. Sergio Luiz Taranto de Reis

Esp Rogerio Nogueira Pereira

Dedicamos esse projeto às nossas famílias e amigos pelo apoio durante essa caminhada para realização de mais um sonho. Aos nossos queridos professores M.Sc Marcus Vinícius, M.Sc Érika Rodriguez e M.Sc Joice de Araújo pelos ensinamentos e orientações para a realização deste trabalho de conclusão de curso.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer primeiramente à Deus, por ter nos dado condições de chegar até aqui, pois se não fosse por Ele, nada disso estaria acontecendo em nossas vidas.

Agradecemos também a todos os nossos familiares pelo apoio que foi dado até aqui, seja apoio financeiro, emocional ou psicológico, em nossa caminhada pessoal e profissional, todos foram muito importantes para que conseguíssemos concluir este sonho.

A todos os amigos que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a conclusão deste trabalho, e que compreenderam nossa ausência em alguns momentos importantes para que pudéssemos nos dedicar ao máximo para a realização de tudo.

A todos os nossos professores que nos acompanharam ao longo desta longa jornada e compartilharam seus conhecimentos de maneira brilhante com todos nós.

Em especial dentre nossos professores, ao nosso orientador M.Sc Marcus Vinicius Faria de Araújo que de imediato aceitou nosso pedido de orientação e nos passou toda ajuda e confiança de maneira excepcional, além de nos incentivar a transformação deste trabalho numa publicação de artigo no XIV Colóquio UniFOA; à nossa coorientadora M.Sc. Érika Fraga Rodriguez por todo o conhecimento que nos foi transmitido para a conclusão deste trabalho; e à professora Joice de Araújo, por todo o tempo disposto a realização deste projeto, por toda ajuda e por acreditar em nós.

Agradecemos também ao engenheiro Leonardo Nunes, membro do Comitê de Bacias do Médio Paraíba do Sul, por nos fornecer dados extremamente importantes para a conclusão do presente trabalho, e à geógrafa Sara Louzada pelo suporte na elaboração dos mapas com o software ArcGIS.

RESUMO

A intensificação das inundações na atualidade tem aumentado a ocorrência de impactos nos centros urbanos, pois além dos prejuízos econômicos causados pelos danos à infraestrutura urbana, também são provocados prejuízos sociais inestimáveis. Isso acontece porque embora as precipitações e as cheias dos rios sejam fenômenos naturais, seu modo de ocorrência é intensamente alterado pelas ações antrópicas, que alteram completamente o sistema orgânico da natureza nos centros urbanos e o transformam em um sistema insustentável. Nos últimos anos, por exemplo, a cidade de Volta Redonda (RJ) obteve índices pluviométricos cada vez mais altos em relação à média diária, sendo que o índice mensal diminuiu, indicando uma concentração pluviométrica em curtos períodos de tempo e a consequente intensificação dos estragos causados em decorrência desse fenômeno. Contudo, as inundações urbanas ainda são tratadas, em geral, como um problema causado em decorrência do excesso de chuva, sem levar em consideração a capacidade da bacia hidrográfica e a ocupação territorial como partes de um sistema interdependente. Medidas convencionais como canalizações, obras antienchentes e estabilização de córregos tem se mostrado insuficientes. Sendo assim, o projeto investiga soluções e alternativas de engenharia capazes de atenuar os problemas causados pelas inundações no bairro da Vila Santa Cecília, importante centro comercial da cidade, originadas pelo transbordamento do Ribeirão Brandão. Os estudos indicaram que, em condições naturais, a microbacia do Ribeirão Brandão teria bons coeficientes de drenagem e baixa propensão a inundações, porém, devido ao projeto urbanístico que sufocou e limitou as áreas dos rios e suas matas ciliares, reconfigurações na infraestrutura urbana do bairro se mostram inviáveis. Por isso, o trabalho destaca medidas estruturais como o investimento em projetos de captação da água da chuva por meio de reservatórios residenciais e comerciais no bairro para o consumo não potável e a substituição do pavimento convencional pelo pavimento permeável, que possui uma taxa de infiltração de 100% e teria o mesmo valor final de investimento; além de medidas não estruturais. Ademais, devido à complexidade da problemática, o trabalho também dá margem para outras investigações acerca do tema em questão.

Palavras-chave: Enchentes, drenagem urbana, obra, córrego, bacia hidrográfica.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Delimitação da problemática.....	15
1.2 Justificativa.....	16
1.3 Estratégias da pesquisa	17
1.4 Etapas e Estrutura da pesquisa	17
1.5 Objetivo geral	18
1.6 Objetivos específicos.....	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1 Enchentes e transbordamentos.....	19
2.2 O município de Volta Redonda no contexto da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul	22
2.3 Diagnóstico geral da Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul RH III..	25
2.3.1 Caracterização da Área de Estudo	25
2.4 Informações referente ao Ribeirão Brandão.....	26
2.5 Drenagem urbana.....	34
2.6. Técnicas e tecnologias para minimização de enchentes e transbordamentos.....	37
2.6.1. Pavimento permeável.....	37
2.6.2. Bueiros inteligentes	40
2.6.3. Obras de reaproveitamento de águas pluviais em residências e áreas institucionais	41
2.6.4. Detenção de escoamento	42
2.6.5. Áreas vegetais	43
2.7. Legislação aplicável.....	44
3. ESTUDO DE CASO	47
3.1 Classificação da pesquisa.....	47

3.2 Local de estudo	49
3.2.1 Uso do solo no bairro Vila Santa Cecília.....	52
3.2.2 Efeitos da urbanização	61
3.3 Regime pluviométrico de Volta Redonda.....	64
3.4 Saneamento e despoluição do ribeirão.....	67
3.5 Medidas propostas.....	68
3.5.1 Limpeza dos rios	68
3.5.2. Captação da água da chuva	69
3.5.3. Recuperação das matas ciliares	70
3.5.4. Pavimento Permeável	72
3.5.5. Conscientização da população	74
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas do Ciclo Hidrológico.....	19
Figura 2 – Consequências da retificação dos rios e construção nas planícies de inundação.....	21
Figura 3 – Bacia do Rio Paraíba do Sul com destaque para a cidade de Volta Redonda.....	22
Figura 4 - Localização do município de Volta Redonda.	23
Figura 5 – Inundações ocorridas no município em dezembro de 2010.....	24
Figura 6 – Localização do Município de Volta Redonda no Estado do Rio de Janeiro, e municípios limítrofes: BM - Barra Mansa, BP – Barra do Piraí, PR – Piraí, P – Pinheiral, RC – Rio Claro. Em destaque a localização da microbacia do Ribeirão Brandão.....	24
Figura 7 – Carta Hidrográfica do Médio Paraíba, com destaque para a microbacia do Ribeirão	26
Figura 8 – Microbacia do Ribeirão Brandão com destaque para a cidade de Volta Redonda.....	27
Figura 9 – Medidas estruturais e não estruturais.....	37
Figura 10 – Pavimento Permeável.....	40
Figura 11 – Bueiros inteligentes.....	41
Figura 12 – Esquema de captação de águas pluviais em residências.....	42
Figura 13 – Reservatório para retenção de água.....	43
Figura 14 – Áreas Verdes.....	43
Figura 15 – Estrutura político-institucional.....	47

Figura 16 – Retificação e canalização do Ribeirão Brandão no bairro Vila Santa Cecília.....	60
Figura 17 – Retificação e canalização do Ribeirão Brandão no bairro Vila Santa Cecília.....	60
Figura 18 – Aspecto do Ribeirão Brandão quando chega à dependência da CSN .	61
Figura 19 – Efeitos da urbanização.....	62
Figura 20 – Ribeirão Brandão transborda na Rua 41.....	63
Figura 21 – Ribeirão Brandão transborda na Rua 41.....	63
Figura 22 – Retificação do Ribeirão Brandão.....	68
Figura 23 – Secretaria Municipal de Infraestrutura de VR realiza a limpeza de córregos do município.....	69
Figura 24 - Poluição e sujeira no Ribeirão Brandão.....	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Informações referente ao município de Volta Redonda pertencente à Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul.....	26
Quadro 2 - Características geométricas básicas da microbacia do Ribeirão Brandão.....	28
Quadro 3 - Coeficiente de compacidade (Kc) e Fator de forma (Kf) das microbacias da Região Hidrográfica Médio Paraíba do Sul.....	30
Quadro 4 - Índice de Sinuosidade (Is) dos rios principais das microbacias da Região Hidrográfica Médio Paraíba do Sul.....	31
Quadro 5 - Cotas máximas e mínimas, amplitude altimétrica máxima e elevação média das microbacias da Região Hidrográfica Médio Paraíba do Sul.....	31
Quadro 6 - Declividade mínima, média e máxima das microbacias da Região Hidrográfica Médio Paraíba do Sul.....	33
Quadro 7 - Rio Ribeirão Brandão com uma declividade do curso d'água de 10,75 m/km segundo.....	34
Quadro 8 - Componentes geralmente utilizados em pavimentos porosos.....	39
Quadro 9 - Classes de uso e ocupação do solo.....	54
Quadro 10 - Área e proporção das classes de uso do solo.....	58
Quadro 11 - Área de preservação permanente junto a rios, lagos e as margens.....	71
Quadro 12 - Tipos de pavimentos permeáveis e suas possíveis utilizações.....	72
Quadro 13 - Descrição de materiais para pavimento convencional.....	73
Quadro 14 - Descrição de materiais para pavimento permeável.....	74

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1 – Gráfico da pluviosidade anual da cidade de Volta Redonda.....65
- Gráfico 2 – Gráfico da pluviosidade mensal máxima da cidade de Volta Redonda ...65
- Gráfico 3 – Gráfico da pluviosidade diária máxima da cidade de Volta Redonda.....66

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 – Ribeirão Brandão e seus afluentes com destaque para o bairro de estudo.....	50
Mapa 2 – Bairro Vila Santa Cecília, com destaque para o local de estudo.....	51
Mapa 3 – Uso do Solo do bairro Vila Santa Cecília.....	53
Mapa 4 – Local específico de estudo próximo ao Hospital Santa Cecília, antigo Hospital da CSN.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

APP'S - Área de Preservação Permanente

CBH – Comitês de Bacia Hidrográfica

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

COMPDEC – Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil

CSN – Companhia Siderúrgica Nacional

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPPU – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano

PMVR – Prefeitura Municipal de Volta Redonda

SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto

1 INTRODUÇÃO

A grande aceleração urbana das cidades brasileiras a partir da década de 1950 se deu através de uma visão imediatista que copiava modelos de urbanização europeus e desenhava as cidades sob uma lógica rodoviarista que dava prioridade ao automóvel em detrimento de outros meios de transporte, o que acabou por atropelar a construção de um planejamento urbano pautado na garantia da saúde dos recursos naturais e da qualidade de vida da população. Tal mal planejamento, ou a falta dele, juntamente com a consequente ocupação desordenada desencadearam a consolidação de uma extensa área impermeabilizada do solo nas cidades, o que acentua em grandes proporções o fenômeno das inundações e dificulta a vida da população (CUSTÓDIO, 2012).

Na região sudeste do Brasil, onde está localizada a cidade de Volta Redonda, os períodos mais chuvosos duram 5,5 meses, desde outubro até abril, entretanto, ao longo dos últimos anos se faz perceptível as mudanças no comportamento das precipitações. No ano de 2020, por exemplo, de acordo com o jornal Diário do Vale, a cidade teve um mês de fevereiro de grande aumento no acúmulo das chuvas, que corresponderam a cerca de 400 mm, o que indica um aumento de 68% do acumulado em relação ao ano de 2019. Este cenário de precipitações intensas aliado à grande área asfaltada, ocupações irregulares, canalizações dos córregos, deficiência do sistema de drenagem e remoção da cobertura vegetal impossibilita a infiltração da água das chuvas no solo e aumentam extraordinariamente a vazão dos cursos d'água, causando os extravasamentos e as consequentes inundações (BOTELHO & SILVA, 2010).

A partir disso uma série de impactos são gerados, produzindo efeitos diretos na infraestrutura hídrica, como na drenagem urbana, no esgotamento sanitário, no abastecimento de água e nos resíduos sólidos (TUCCI 2008). No âmbito do saneamento, por exemplo, os problemas gerados destacados são o aumento da produção de resíduos sólidos, a contaminação das águas pluviais e a impermeabilização da superfície. Segundo Moura (2004), a ocorrência de inundações, o empocamento de águas pluviais, o carreamento de resíduos sólidos pelo sistema de drenagem, além da poluição das águas pluviais pelo lançamento de esgotos, são

fatores potenciais para a disseminação de doenças em áreas onde o sistema de drenagem é inexistente ou ineficaz.

Dessa forma, um dos ciclos vitais que mais sofre é o ciclo hidrológico, pois o atual planejamento das águas urbanas não o considera de forma integrada, englobando a influência mútua entre os recursos hídricos superficiais, as águas pluviais e subterrâneas, assim como a influência do planejamento urbano sobre estes. Neste contexto, os problemas causados no ciclo hidrológico devido à urbanização acelerada podem ser amenizados através de políticas públicas e documentos legais, que sendo devidamente aplicados e monitorados de forma integral, facilitam a preservação da qualidade dos recursos hídricos. Quando estes fatores são integrados com a gestão de outros recursos e atividades humanas, como sistemas de produção industrial, resíduos sólidos, entre outros, eles permitem uma gestão das águas mais sustentável (SOUZA & TUCCI, 2005).

Diante dessa problemática foi desenvolvido um tema que fosse capaz de diagnosticar o fenômeno das inundações e assim traçar estratégias e ferramentas de engenharia para mitigar os problemas econômicos e sociais causados pelo extravasamento do Ribeirão Brandão no bairro da Vila Santa Cecília, pois apesar deste bairro central ser o que mais apresenta rotatividade de pessoas da cidade, seu principal corpo hídrico em questão encontra-se caracterizado pelo descaso em obras de práticas de engenharia e as consequências do seu transbordamento acabam por atingir diretamente ou indiretamente grande parte da população (BARBOSA, 2006).

1.1 Delimitação da problemática

Conforme Mesquita, Silvestre e Steinke (2017), o processo de urbanização, a degradação das matas ciliares, assoreamento e impermeabilização dos solos, alterações dos cursos naturais dos rios, projetos ineficazes e o descarte inadequado de dejetos, reflete no escoamento superficial da água, acarretando as inundações ou enchentes, o que juntamente com os elevados índices pluviométricos no verão e o relevo da cidade, traz grandes transtornos para a população. Embora já executadas as obras de canalização do Ribeirão Brandão, com diversas intervenções entre os

bairros Casa de Pedra, Sessenta e Vila Santa Cecília, ainda não foi possível conter o agravamento e evitar prejuízos. Com a incidência das inundações originadas pelo ribeirão no bairro da Vila Santa Cecília, que é o foco do trabalho justamente por se encontrar na parte à jusante do rio e que mais contém solo impermeabilizado, levanta-se às seguintes questões:

- Quais as principais causas das inundações no Ribeirão Brandão?
- Como minimizar o problema através de soluções de engenharia?
- Quais os transtornos gerados à população, mediante as recorrências das inundações no Ribeirão Brandão?

1.2 Justificativa

As consequências das inundações são drásticas na maioria dos casos. Além de promoverem a propagação de doenças e destruírem a área urbana, trazem prejuízos econômicos e sociais à população.

A poluição dos esgotos pluviais não parece ser de grande preocupação para as grandes cidades, visto que o esgoto irregular ainda é a principal causa dessa poluição em rios e córregos. Durante uma cheia urbana, a carga poluente do pluvial pode chegar até 80% da carga de esgoto doméstico (MACHADO, 2019). Dessa forma, torna-se estritamente necessário às análises dos impactos de drenagem pluvial sobre os corpos de águas superficiais e subterrâneas, mantendo o uso sustentável das bacias hidrográficas.

O presente trabalho se justifica na importância de se solucionar as recorrentes inundações do Ribeirão Brandão, tendo em vista a minimização de tais problemas. Espera-se obter um diagnóstico das inundações, e posteriormente, o método mais adequado, capaz de mitigar as ocorrências, que acarretam tantas perdas não só para o homem, mas também por toda vida ali existente.

1.3 Estratégias da pesquisa

Conforme Severino (2017), o presente trabalho é classificado quanto à natureza, como pesquisa aplicada, pois enfatiza a prática da solução de problemas relacionados às inundações recorrentes pelo Ribeirão Brandão, utilizando conceitos de recursos hídricos e engenharia urbana. Quanto aos objetivos, ela é descritiva e exploratória, pois além de sintetizar os fatores que determinam as causas das inundações, objetiva proporcionar maior familiaridade com o problema abordado, tal como utilizando uma abordagem qualitativa, quanto às suas consequências. Classificando-se também como estudo de caso bibliográfico e documental, quanto os meios, objetivando um estudo profundo e detalhado sobre as possíveis causas e os métodos mais eficazes para a correção do problema.

1.4 Etapas e Estrutura da pesquisa

O presente trabalho está organizado da seguinte forma: no Capítulo 1 apresenta-se a introdução, onde se destaca a motivação do trabalho a partir da identificação do problema, segue-se o destaque quanto à relevância do trabalho em relação aos cidadãos do município de Volta Redonda; estratégias da pesquisa, hipótese, objetivo geral e objetivos específicos. No Capítulo 2, tem-se a Revisão Bibliográfica que traz a base teórica considerada mais adequada para a construção do trabalho.

O Capítulo 3 mostra a abordagem metodológica, com a caracterização do Ribeirão Brandão, identificação de problemas com transbordamentos do mesmo, desdobramentos no sentido de custos privados e sociais e proposição de técnicas de engenharia para a minimização de tais problemas. O Capítulo 4 apresenta o estudo do caso do Ribeirão Brandão evidenciando em diagnóstico causas e efeitos dos transbordamentos mencionados, além de se trazer uma discussão em termos de custos de benefícios relacionados à implantação ou não das soluções propostas no presente trabalho. A Conclusão do trabalho segue no Capítulo 5, Considerações Finais no Capítulo 6 e no Capítulo 7, tem-se as Referências Bibliográficas.

1.5 Objetivo geral

Tendo em vista que o sistema de drenagem da cidade de Volta Redonda se mostra ineficiente com o alto volume de precipitação nas estações chuvosas, este trabalho tem como objetivo analisar a dinâmica da microbacia do Ribeirão Brandão, para assim buscar no campo da Engenharia Civil tecnologias disponíveis no mercado que possam solucionar ou atenuar os danos provenientes da inundação do Ribeirão Brandão no bairro da Vila Santa Cecília.

1.6 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do presente trabalho são:

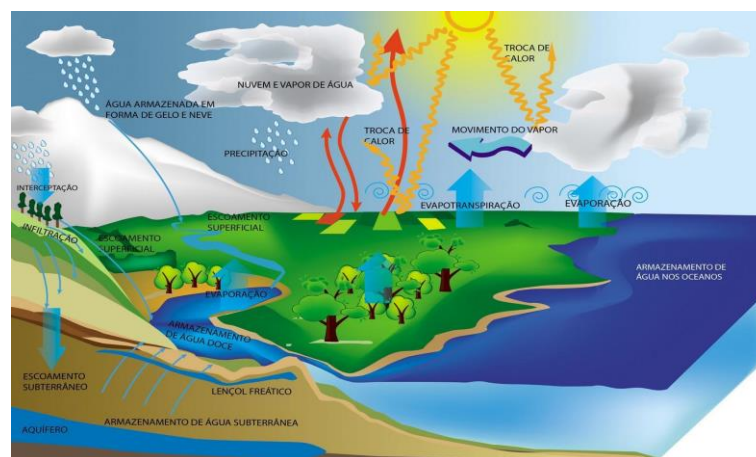
- Analisar como a drenagem urbana impacta nos recursos hídricos na cidade de Volta Redonda;
- Avaliar a média de precipitação na cidade de Volta Redonda nos últimos anos;
- Realizar um estudo sobre a microbacia do Ribeirão Brandão e identificar se a mesma naturalmente possui propensão a inundações;
- Analisar, dentro do campo da engenharia civil, as opções mais viáveis financeiramente, socialmente e ambientalmente para mitigar os danos causados.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Enchentes e transbordamentos

O ciclo da água, ou ciclo hidrológico, pode ser definido como “o arcabouço das relações entre as várias formas do comportamento das águas em um ciclo fechado” (BIGARELLA & SUGUIO, 1990), envolvendo “vários e complicados processos hidrológicos: evaporação, precipitação, interceptação, transpiração, infiltração, percolação, escoamento superficial” (LIMA, 2008). Quando a água chega à superfície, parte dela imediatamente infiltra no solo, tendo este processo o nome de escoamento subterrâneo, onde a água abastece o lençol freático e aquífero existente na região. Dessa forma, o ciclo não é apenas um processo sequencial, mas sim um conjunto de fases em que a água circula na natureza, estando em diferentes localidades: superfície, subsuperfície, atmosfera e biosfera e está em constante transição de estado físico e localidade. (LOPES, 2007). O ciclo hidrológico é representado na figura 1. Este é o processo que ocorre em condições naturais, porém ações antrópicas estão diretamente ligadas às alterações neste ciclo, tanto em áreas urbanas como rurais. Entretanto, devido à alta taxa de ocupação humana e as grandes alterações feitas no meio ambiente, a hidrologia de uma área urbana apresenta alguns pontos diferentes se comparado a hidrologia de uma área rural ou florestal (BOTELHO & SILVA, 2010).

Figura 1– Etapas do Ciclo Hidrológico.



Fonte: Engenharia Onde Já Civil, 2011.

Dessa forma, o processo de urbanização, escorado em ações antrópicas não planejadas, trouxe grandes problemas às águas urbanas. Segundo Tucci (2003, p.12):

“[...] o ciclo hidrológico natural é constituído por diferentes processos físicos, químicos e biológicos. Quando o homem entra dentro deste sistema e se concentra no espaço, produz grandes alterações que modificam drasticamente este ciclo e trazem consigo impactos significativos (muitas vezes de forma irreversível) no próprio homem e na natureza.”

Nesse sentido, diversos fatores podem ser citados como ações que alteram de forma significativa o ciclo hidrológico em áreas urbanas, como a impermeabilização do solo, canalização e retificação de canais fluviais, construção em áreas de várzeas e retirada da mata ciliar, deposição incorreta de resíduos e alterações na topografia do terreno. Estes fatores ocasionam e intensificam a insuficiência de drenagem da região, o assoreamento dos rios e ampliam a magnitude das inundações nas cidades (BOTELHO & SILVA, 2010).

A impermeabilização do solo, por exemplo, afeta diretamente o escoamento superficial diminuindo drasticamente a drenagem da água pelo solo que recarrega o lençol freático existente, pois aumenta demasiadamente o volume e a velocidade da água escoada superficialmente, a levando para os canais fluviais principais (que em áreas urbanas de modo geral são canalizados e retificados) e fazendo os picos de vazão serem atingidos em períodos de tempo muito menores com menores volumes de precipitação (NETO, 2010).

A canalização e retificação dos canais fluviais aumentam a velocidade e a vazão de escoamento dos canais visando um rápido escoamento do volume de água que atinge o canal fluvial. Em contrapartida, faz com que os canais percam suas características naturais de drenagem, modificando suas seções transversais e perfil longitudinal (BOTELHO & SILVA, 2010). Além de aumentar os problemas hidrológicos, tais obras possuem custos elevados e apenas transferem o problema das inundações para jusante. (TUCCI, 2005).

A mata ciliar são as matas que se compreendem nas proximidades dos cursos d'água e são de extrema importância por representarem uma proteção natural do curso d'água. Essas matas atuam de diversas formas na preservação do curso, onde suas raízes seguram o solo nas laterais dos rios, evitando erosão fluvial. Também

atuam como um filtro natural para os rios, evitando ou diminuindo a presença de sedimentos trazidos pela chuva.

A área de várzea, ou planície de inundação, é toda a região às margens do curso d'água que funciona como um mecanismo natural de distribuição espacial que comporta o rio durante os períodos de cheia. Pois, como o nome diz, trata-se de um local de inundação natural do curso d'água, logo, construções nessas áreas estão propícias a sofrer com inundações.

A construção em áreas de várzea e a retirada da mata ciliar é impulsionada pela canalização e retificação dos rios, diminuindo assim, toda a capacidade de infiltração subterrânea ou retenção de água nesses locais, de forma que, toda a água precipitada na região seja diretamente direcionada ao canal fluvial, diminuindo drasticamente o tempo para que se atinja o pico de vazão, e assim, intensificando os efeitos das inundações (BOTELHO & SILVA, 2010). O funcionamento da área de várzea está representado na figura 2.

Figura 2– Conseqüências da retificação dos rios e construção nas planícies de inundação.



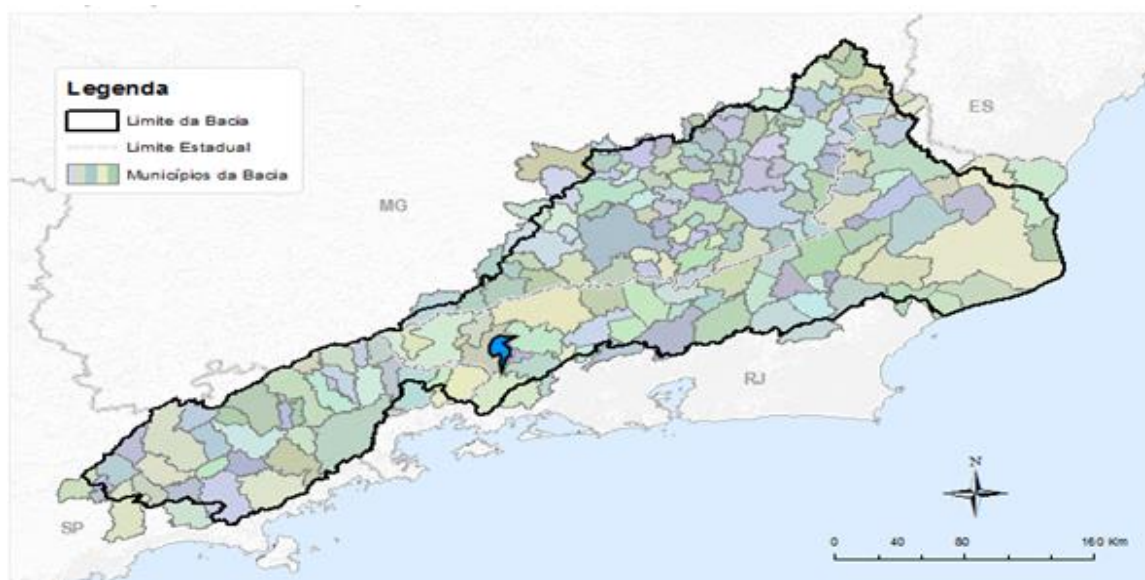
Fonte: Blog Água Sua Linda, 2019.

Todas estas ações acabam intensificando o efeito das inundações, que em verdade são fenômenos naturais, mas que, por razões antrópicas, vem se tornando mais comum ao dia a dia da população.

2.2 O município de Volta Redonda no contexto da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

Na região do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, representada na figura 3, encontra-se uma forte centralização urbana e industrial por toda extensão deste, constituindo o principal manancial hídrico na região do Médio Vale do Paraíba acarretando na centralização do foco das políticas públicas e dos meios de informações para a gestão de atividades poluidoras em especial no próprio rio Paraíba do Sul, e este sendo dado ainda pouca atenção. As transformações sofridas pelo sistema de drenagem durante os últimos milhares de anos são obtidas por registros de episódios tanto de alagamentos, inundações e erosões de grandes magnitudes, sendo elas destacadas nas bacias hidrográficas tributárias, especialmente àquelas de menores dimensões. Os riscos cada vez mais agravantes são aqueles formados pela ação do homem.

Figura 3– Bacia do Rio Paraíba do Sul com destaque para a cidade de Volta Redonda.



Fonte: Siga CEIVAP, 2013.

Em Volta Redonda esta apresenta-se especialmente importante pelo crescimento da demanda por abastecimento. Hoje, quase que unicamente dependente do rio Paraíba do Sul e da poluição do manancial utilizado. Outro fator é a configuração da cidade como uma cidade-empresa sendo vinculada à da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), distendendo-se de modo relevante e tendo um intervalo de tempo relativamente curto – 60 anos – uma das características que banalizaram a escolha de estudo para a área do município.

O município de Volta Redonda está localizado na Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul como mostra a figura 3, sendo um lugar importante no eixo econômico entre as cidades do Rio de Janeiro e São Paulo. A cidade se encontra há 384 metros acima do nível do mar, sendo o clima quente a temperado. A rede hidrográfica da cidade dispõe de um dos mais importantes rios, o rio Paraíba do Sul, cortando o município de Volta Redonda no sentido oeste-leste por cerca de 18,3 km, o que se tornou motivador de seu nome, devido a um acidente geográfico. Ela possui uma pluviosidade maior no verão que no inverno tendo uma média anual de 1366 mm, possui uma temperatura média de 21.0 °C conforme o site clima- data.org, e a classificação do clima é Cwa de acordo com a Köppen e Geiger. A localização do município de Volta Redonda está representada na figura 4.

Figura 4 - Localização do município de Volta Redonda

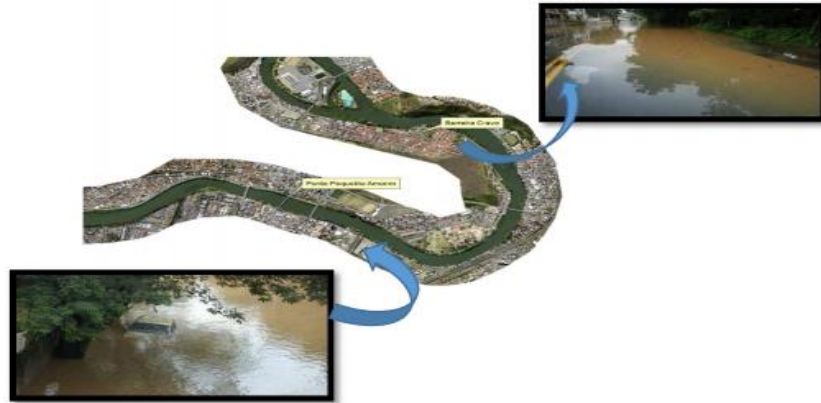


Fonte: AMARAL. P. B. A, et al - XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017.

Assim como as demais cidades do Vale do Paraíba, a cidade de Volta Redonda, enfrenta muitos problemas provocados por inundações por parte do Rio Paraíba do Sul, bem como dos afluentes: Córrego do Peixe, Córrego Santa Rita Belo

Monte, e o Ribeirão do Inferno, pela margem esquerda, e o Ribeirão Brandão na figura 5 pela margem direita sendo que será estudado.

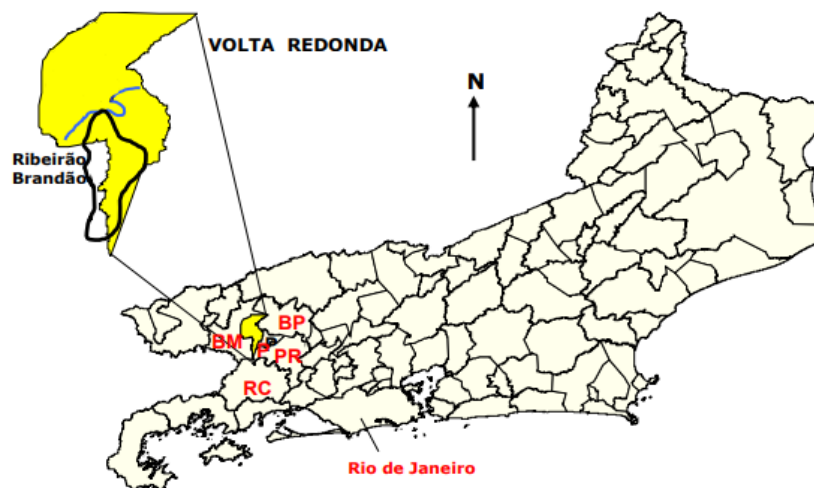
Figura 5 – Inundações ocorridas no município em dezembro de 2010.



Fonte: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017.

Alguns aspectos colaboram para o aumento das inundações, como a ocupação desenfreada nos canais dos rios e o estreitamento de suas seções de escoamento. Além disso, a alta carga de resíduos na bacia, produzindo assoreamentos, agravam notavelmente as condições de escoamento. A microbacia em que o Ribeirão Brandão se situa está representada na figura 6.

Figura 6 – Localização do Município de Volta Redonda no Estado do Rio de Janeiro, e municípios limítrofes: BM - Barra Mansa, BP – Barra do Piraí, PR – Piraí, P – Pinheiral, RC – Rio Claro. Em destaque a localização da microbacia do Ribeirão Brandão.



Fonte: adaptado de MELLO, 2006.

2.3 Diagnóstico geral da Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul RH III

Este item apresenta a Região Hidrográfica do Médio Paraíba tal como a sua localização e a situação atual, sendo descritos também os principais aspectos do meio físico, socioeconômico e biótico. Apresenta também as existentes infraestruturas hídricas que são características da situação do saneamento básico, drenagem urbana, resíduos sólidos e abordando também as informações relativas aos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

2.3.1 Caracterização da Área de Estudo

A Região do Médio Paraíba do Sul está situada no sul do Estado do Rio de Janeiro ao longo da Região do Vale do Paraíba e foi definida pela resolução Nº107/2013 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (CERHI,2013) que também define as demais regiões hidrográficas do estado. A Região possui em sua hidrografia, além do próprio rio Paraíba do Sul, outros rios de domínio federal sendo o Bananal e o Preto, e de domínio estadual como o Pirapitinga, Turvo, Ubá e das Flores. O RH – III ocupa uma área total de 6.429 km², equivalente a 10,48% na Bacia Paraíba do Sul.

Os municípios que fazem parte da RH – III são Resende, Quatis, Itatiaia, Barra Mansa, Volta Redonda, Valença, Rio das flores, Pinheiral e Comendador Levy Gasparian inseridos integralmente na Região Hidrográfica e tendo outros parcialmente como os municípios de Barra do Piraí, Miguel Pereira, Rio Claro, Vassouras, Paty do Alferes, Três Rios, Mendes e Paraíba do Sul.

Informações referente ao município de Volta Redonda pertencente à Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul estão descritas no quadro 1.

Quadro 1 - Informações referente ao município de Volta Redonda pertencente à Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul.

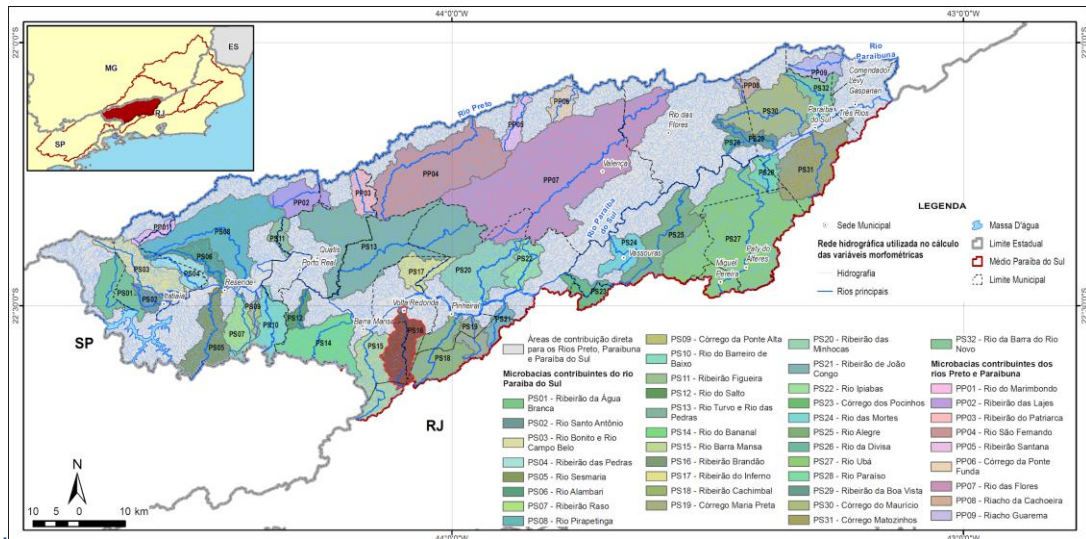
Município	Área total km ²	% total dentro da bacia	% total fora da bacia	Sede da bacia
Volta Redonda	182,48	100,00	0,0	sim

Fonte: Autores, 2021.

2.4 Informações referente ao Ribeirão Brandão

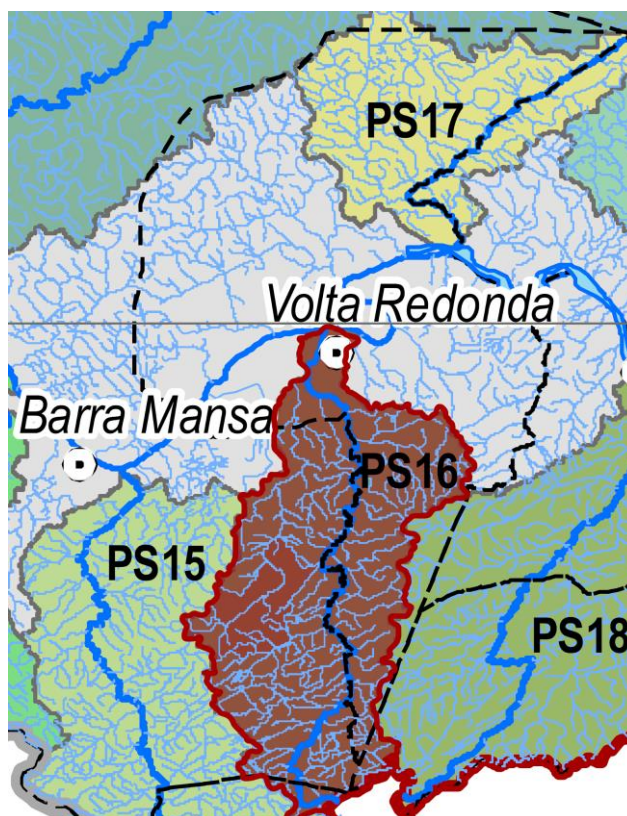
A microbacia do Ribeirão Brandão é uma das microbacias que compõem a Bacia do Média Paraíba do Sul, e que comporta o corpo hídrico deste estudo. O local de estudo em si se localiza no bairro da Vila Santa Cecília, situado na Zona Central da cidade de Volta Redonda com aproximadamente 4.069 habitantes e uma área de 5.715.500 m², resultando em uma densidade de 712 habitantes/km² (IPPU, 2014). A Carta Hidrográfica representada nas figuras 7 e 8 apresenta a localização da Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul, os municípios interceptados e seus principais rios afluentes.

Figura 7 – Carta Hidrográfica do Médio Paraíba, com destaque para a bacia do Ribeirão Brandão.



Fonte: Adaptado do Comitê de Bacias Médio Paraíba do Sul, 2020.

Figura 8 – Microbacia do Ribeirão Brandão com destaque para a cidade de Volta Redonda.



Fonte: Adaptado do Comitê de Bacias Médio Paraíba do Sul, 2020.

A densidade de drenagem pode ser classificada da seguinte forma:

- Bacias com drenagem pobre → $Dd < 0,5 \text{ km/km}^2$
- Bacias com drenagem regular → $0,5 \leq Dd < 1,5 \text{ km/km}^2$
- Bacias com drenagem boa → $1,5 \leq Dd < 2,5 \text{ km/km}^2$
- Bacias com drenagem muito boa → $2,5 \leq Dd < 3,5 \text{ km/km}^2$
- Bacias excepcionalmente bem drenadas → $Dd \geq 3,5 \text{ km/km}^2$

Conforme Horton (1945, apud Moura, 2013) a capacidade de infiltrar água é menor, quanto maior for a densidade de drenagem. Entretanto, quando se tem valores baixos de densidade de drenagem quer dizer que a região é mais propensa à infiltração contribuindo assim com o lençol freático.

No Quadro 2 são descritas as características geométricas básicas da microbacia do Ribeirão Brandão. Observa-se que ela apresenta uma classificação de densidade de drenagem muito boa e tendo uma densidade de drenagem de 3,10 km/km.

Quadro 2 - Características geométricas básicas da microbacia do Ribeirão Brandão.

Microbacia	Rio Principal	Área da Bacia km ² (A)	Perímetro km (P)	Extensão do rio principal km (L)	Densidade da drenagem (km / km) (Dd)	Classificação da densidade de drenagem
Ribeirão brandão	Ribeirão Brandão Córrego da Floresta	80,19	81,89	28,10	3,18	Muito boa

Fonte: Autores, 2021.

Conforme Villela e Mattos (1975), é importante ter a análise da forma de uma bacia hidrográfica por causa do tempo de concentração da mesma, ou seja, o tempo que a água leva para chegar dos limites da bacia até o exultório. De toda forma as bacias que possuem um formato mais alongado o tempo necessário é maior para que ela todo contribua em um determinado interesse, do que as com formato circular.

O Coeficiente de Compacidade (Kc) é a relação entre o perímetro (P) da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia (equação 1), em que:

$$Kc = 0,28 \times P \sqrt{A} \quad (1)$$

Onde:

A = área da bacia, em km²;

P = perímetro medido, em km;

Independente do seu tamanho este coeficiente varia com a forma da bacia. Mais alto será o coeficiente de capacidade quanto mais irregular for a bacia. Com um

coeficiente mínimo igual a 1 seria uma bacia com formato circular, com isso, inexistindo outros fatores, a bacia será mais propensa a enchentes quando o K_c for mais próximo de 1.

Lima (2013) resume a susceptibilidade à ocorrência de enchentes pelo fator de forma da seguinte maneira:

- $1,00 \leq K_c < 1,25 \rightarrow$ Bacia com alta propensão a grandes enchentes;
- $1,25 \leq K_c < 1,50 \rightarrow$ Bacia com tendência mediana a grandes enchentes;
- $K_c > 1,50 \rightarrow$ Bacia não sujeita a grandes enchentes.

O Fator de forma (K_f) é determinado pela relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia (equação 2), em que:

$$K_f = A / L^2 \quad (2)$$

Onde:

A = área da bacia, em km^2

L = comprimento do rio principal, em km. Este fator também indica menor ou maior propensão para enchentes de uma bacia. É menos sujeita a enchentes uma bacia com um fator de forma baixo que outra de mesmo tamanho, entretanto com um fator de forma maior.

Isso mostra que há menos possibilidades de chuvas intensas quando se tem uma bacia longa e estreita com um menor fator de forma. Isso se deve ao fato de que numa bacia estreita e longa, com fator de forma baixo, atinge o curso d'água principal em vários pontos, ao contrário da bacia de forma circular que a concentração se dá em um ponto só de todo o (VILLELA e MATTOS, 1975).

De acordo com Lima (2013):

- $K_f \geq 0,75 \rightarrow$ Bacia sujeita a enchentes;
- $0,50 < K_f < 0,75 \rightarrow$ Bacia com tendência mediana a enchentes;
- $K_f \leq 0,50 \rightarrow$ Bacia não sujeita a enchentes.

O quadro 3 apresenta características quanto à forma da bacia da microbacia Ribeirão Brandão que forma a RHIII, o Valor de Kc encontrado foi de 1,93 sendo superior a 1,50, apresentando que a bacia não apresenta grandes enchentes considerando apenas o valor do coeficiente de capacidade. E o fator de forma da microbacia é 0,10 sendo este inferior a 0,50 que é utilizado na classificação de Lima (2013), que refere que as microbacias abaixo desse valor não são sujeitas a enchentes.

Quadro 3 - Coeficiente de capacidade (Kc) e Fator de forma (Kf) das microbacias da Região

Microbacia	Coeficiente de capacidade Kc	Fator de forma Kf
Ribeirão Brandão	1,93	0,10

Fonte: Autores, 2021.

O grau de sinuosidade é um fator controlador da velocidade de escoamento de um curso d'água. A relação entre o comprimento do rio principal (L) e a distância entre os pontos inicial e final do referido rio (Lt) corresponde a sinuosidade de um trecho.

A determinação deste índice é feita da seguinte forma: $S = \frac{L - L_t}{L} \times 100$

L Christofletti (1981) apresenta cinco classes de sinuosidade do curso d'água expresso pelo índice de sinuosidade, são elas:

- $Is < 20\%$ → canal muito reto;
- $20\% \leq Is \leq 30\%$ → canal reto;
- $30\% \leq Is \leq 40\%$ → canal divagante;
- $40\% \leq Is \leq 50\%$ → canal sinuoso;
- $Is \geq 50\%$ → canal muito sinuoso;

O Quadro 4 apresenta os índices de sinuosidades do rio Ribeirão. Como pode ser observado o rio é um canal divagante, isso quer dizer que é um canal que muda

sua posição constantemente ao longo da planície aluvionar, por causa de um processo contínuo de erosão e deposição em suas margens.

Quadro 4 – Índice de Sinuosidade (Is) dos rios principais das microbacias da Região Hidrográfica Médio Paraíba do Sul.

Microbacia	Extensão do rio principal (km) (L)	Distância plana do talvegue (km) (L)	Índice de sinuosidade % (Is)	Classificação do índice de sinuosidade
Ribeirão Brandão	28,10	17,77	36,76	divagante

Fonte: Autores, 2021.

De acordo com Villela e Matos (1975), são importantes também a elevação média e variação de altitude por causa da influência que exercem sobre a precipitação, sobre as perdas de água por transpiração e evaporação e conseqüente sobre o dilúvio médio. Quando se tem elevadas variações da altitude em uma bacia, se apresentam diferenças significativas na temperatura média, causando variações na evapotranspiração. O quadro 5 apresenta os dados do relevo da Bacia do Ribeirão Brandão apresenta uma elevação de 487 metros.

Quadro 5 - Cotas máximas e mínimas, amplitude altimétrica máxima e elevação média das microbacias da Região Hidrográfica Médio Paraíba do Sul.

Microbacia	Cota mínima (m)	Cota máxima (m)	Amplitude (m)	Elevação (m)
Ribeirão Brandão	376	738	362	487

Fonte: Autores, 2021.

O que controla em partes a velocidade do escoamento superficial é a declividade do terreno, afetando assim o tempo com que a água da chuva leva para concentrar – se nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagem das bacias. A

erosão dos solos, os picos de enchentes ou maior ou menor grau de infiltração, depende do escoamento sobre os terrenos da bacia (VILLELA e MATOS, 1975).

O Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2007) classifica as declividades nas seguintes classes de relevo:

- < 3 % → Plano: superfície de topografia lisa ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos;
- 3 a 8% → Suave Ondulado: superfície de topografia ligeiramente movimentada, constituída por conjunto de pequenas colinas ou outeiros, ou sucessão de pequenos vales pouco encaixados (rasos);
- 8 a 20% → Ondulado: superfície de topografia relativamente movimentada, constituída por conjunto de medianas colinas e outeiros, ou por interflúvios de pendentes curtas, formadas por vales encaixados;
- 20 a 45% → Forte Ondulado: superfície de topografia movimentada, com desníveis fortes, formadas por conjunto de outeiros ou morros, ou por superfície entrecortada por vales profundos;
- 45 a 75% → Montanhoso: superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes ou muito fortes;
- > 75% → Escarpado: áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes, tais como: aparados, itaimbe, frentes de costas, falésias e vertentes de declives muito fortes.

São apresentadas no quadro 6 as declividades máximas, mínimas e médias por microbacia. Os valores mínimos equivalentes a zero representam a existência de locais planos em todas as microbacias. As declividades máximas variam entre 74,19%. Quando analisados os valores de declividade média na microbacia, observa-se que (Ribeirão Brandão) apresenta valores médios inferiores a 20%, sendo classificados como ondulados.

Quadro 6 – Declividade mínima, média e máxima das microbacias da Região Hidrográfica Médio Paraíba do Sul.

Microbacia	Declividade mínima (%)	Declividade máxima (%)	Declividade média (%)	Classificação da declividade média
Ribeirão Brandão	0,00	89,32	18,31	Ondulado

Fonte: Autores, 2021.

Depois de escoar superficialmente e subterraneamente pelos terrenos da bacia e depois sendo conduzida em direção à desembocadura, a água da precipitação concentra – se nos leitos fluviais. Quanto maior a declividade, maior será a velocidade de escoamento e bem mais estreitos serão os hidrogramas de enchentes devido a velocidade de escoamento de um rio depender da declividade dos canais fluviais.

Obtém-se a declividade (equação 3) de um curso d'água, entre dois pontos, dividindo-se a diferença total de elevação do leito pela extensão horizontal do curso d'água entre esses dois pontos (VILLELA e MATOS, 1975):

$$S = \frac{\Delta H}{L} \quad (3)$$

Onde:

H: Diferença entre a cota de montante e a cota de jusante do curso (m);

L: Comprimento do rio principal (L) (km).

Destaca-se que as cotas de montante e jusante se referem às altitudes observadas no ponto mais elevado e no ponto mais deprimido do curso de água principal, respectivamente. Por outro lado, as cotas máxima e mínima apresentadas previamente correspondem ao ponto mais alto e ao ponto mais baixo existentes em toda a superfície da microbacia, respectivamente. No quadro 7 apresenta o Rio Ribeirão Brandão com uma declividade do curso d'água de 10,75 m/km segundo.

Quadro 7 – Rio Ribeirão Brandão com uma declividade do curso d'água de 10,75 m/km segundo.

Microbacia	Cota montante (m)	Cota de jusante (m)	Extensão do rio principal (km) (L)	Declividade do curso d'água (m/km) (s)
Ribeirão Brandão	679	377	28,1	10,75

Fonte: Autores, 2021.

2.5 Drenagem urbana

Os rios, ribeirões, córregos e várzeas são elementos naturalmente formados que compõem uma rede que são as Bacias Hidrográficas. Com a aceleração urbana, a intensidade do uso das bacias tende a aumentar, fazendo-se necessário a introdução de elementos superficiais. As sarjetas, bocas de lobo, galerias, sistemas de retenção e infiltração e outros elementos, são as chamadas micro drenagem. Este sistema caracteriza-se pelo conjunto de todos esses elementos, formando redes pluviais adaptadas às vias e ruas públicas. Entretanto, há um alto risco de falha nesse sistema, o que corresponde em termos hidrológicos, um período de 2 a 10 anos de retorno, em relação aos eventos de precipitação.

Também a níveis estruturais, temos as Macrodrenagens, que são sistemas constituídos, por estruturas maiores, e com o objetivo de captar e conduzir águas pluviais da rede de microdrenagem. Geralmente esse tipo de sistema é projetado para episódios raros de precipitações e transfere problemas de um sistema para outro, contendo um menor risco de falha. As canalizações, túneis, elevatórias, reservatórios de retenção e retenção, barragens e outros dispositivos substituíram córregos, riachos e rios como função de malha hídrica original (MARTINS, 2012).

De acordo com o Manual de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Curitiba (2002) são vários os meios de controle de inundações, desde medidas estruturais, que modificam o sistema fluvial através de diques, barragens,

canalizações e reflorestamentos até as não estruturais, em que os transtornos são reduzidos por ações de convivência com as inundações como legislações, previsões de cheias e educação ambiental.

As medidas estruturais dizem respeito às obras que têm como objetivo a correção/prevenção dos problemas recorrentes e, ainda podem ser classificadas em extensivas ou intensivas. As intensivas agem diretamente nos cursos d'água e superfícies que, por sua vez, são subdivididas em quatro tipos: aceleração de escoamento, que pode ser através de canalizações e obras correspondentes; retardamento de fluxo, que pode ser por meio de reservatórios de retenção; desvios de escoamento como túneis e canais de desvio e introdução de ações individuais tendo como objetivo, tornar as edificações à prova de enchentes. As medidas extensivas, ligadas na relação precipitação e vazão, compreendem a recomposição de cobertura vegetal e a gestão de erosão do solo (CANHOLI, 2015).

Algumas medidas de controle estruturais são bastante comuns e convencionais no sistema de drenagens como a infiltração e percolação, o armazenamento, os diques e estações de bombeamento e aumento da eficiência.

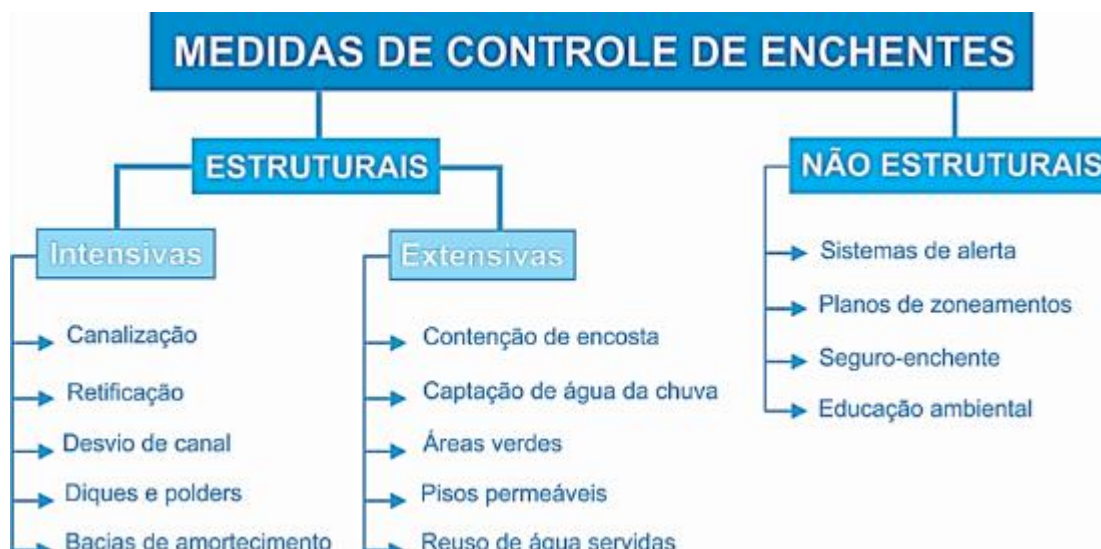
- Infiltração e percolação: Visam melhorar a permeabilidade do solo, armazenando o fluxo de água escoada. A uma tecnologia bem eficaz para a medida em questão são os pavimentos permeáveis, melhor explicada posteriormente.
- Armazenamento: Objetivam a retenção do escoamento, reduzindo o pico das cheias. Este tipo de estrutura varia de pequenas estruturas residenciais até porte de macrodrenagem urbana, como os chamados piscinões.
- Aumento de eficiência do escoamento: Consiste na utilização de condutos e canais para drenar áreas inundadas que, juntamente com o reservatório de detenção, são bastantes positivos.
- Diques e estações de bombeamento: Medida controle em áreas urbanas onde não possui espaço para amortecimento de cheias (Manual de Drenagem Urbana, 2002).

Já as medidas não estruturais, controlam a ocupação territorial como o consumo da população e as atividades econômicas do local. Estas medidas podem

ser agrupadas em regulamentação do uso e ocupação do solo, educação ambiental; seguro-enchente e sistemas de alertas para a população, o que as previne das situações inesperadas. Este método, em contraponto, visa reduzir os impactos das cheias, sem exterminá-la, aplicando princípios que possam reverter os riscos causados por ações antrópicas (CANHOLI, 2005). Destaca-se alguns métodos utilizados como não estruturais:

- Gestão de uso e ocupação do solo: Procura prevenir os fatores que ampliam deflúvios, representada na impermeabilização de canais e da ocupação de áreas ribeirinhas, fatores que prejudicam a capacidade natural de armazenamento e escoamento (FILHO; MARTINS e PORTO, 2012).
- Previsão e alerta: Impede o elemento surpresa, que sem um aviso prévio das cheias eminentes, provocam vítimas e grandes prejuízos na infraestrutura do local. Este facilita ações preventivas com a retirada de pessoas e bens, bem como desvios de tráfego (CANHOLI, 2015).
- Educação Ambiental: Conscientização da população, buscando conciliar o espaço com o meio ambiente. A população deve ser instruída que rios e córregos devem ser deixados de serem vistos como depósito de lixo e dejetos, devendo ser valorizados e conservados (Manual de Drenagem Urbana, 2002).
- Coleta de lixo: Os resíduos da construção civil juntamente com lixo domiciliar que são transportados pelas chuvas, assoreiam o córrego prejudicando sua capacidade. A disposição final desses rejeitos acarreta graves problemas a população, entupindo os sistemas de drenagem e transbordando com as precipitações (FILHO; MARTINS e PORTO, 2012). As principais medidas estruturais e não estruturais estão listadas na figura 9.

Figura 9 – Medidas estruturais e não estruturais.



Fonte: Benini, Dias & Pinheiro, 2018.

2.6. Técnicas e tecnologias para minimização de enchentes e transbordamentos

2.6.1. Pavimento permeável

Através desse tipo de pavimento é possível aumentar a permeabilidade do solo, pois em sua composição contém elementos porosos e permeáveis, o que faz com que esse dispositivo cause um efeito totalmente positivo no sistema de drenagem (VIRGILLIS, 2009). As águas que escoam superficialmente pela estrutura de superfície porosa ou perfurada funcionam com um reservatório de material granular, sendo absorvida pelo solo, o que faz com que até 100% da água possa ser infiltrada em sua estrutura, conduzida para o solo ou para o campo de drenagem (SALES, 2008 apud LEHUGEUR & AMARAL, 2012). A estruturação e o funcionamento do pavimento permeável são representados na figura 10.

A utilização de pavimento permeável é relativamente recente, no final da década de 70 viu-se a necessidade de mecanismos para mitigar os danos causados pelos problemas hidrológicos causados pelos pavimentos tradicionais, e então se

iniciaram estudos experimentais, até que a partir do início dos anos 80 iniciou-se a sua utilização operacional (VIRGILLIS, 2009).

De acordo com Tomaz (2009), o pavimento poroso não leva agregados finos em sua composição, ou seja, partículas menores que 600 μ m (peneira número 30) e possui vazios de até 40%. Os processos construtivos do pavimento poroso não diferem muito em relação ao pavimento convencional, ele pode ser utilizado a partir do leito ou ser executado acima de algum pavimento pré existente. Porém, antes da aplicação é necessário se atentar a regularização da superfície, que não pode apresentar depressões maiores que 1 cm de profundidade (VIRGILLIS, 2009).

Segundo Acioli (2005) antes da aplicação do pavimento poroso é necessário uma série de estudos, como:

- Características do local de implantação: áreas a serem drenadas, existência de vegetação, topografia, existência de redes de água e esgoto, o tráfego ao qual será submetido, dentre outros.
- Características do solo subjacente: Taxa de infiltração, capacidade de carga e comportamento.
- Estudos hidro geológicos: Este estudo irá identificar as características do lençol freático, como flutuações sazonais, cota do lençol, vulnerabilidade e propriedades qualitativas.
- Estudos hidrológicos: irá identificar a vazão máxima permitida, características pluviométricas, localização do exultório, possíveis áreas de armazenamento d'água e coeficiente de escoamento.

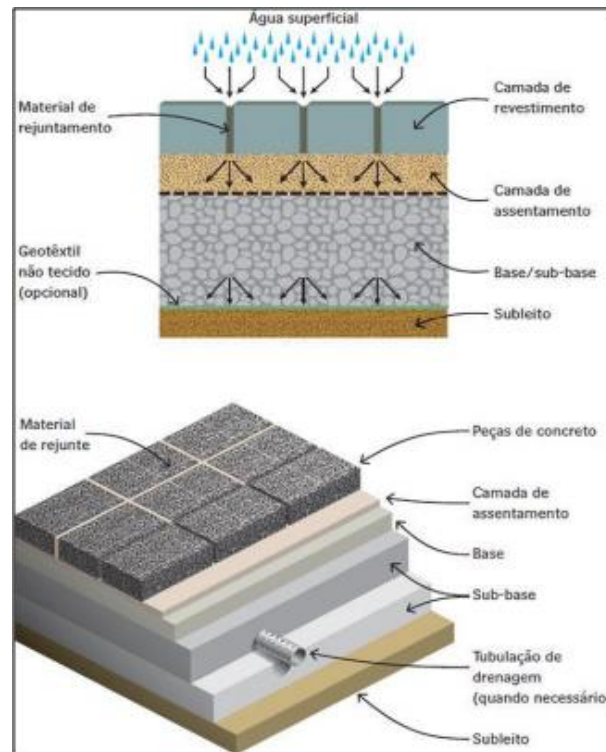
Virgillis (2009) ressalta que poucos pavimentos possuem todos os componentes listados, cada pavimento tem uma combinação específica que atende às necessidades específicas, conforme definido no quadro 8.

Quadro 8 – Componentes geralmente utilizados em pavimentos porosos.

Terminologia	Definição
Camada de Base	Camada colocada abaixo da superfície de revestimento para aumentar a espessura do pavimento. Pode ser simplesmente chamada de Base.
Camada	Espaço ocupado entre dois tipos de materiais na estrutura do pavimento.
Camada Filtrante	Qualquer camada entre outras ou entre o pavimento e o subleito que detenha a migração de partículas para os vazios da camada subjacente.
Geomembrana	Tecido impermeável geralmente plástico ou Polietileno de Alta Densidade (PEAD) utilizado em sistemas impermeabilizantes.
Geotêxtil	Manta não-tecida de filamentos de polipropileno que possibilita a livre passagem das águas de infiltração para o meio drenante.
Pavimento	Qualquer tratamento ou cobertura na superfície que suporte qualquer tipo de tráfego.
Sobrecamada	Camada aplicada sobre qualquer tipo de pavimento preexistente.
Estrutura do Pavimento	Combinação de camadas de materiais colocadas sobre o subleito que possibilitam o suporte mecânico do pavimento.
Reservatório	Qualquer parte do pavimento com capacidade de estocagem e condutividade de água. O reservatório pode ser sobreposto ou combinado com outras camadas do pavimento. Também chamado de Reservatório de Base, Camada Drenante ou Colchão Drenante.
Sub-base	Camada colocada abaixo da Base a fim de aumentar a espessura do pavimento.
Subleito	Solo natural ou reforçado abaixo da estrutura do pavimento, responsável pela absorção em última instância dos carregamentos.
Revestimento	Camada do pavimento que recebe diretamente a carga do tráfego.

Fonte: Virgillis, 2009

Figura 10 – Pavimento Permeável.



Fonte: Martins, 2012.

2.6.2. Bueiros inteligentes

Uma tecnologia simples, capaz de filtrar a sujeira e os dejetos para que não caia na rede pluvial. Esses filtros chamados de bueiros inteligentes já vêm sendo adotados em alguns municípios e podem ajudar a minimizar os alagamentos. De acordo com a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, o sistema é composto por um software e um filtro. O filtro é instalado nos bueiros e age como uma peneira, retendo lixos e dejetos com capacidade de 300 litros, como mostrado na figura 11. Quando se atinge a capacidade de 80% o dispositivo avisa a central, para fazer a manutenção, evitando o entupimento dos bueiros (Portal G1, 2020).

Figura 11 – Bueiros inteligentes.



Fonte: Portal G1, 2020.

2.6.3. Obras de reaproveitamento de águas pluviais em residências e áreas institucionais

A captação de água e seu reuso, não só poupa água como também recursos para seu tratamento e abastecimento, já que nem sempre são necessárias água de boa qualidade para lavagens externas, descargas e irrigação. O sistema de captação evita as inundações já que, parte dela está sendo reutilizada, retendo parte da água que deveria ser drenada para os córregos e rios e diminuindo as cargas poluentes. Este processo consiste em captar, armazenar e reutilizar as águas pluviais para o consumo não potável.

Este tipo de tecnologia já é bastante utilizado em diversos países com o objetivo de economizar os recursos hídricos bem como minimizar problemas de inundações onde o sistema de drenagem local é ineficaz. Na figura 12, está representado um esquema de captação de águas pluviais (LEMOS, 2017).

Figura 13 – Reservatório para retenção de água.



Fonte: Nakamura, 2015.

2.6.5. Áreas vegetais

A construção e ampliação de áreas verdes nas cidades têm se mostrado de grande ajuda para o combate das inundações, visto que tais áreas têm grande poder de absorção da água precipitada, diminuindo assim o escoamento superficial da água e também evitando a sobrecarga do canal fluvial existente e conseqüentemente diminuindo as inundações. Além de contribuírem para a valorização do ambiente e no combate a poluição do ar (BARGOS E MATIAS, 2010). Têm-se um exemplo de área verde para centros urbanos na figura 14.

Figura 14 – Áreas Verdes.



Fonte: Impacto UNESP, 2017.

2.7. Legislação aplicável

O agravamento da qualidade dos recursos hídricos advém das intervenções humanas, sendo elas a urbanização desordenada, por meio do desenvolvimento industrial, entre outros problemas, propiciando assim uma escassez hídrica para o consumo (ZILBERMAN, 2004).

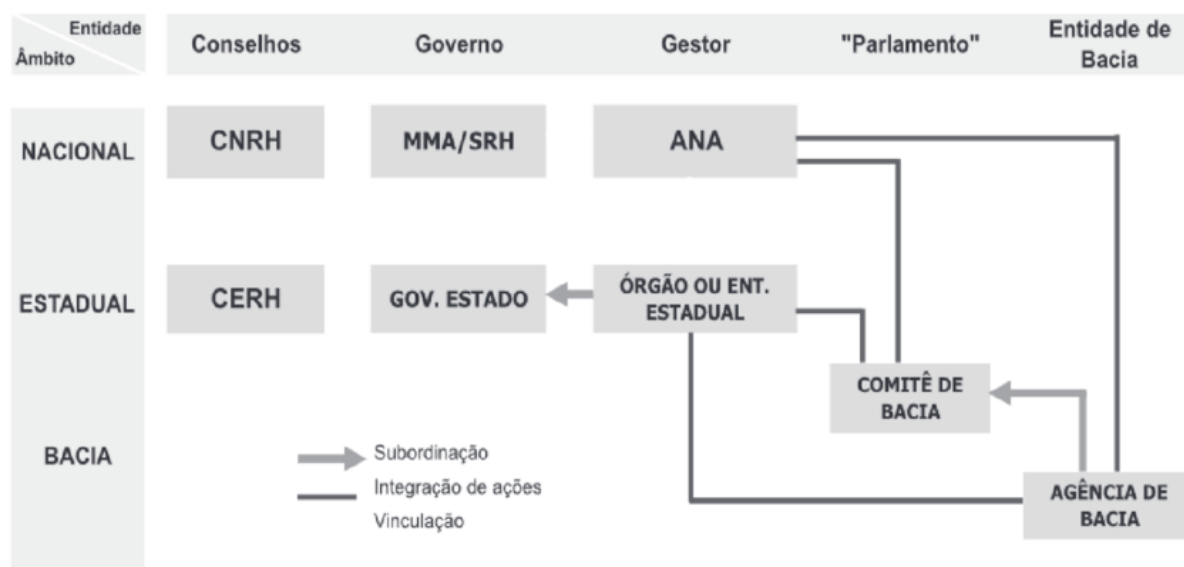
O uso dos recursos hídricos permaneceu durante 60 anos sob a tutela do Código de Águas de 10 de julho de 1934, sendo o mesmo, o primeiro decreto que garante o uso dos recursos hídricos, tendo como finalidade monitorar o aproveitamento industrial. Contudo, no final da década de 80, uma série de instrumentos de gestão das águas passaram a ser elaboradas no Brasil, tanto em níveis federais, como também em estaduais e municipais (ADAM, 2008).

Em 8 de janeiro de 1997, foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos, sendo promulgada pela Lei Federal nº 9.433, que tem por finalidade coordenar a gestão integrada das águas. Segundo o Art. 33 da referida lei, integram o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos:

- I. O Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH;
- II. A Agência Nacional de Águas – ANA;
- III. Os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal – CNRH;
- 21 IV. Os Comitês de Bacia Hidrográfica – CBH;
- IV. Os órgãos dos poderes públicos federal, estaduais, do Distrito Federal e municipais cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos;
- V. As Agências de Água.

Com a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos na constituição, tem-se agora a bacia hidrográfica como uma extensão para a aplicação da nova lei e para aplicação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Tendo uma administração desmonopolizada do governo, havendo participações externas, assegurando assim o uso múltiplo dos recursos hídricos. A figura 15 tem como objetivo ilustrar a estrutura político-institucional referente aos corpos hídricos.

Figura 15 – Estrutura político-institucional



. Fonte: Researchgate, 2019

Ocorrendo de forma gradativa, o gerenciamento dos recursos hídricos, foi um divisor de águas no que diz respeito a preservação e conservação do meio ambiente, com cada vez mais leis, resoluções sendo sancionadas, para melhor administrar e regularizar os usos múltiplos das águas, e do solo urbano e prevenção de eventos hidrológicos críticos, como inundações.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) é a instância superior do sistema nacional de gerenciamento hídricos, instituído pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Cabe ao CNRH, redigir a política nacional de recursos hídricos nos termos da Lei Federal nº. 9.433/97; articular os planos de recursos hídricos no Brasil, sendo o mesmo um orientador no processo de decisões no campo da legislação de recursos hídricos. (CNRH, 2013)

A Agência Nacional de Águas (ANA) foi promulgada em 17 de julho de 2000, a Lei Federal nº 9.984, instituiu a criação da Agência Nacional de Águas. No Art. 4º da referida lei, a atuação da ANA obedecerá aos fundamentos, objetivos, diretrizes e instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos e será desenvolvida em articulação com órgãos e entidades públicas e privadas integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), como um novo arcabouço jurídico constitucional, elege a bacia hidrográfica como a unidade territorial para a

implantação da referida política e para a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH). Tendo uma gestão descentralizada, com participação do poder público, dos usuários e das comunidades, a gestão de recursos hídricos deverá proporcionar o uso múltiplo das águas.

Tendo agora a participação com a implementação dos CBHs, o país começa a assistir a uma maior participação da sociedade nesse debate, pois a água tem uma ampla capacidade de mobilizar pessoas, em função de arquétipos carregados de simbolismos. Assim, diversos fatores, tais como cultura, definições políticas, questões econômicas, condições sociais e tecnológicas, entre outros, influenciam e alteram o modo como as pessoas se relacionam com o meio, tornando a questão ambiental complexa e plural (NAVES, 2000).

Outra lei aplicável é a Política Nacional de Saneamento Básico sendo promulgada pela Lei Federal nº 11.445/2007, cujo objetivo é cimentar os instrumentos de planejamento e gestão ao saneamento, proporcionando assim a melhoria das condições ambientais e a qualidade de vida à população. De acordo com essa lei, a elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico é obrigação de todas as prefeituras, configurando assim em uma ferramenta estratégica para uma futura elaboração de projetos e execução de Planos de investimento tendo o foco em conseguir subsídios para empreendimentos definidos.

3. ESTUDO DE CASO

3.1 Classificação da pesquisa

A metodologia é a investigação científica que depende diretamente de processos técnicos e intelectuais para atingir seus objetivos, e está ligada diretamente aos métodos científicos, que nada mais são que os procedimentos que devem ser aplicados na investigação (PRODANOV & FREITAS, 2013). Porém, de acordo com ZANELLA (2013) a palavra metodologia muitas vezes é utilizada de maneira equivocada, dando a entender que metodologia é um conjunto de regras fixas de como se realizar uma pesquisa, levando a entender que todas as pesquisas são realizadas da mesma maneira, o que não se sustenta, pois, cada pesquisa é única e deve seguir um caminho específico de acordo com os objetivos do autor.

Dessa forma, a conceituação metodológica de um trabalho se mostra imprescindível não apenas na formalização teórica do mesmo, mas principalmente no norteamento e objetivação das ações práticas procedimentais da investigação científica para elaboração de um panorama analítico e assim desenvolver uma série de processos lógicos fundamentais de forma a elaborar e concretizar um diagnóstico clínico final estruturado de maneira eficiente que dê conta da necessidade posta pela problemática do estudo.

Para tanto deve-se cumprir o objetivo de estruturar um modelo de estudo com a finalidade de desmembrar e explicar o objeto estudado e desenvolver estratégias de pesquisa de forma a favorecer os problemas concebidos previamente. Dessa forma, iremos trabalhar a partir do estudo integrado do Ribeirão Brandão e seu entorno inserido dentro do bairro da Vila Santa Cecília, em Volta Redonda, analisando o histórico e o atual cenário do corpo hídrico através do levantamento de dados históricos e o mapeamento geográfico da área de estudo para que então sejam propostas ferramentas eficientes da engenharia que estejam em consonância com a relação econômica de custo benefício.

A coleta de dados de referência e as informações relacionadas à preparação do estudo são realizadas de forma escalonada, seguindo um roteiro para a realização

de um estudo claramente definido. Este roteiro é classificado por meio do estudo de campo, identificando características relevantes do corpo hídrico e incluindo registros de enchentes e de inundação. Tal estudo é fundamental para organizar e elaborar as ideias de forma sistêmica e cumprir a função estruturante do projeto.

Outro aspecto importante da conceituação metodológica utilizada é a compilação e análise de reportagens dos canais de comunicação e mídia locais sobre a problemática. Portanto, a estratégia de planejamento preliminar deve contemplar o conhecimento espacial do local a ser estudado e dos agentes que afetam e alteram o meio, devendo também incluir os métodos e materiais a serem utilizados no trabalho.

Por meio da análise dos registros históricos disponíveis, serão avaliadas e compreendidas as causas do transbordamento do Ribeirão Brandão, com foco no avanço das áreas impermeáveis e nos fatores que ocasionaram tal situação. Para este tipo de análise, serão utilizados gráficos com variações anuais, mensais e diárias máximas. Também será utilizada a análise de dados geográficos e hídricos da área delimitada, a fim de mapear e coletar as informações necessárias ao desenvolvimento da pesquisa proposta, e especificar as soluções do diagnóstico aplicado à engenharia.

Um estudo de caso é definido como um trabalho detalhado que consiste em analisar e coletar informações sobre determinado local para que se possa identificar os mais variados aspectos de um objeto de estudo específico a fim de chegar a um entendimento mais completo e empírico do tema estudado (YIN, 2001) exemplificando, dessa forma, um fenômeno atual dentro de seu contexto para que se possa desempenhar um projeto mais atualizado possível, diferente de um estudo histórico (GIL, 2010). Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo buscar estratégias de engenharia que possam ser viáveis e eficazes para amortecer os danos econômicos e sociais causados pelo fenômeno das inundações do Ribeirão Brandão em Volta Redonda.

Para tanto, primeiramente foi necessário fazer um levantamento de dados geográficos e históricos da região em campo e em órgãos públicos, corroborando o que SANTOS & VERTORINI (2017) reiteram quando atentam sobre a garantia da confiabilidade no estudo. A partir disso seguiu-se em analisar a densidade populacional e o índice pluviométrico da cidade, averiguar a declividade do curso d'água em questão e examinar a taxa de impermeabilização, o tipo de solo e o uso do

solo urbano do entorno, levando em consideração qualquer outra questão que pudesse influenciar diretamente ou indiretamente na ocorrência das inundações, de forma que se pudesse compreender a problemática em sua totalidade.

3.2 Local de estudo

O principal objeto de estudo do presente trabalho, o Ribeirão Brandão, é um dos maiores corpos d'água de Volta Redonda e possui sua nascente no extremo sul da cidade, mais especificamente no distrito de Getulândia, que faz divisa com as cidades de Barra Mansa à oeste e Rio Claro ao sul. Com uma extensão de 28,10 km e uma área de contribuição de 80,2km², o ribeirão corta o Setor Sul da cidade, chegando ao Setor Centro-Sul pelo bairro Sessenta e por fim, chegando à Vila Santa Cecília, onde passa pela Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) e deságua no Rio Paraíba do Sul. O ribeirão tem como principais afluentes o Córrego da Floresta, no distrito de Getulândia, o Córrego Cafuá, no bairro Sessenta, e o Córrego Cachoeirinha, no próprio bairro da Vila Santa Cecília.

A partir de técnicas de vetorização e foteointerpretação sobre imagens de satélite em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), com a utilização do software ArcGIS 10.8 da Environmental Systems Research Institute – ESRI foi efetuado a delimitação de todo o percurso do Ribeirão Brandão desde sua nascente até a foz e também seus afluentes, no intuito de se obter um mapa na escala de apresentação de 1:100.000 (mapa 1), sendo que a vetorização ocorreu em uma escala de trabalho de 1:2.500 ou melhor, dependendo da área e da tipologia mapeada. Da mesma forma também foi criado um mapa a partir do recorte do bairro da Vila apresentado em escala 1:20.000 (mapa 2). A partir da análise do mapeamento, nota-se que em quase todo o trajeto, o curso d'água se encontra em estado natural, obedecendo a sinuosidade imposta pelo relevo do local, porém ao chegar ao bairro Sessenta, ocorre uma brusca retificação do canal.

Mapa 1 – Ribeirão Brandão e seus afluentes com destaque para o bairro de estudo.



Fonte: Autores, 2020.

Mapa 2 – Bairro Vila Santa Cecília, com destaque para o local de estudo.



Fonte: Autores, 2020.

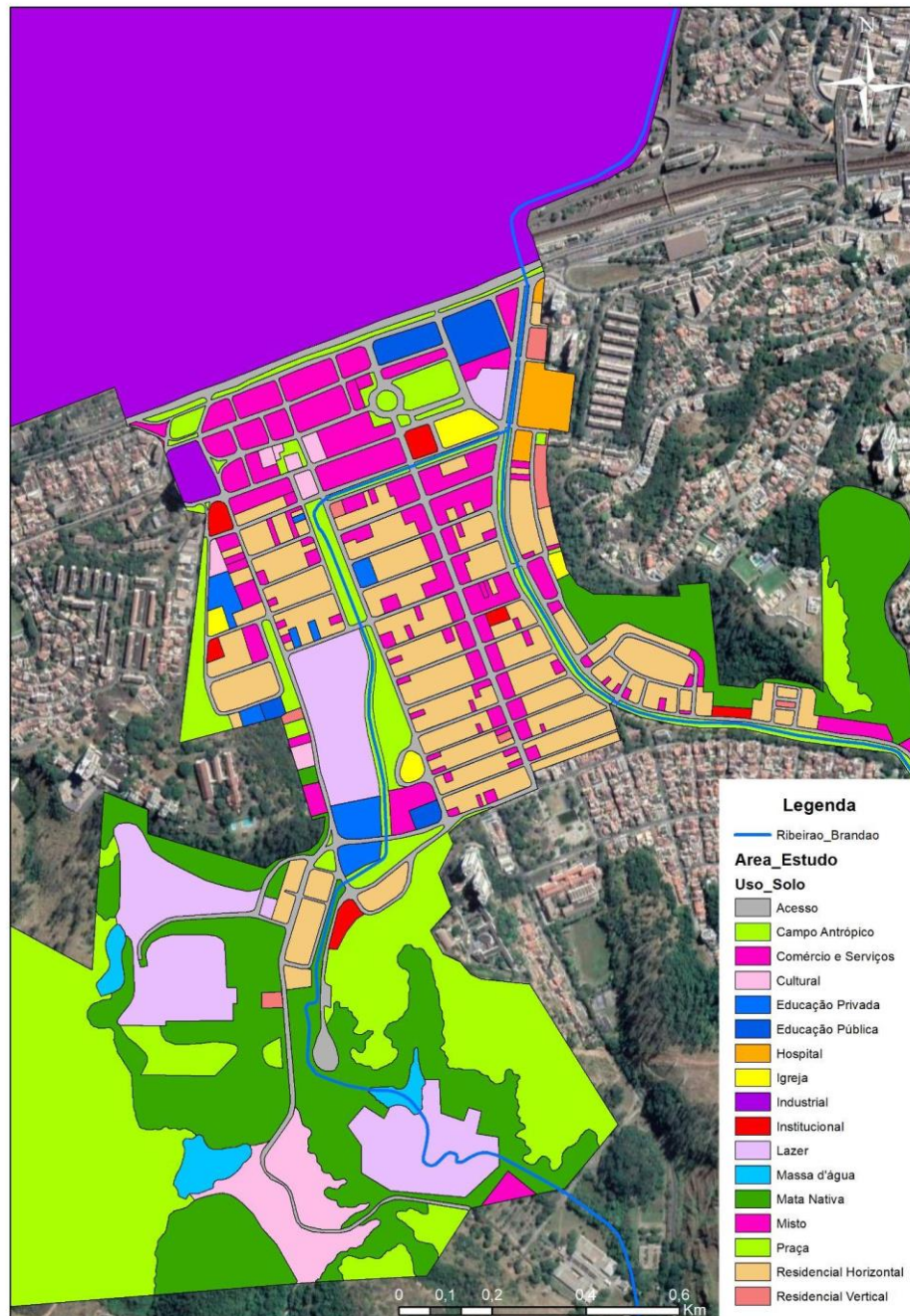
3.2.1 Uso do solo no bairro Vila Santa Cecília

O mapeamento e análise do uso e ocupação do solo na área de estudo (mapa 3) também foram efetuados por meio de técnicas de vetorização e fotointerpretação sobre imagens de satélite em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), com a utilização do software ArcGIS 10.8 da Environmental Systems Research Institute – ESRI, com o intuito de identificar as áreas mais impermeabilizadas do bairro, que poderiam ser potencializadoras das inundações. Para tanto, a área de estudo também foi mapeada utilizando as imagens de satélite disponibilizadas pelo Google Earth.

Dessa forma, o processo de classificação e vetorização das classes de uso e ocupação do solo foram realizadas no intuito de se obter um mapa na escala de apresentação de 1:15.000, sendo que a vetorização ocorreu em uma escala de trabalho de 1:2.500 ou melhor, dependendo da área e da tipologia mapeada.

Foram mapeadas dezesseis classes de uso e ocupação do solo, descritas no quadro 9, sendo quatorze classes referentes aos usos antrópicos e um referente às formações naturais (mata nativa), além da classe de massa d'água.





Mapa 3 – Uso do Solo do bairro Vila Santa Cecília.








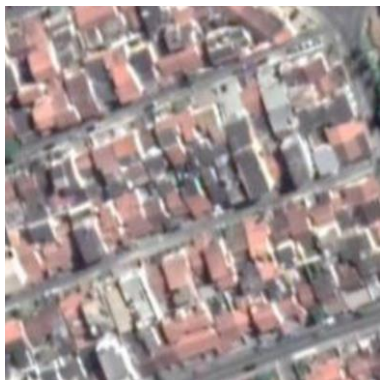

Fonte: Autores, 2020.

Quadro 9 - Classes de uso e ocupação do solo.

Classe	Descrição	Exemplo - Imagem de Satélite
Acesso	Vias de solo asfaltado pertencentes ao sistema viário oficial.	
Campo Antrópico	Áreas livres que sofreram interferência da ação humana, que predominantemente apresentam cobertura de gramíneas. As áreas de canteiros centrais e rotatórias do sistema viário estão computadas nessa categoria.	
Comércio e Serviços	Estabelecimentos que praticam algum tipo de comércio ou realização de serviços dos mais variados tipos, desde shoppings centers à clínicas médicas particulares.	
Cultural	Locais designados para a promoção de atividades culturais, como teatros, galerias de exposição de arte e bibliotecas.	

Educação	Instituições de ensino públicas ou privadas, sejam de educação básica, técnica ou superior.	
Igreja	Igrejas ou instituições religiosas.	
Industrial	Áreas ligadas direta ou indiretamente à atividade industrial de produção de aço da CSN.	
Institucional	Instituições filantrópicas e/ou comunitárias que exercem ou já exerceram algum tipo de auxílio ou acolhimento à população.	

Lazer	Clubes, zoológicos ou qualquer outro local destinado à atividade de lazer da população.	
Massa d'água	Espelho d'água de rios e lagoas.	
Mata Nativa	Paisagens naturais formadas principalmente por árvores nativas do bioma local.	
Misto	Edifícios que possuem ao mesmo tempo atividade de comércio e serviços, como também são condomínios residenciais.	

Praça	Áreas majoritariamente impermeabilizadas para circulação de pessoas, mas que também possuem alguns pontos de cobertura vegetal e paisagismo.	
Residencial Horizontal	Moradias que possuem predominantemente um único núcleo familiar.	
Residencial Vertical	Edifícios de condomínio residencial com múltiplos núcleos familiares.	

Fonte: Autores, 2021.

A partir dessa análise também foi calculada a área aproximada de cada classe de uso do solo assim como a sua relativa porcentagem em relação à área total do bairro com o intuito de visualizar proporcionalmente como se efetiva a ocupação do espaço no bairro e o quanto desta proporção viabiliza a infiltração de água no solo. A porcentagem de uso do solo está descrita no quadro 10.

Quadro 10 - Área e proporção das classes de uso do solo.

Classificação	m²	%
Acesso	218720,019	3,83
Campo Antrópico	581818,201	10,18
Comércio e Serviços	178232,656	3,12
Cultural	64485,099	1,13
Educação	48878,878	0,86
Igrejas	18110,34	0,32
Industrial	3643167,924	63,74
Institucional	14781,693	0,26
Lazer	176513,629	3,09
Massa d'água	27394,732	0,48
Mata nativa	432511,346	7,57
Misto	6720,03	0,12
Praça	30939,228	0,54
Residencial Horizontal	262320,186	4,59
Residencial Vertical	10906,039	0,19
Total	5.715.500	100

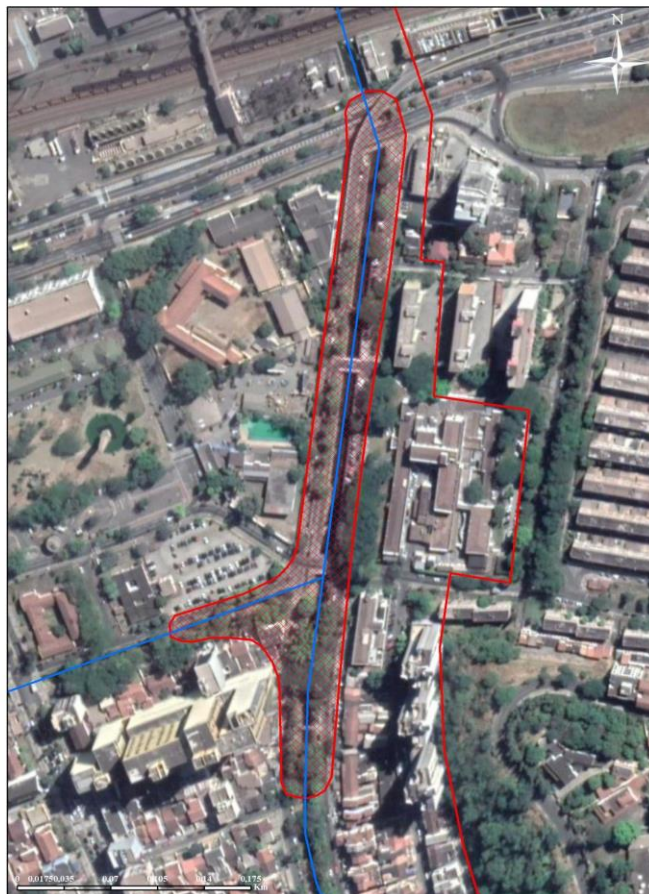
Fonte: Autores, 2021

Seguindo o quadro 10, foi calculado que aproximadamente 7,6% da mata nativa do bairro foi mantida, e que somado ao Campo Antrópico, é relativa a aproximadamente 18%, ou seja, em todo o bairro, em média, apenas 18% de sua superfície é favorável à infiltração das águas pluviais. Pode-se notar também que nem as matas ciliares e muito menos as planícies de inundação estão sendo respeitadas.

Após visitas ao local e estudos sobre a ocorrência das inundações passadas e as características da bacia, tornou-se necessário a delimitação de uma área de estudo específica de menor amplitude, por conta da grande extensão da bacia. Com isso, delimitou-se uma área de aproximadamente 25000 m², com extensão de 500m, que

percorre a Rua 41 desde a altura da Rua 42 até a Rodovia Lúcio Meira (BR-393), conforme ilustrado no mapa 4.

Mapa 4 – Local específico de estudo, próximo ao Hospital Santa Cecília, antigo Hospital da CSN.



Fonte: Autores, 2020.

Foi realizada a escolha desta área específica do bairro pois assim que se iniciam as precipitações este local é o primeiro a sofrer com o transbordamento do ribeirão devido ao grande volume de água que este corpo hídrico recebe nesta parte proveniente das águas mais à montante do canal, dos altos índices de escoamento superficial do local e por ainda ter que comportar o volume de água proveniente do Córrego Cachoeirinha, que além de também cortar o bairro da Vila também foi retificado e ainda desviado com uma angulação de 90° para que pudesse se encaixar no projeto urbanístico do bairro e desaguar no Ribeirão Brandão.

O curto percurso que resta para o corpo hídrico em questão desaguar no Rio Paraíba do Sul se encontra dentro da área da Companhia Siderúrgica Nacional, e

quando o ribeirão ali chega (figura 16), também sofre duas rupturas de fluxo com angulação de aproximadamente 90° , para então correr, ainda que com uma largura maior, entre os limites da Usina com o bairro majoritariamente residencial do Jardim Paraíba. Ou seja, além desta área, em grande parte, não possui mata ciliar no entorno do ribeirão e ser a que oferece o espaço mais estreito para que este possa percorrer, ela ainda se encontra no meio de dois locais de brusca mudança na quantidade de volume e de fluxo do percurso do ribeirão, potencializando as inundações no local. As figuras 16 e 17 demonstram as características atuais desta parte do ribeirão, com o mínimo de mata ciliar possível, quando há, e com uma angulação do talude próxima ou igual a 90° .

Figura 16 – Retificação e canalização do Ribeirão Brandão no bairro Vila Santa Cecília



Fonte: Autores, 2021.

Figura 17 – Retificação e canalização do Ribeirão Brandão no bairro Vila Santa Cecília.



Fonte: Autores, 2021.

Figura 18 – Aspecto do Ribeirão Brandão quando chega às dependências da CSN



Rodovia Lúcio Meira (BR-393). Fonte: Google Street View, 2019.

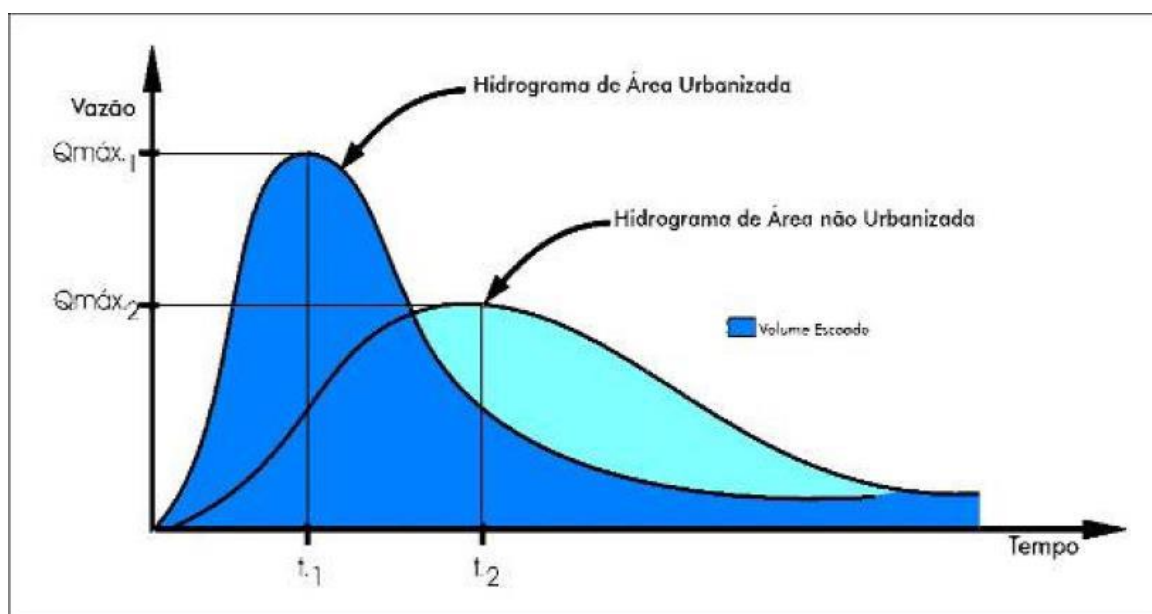
3.2.2 Efeitos da urbanização

A figura 19 tem como objetivo explicar como a intensa aceleração da urbanização e a falta de um planejamento urbano sustentável estão ligadas diretamente às inundações nas cidades, exemplificadas em um gráfico de duas linhas, que mostra o pico de vazão em duas situações distintas. No hidrograma de áreas urbanas, nota-se que o corpo hídrico chega ao seu pico de vazão em um período muito curto, o que ocasiona a sobrecarga e o transbordamento do canal. Já no hidrograma de áreas não urbanizadas, o gráfico se comporta diferente, onde o seu pico de vazão é menor do que em áreas urbanizadas, porém em um período maior, onde o escoamento é distribuído de uma maneira mais eficiente, e o potencial de transbordamentos é praticamente anulado.

Como mostrado no item 4.2.1, o bairro Vila Santa Cecília se encontra impermeabilizado quase que em sua totalidade, tendo apenas 18% de área com boa infiltração. Outro fator importante é a canalização e retificação do canal, medida que aumenta a velocidade de escoamento superficial e transfere o problema para a foz do ribeirão, além da falta de mata ciliar nas margens do mesmo, como mostra nas figuras 19 e 20.

Esta somatória de fatores está diretamente atrelada ao aumento da urbanização, onde o escoamento superficial se tornou o grande responsável pelo aumento considerado da vazão de pico, porém em um espaço de tempo muito menor, o que acaba levando o canal a sobrecarga e a ocorrência das inundações, cenário diferente das áreas não urbanizadas, como mostra o gráfico abaixo.

Figura 19 – Efeitos da urbanização.



Fonte: Viabilidade técnica na prevenção de inundações, 2019.

No dia 7 de abril de 2019, Volta Redonda presenciou uma grande chuva que trouxe problemas para toda cidade, o bairro Vila Santa Cecília foi um dos mais afetados e segundo a Defesa Civil, foi a pior chuva dos últimos anos, chovendo aproximadamente 140 mm em um curto período (DIÁRIO DO VALE, 2019). As figuras 20 e 21 mostram o estrago causado pela chuva. Como mostrado nas fotos, nota-se que a água atingiu altos níveis, trazendo muitos danos materiais, além do transtorno para locomoção e limpeza no local afetado.

Figura 20 – Ribeirão Brandão transborda na Rua 41.



Fonte: Diário do Vale, 2019.

Figura 21 – Ribeirão Brandão transborda na Rua 41.



Fonte: Diário do Vale, 2019.

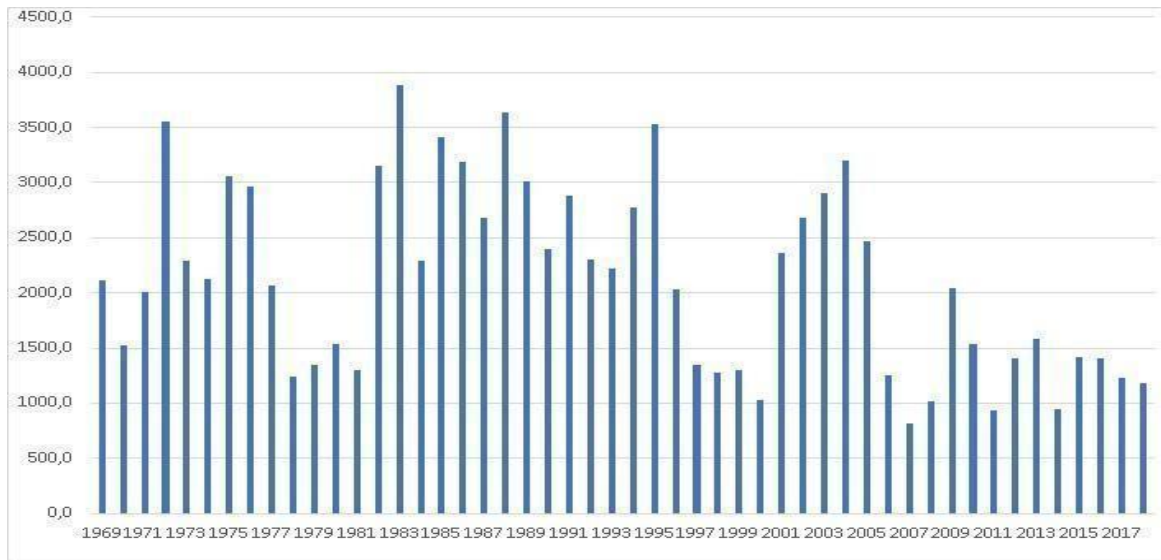
3.3 Regime pluviométrico de Volta Redonda

Em relação ao índice pluviométrico da cidade, a análise dos gráficos de pluviosidade anual, mensal máxima e diária máxima (gráfico 1, 2 e 3) obtidos pela Agência Nacional de Águas e da Defesa Civil de Volta Redonda evidenciou que o crescimento desenfreado e desordenado da cidade resultou em consequências diretas no ciclo hidrológico com alterações significativas no regime pluviométrico, pois ao verificar o gráfico 1, nota-se uma alteração na taxa de pluviosidade no decorrer dos últimos anos: enquanto em 1983 Volta Redonda atingiu 3800 mm anuais, em 2019 a cidade atingiu somente 1300mm. Entretanto, ao analisarmos a média mensal e diária, nota-se que não se possui uma alteração significativa.

Em contrapartida, mesmo com a média anual tendo caído por mais da metade de algumas décadas até os dias de hoje, houve o crescimento exponencial da urbanização da cidade, impermeabilizando grande parte do solo, diminuindo drasticamente a infiltração da água da chuva e aumentando o escoamento superficial e sobrecarregando os canais d'água. Um exemplo disso é o que demonstra o gráfico 3, da média diária de chuva dos anos entre 1995 e 1996, que atingiram 150mm, enquanto que em 2019 – ano em que no dia 7 de abril teve-se um dos piores estragos relacionados às chuvas na cidade nos últimos tempos – atingiu-se somente 90mm de precipitação.

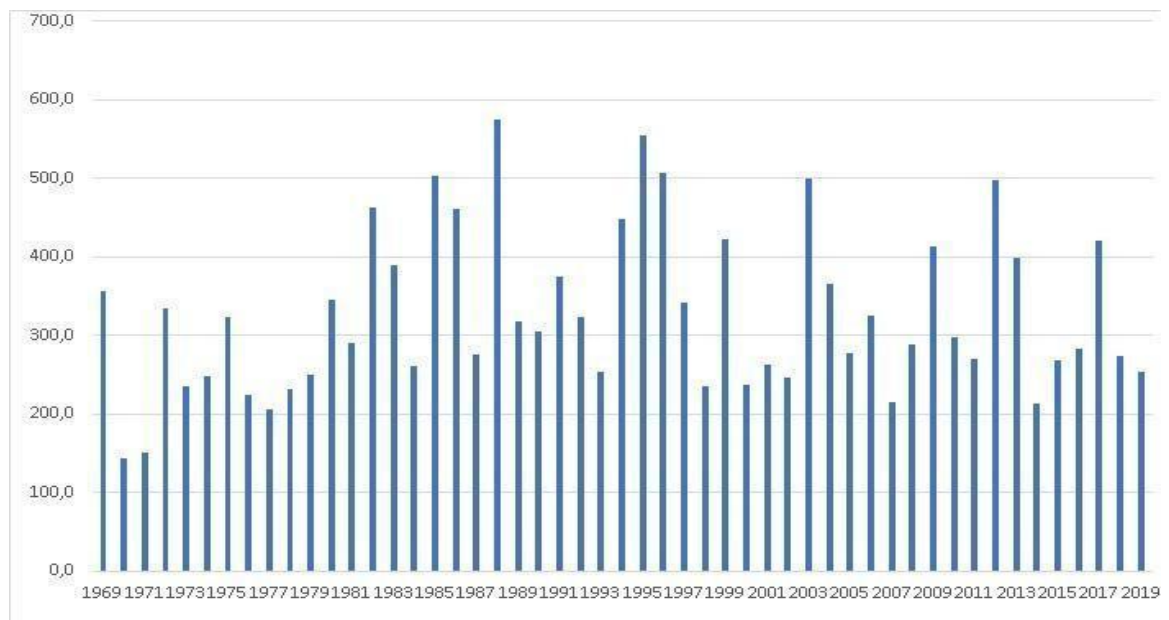
Nos gráficos, (1, 2 e 3) serão mostradas as análises de pluviosidade anual, mensal máxima e diária máxima. Elas evidenciam que o crescimento desenfreado e desordenado da cidade, resultou em consequências diretas no ciclo hidrológico, com alterações significativas no regime pluviométrico.

Gráfico 1 – Gráfico da pluviosidade anual da cidade de Volta Redonda.



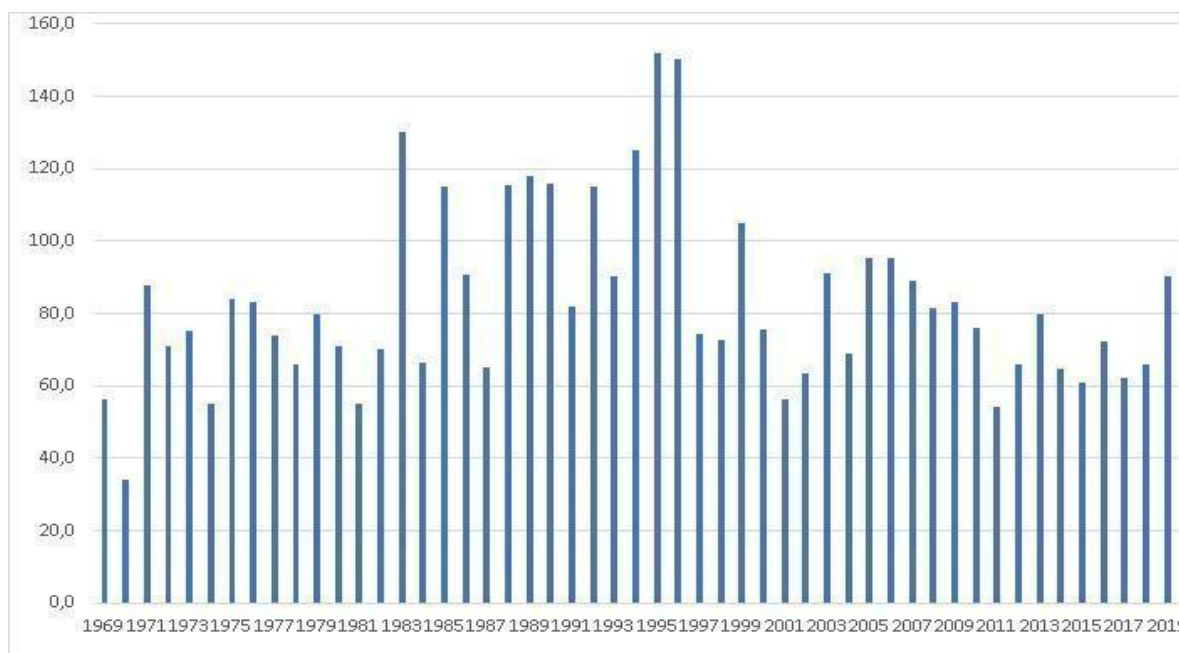
Fonte: Adaptado de ANA (2019) e COMPDEC (2018).

Gráfico 2 – Gráfico da pluviosidade mensal máxima da cidade de Volta Redonda.



Fonte: Adaptado de ANA (2019) e COMPDEC (2018; 2019).

Gráfico 3 – Gráfico da pluviosidade diária máxima da cidade de Volta Redonda.



Fonte: Adaptado de ANA (2019) e COMPDEC (2018; 2019).

Analisando o gráfico 1, nota-se uma alteração na taxa de pluviosidade no decorrer dos últimos anos: enquanto que em 1983, Volta Redonda atingiu 3800 mm anuais, em 2019 a cidade atingiu somente 1300 mm.

Mesmo com a média anual tendo caído por mais da metade de algumas décadas até o dia de hoje, houve o crescimento exponencial da urbanização da cidade, impermeabilizando grande parte do solo, diminuindo drasticamente a infiltração da água da chuva e aumentando o escoamento superficial, sobrecarregando assim os canais d'água.

Um exemplo disso é o que demonstra o gráfico 3, da média diária de chuva dos anos entre 1995 e 1996 que atingiram 150 mm, enquanto em 2019 teve um dos piores estragos relacionados às chuvas na cidade nos últimos tempos, atingiu-se somente 90 mm de precipitação.

3.4 Saneamento e despoluição do ribeirão

De longe, o saneamento é um dos fatores mais importantes para alcançar um resultado efetivo na despoluição dos rios, já que as cidades brasileiras ainda sofrem com alto índice da falta desse serviço. No que diz respeito a água, o saneamento abaixa a carga de resíduos sólidos no rio, minimizando o assoreamento e permitindo um melhor fluxo nos cursos d'água (NETO, 2010). Outra medida bastante efetiva é a recuperação de margens, pois além de estabilizar taludes e evitar deslizamentos de terra, faz com que ele não seja ocupado pela população, recuperando-se de forma natural e evitando assoreamentos.

Segundo o engenheiro João Thomás, especialista em Meio Ambiente, o Ribeirão Brandão era o rio mais poluído da região. No decorrer dos anos foram feitas medidas que amenizaram os índices de poluição do rio, como o fechamento de lixões, plantações de matas ciliares em sua nascente, remanejamento de gados que habitavam ali perto e a construção da ETE Eng^o Gil Portugal, que tem capacidade para tratar 140 litros de esgoto por segundo (O Dia, 2021).

Além disso, a partir de um diagnóstico da água feito em 2014 que coletou amostras em vários pontos do Brandão, foi identificado que depois da Floresta da Cicuta a qualidade da água melhorava muito, pois a floresta purifica naturalmente a água do rio. O engenheiro João, em entrevista, afirma que:

“A natureza purificava 1,5 km da água do Rio, enquanto temos 20 km aqui e gastamos 17, 18 milhões na estação Gil Portugal e então por que a gente precisa gastar dinheiro, se a gente pode colocar pequenos projetos naturais que envolvam a população?”

Figura 22 – Retificação do Ribeirão Brandão.



Fonte: Autores, 2021.

Outra medida bastante significativa é a limpeza dos Rios realizada pela prefeitura. De acordo com a SMI, Secretaria Municipal de Infraestrutura, as equipes roçam, capinam e retiram resíduos, utilizando máquinas pesadas para desassorear os córregos. Ainda, segundo a subsecretária, Poliana Gama, este serviço tem que ser feito de seis em seis meses, sendo necessário também, a contribuição da população (O Dia, 2021).

3.5 Medidas propostas

3.5.1 Limpeza dos rios

O descarte inadequado de resíduos sólidos em rios e margens tem se mostrado um dos maiores problemas no que diz respeito às grandes cheias, interferindo também na saúde da população e no meio ambiente. Com a cultura de consumo atual, torna-se inevitável uma maior geração de resíduos, e pela dificuldade de descarte de certos resíduos como madeiras, móveis, pneus, os rios têm se encontrado cada vez mais contaminados, dificultando sua fluidez, e se tornando cada vez mais impróprios para

seu uso posteriormente (COIMBRA, 2018).

Dentre as medidas não estruturais, pode-se citar a coleta de lixo, geralmente realizada pelo órgão público local, em períodos conforme a necessidade do local, com a iniciativa de amortecer o grande volume de resíduos no rio, para que em eventuais precipitações a água possa escoar livremente, além de melhorar a poluição visual e o odor nos rios. Também se faz necessário juntamente com essa medida, a conscientização da população, para que seja mantida a limpeza. (FERREIRA & NETO, 2018). A figura 23 mostra uma limpeza do leito dos rios realizada pela prefeitura.

Figura 23 – Secretaria Municipal de Infraestrutura de VR realiza a limpeza de córregos do município.



Fonte: O DIA, 2020.

3.5.2. Captação da água da chuva

Uma das soluções encontrada para a drenagem das águas, consiste em construir estruturas chamadas biorretenção em áreas que mais sofrem com

alagamentos, esse sistema funciona como um reservatório possuindo filtros subterrâneos que são compostas por camadas de areia, brita, grama e manta geotêxtil, permitindo assim deter por um tempo grandes volumes de água da chuva e reter poluentes.

Dessa forma, ajuda a retardar os picos de cheias que ocorrem em bacias ou microbacias, ajudando a reduzir o volume de água da chuva, sem ter que passar por alguma tubulação, esse sistema pode colaborar bastante, porque a água da chuva que ele recebe, abastece o lençol freático.

Vantagens: esse sistema pode ser expandido e modificado de acordo com a necessidade urbana, sendo também barato e não interferindo na paisagem. Contribuindo também para o controle de poluição com um intenso tráfego de veículos, uma vez que os poluentes são levados pela água da chuva (MEDIONDO, 2016).

3.5.3. Recuperação das matas ciliares

É característico em áreas adjacentes a corpos d'água, seja represas, lagos, rios, entre outros, que apresentam um arranjo de espécies típicas, tolerantes ao excesso de água no solo, A mata ciliar com seu mecanismo de filtragem (retenção de sedimentos), barreira física e químicas minimiza o impacto de fontes de poluição de áreas a montante, processo de assoreamento de corpos d'água são reduzidos, além do mais ela fornece estabilidade aos solos marginais, diminuindo os processos erosivos e também impede que uma quantidade muito grande de água caia de uma vez só no rio, e assim evita as enchentes, com isso são sistemas vegetais essenciais ao equilíbrio ambiental (Gestão ambiental 2, 2010). O quadro 11 mostra a relação entre o curso d'água e a largura mínima de margem.

Quadro 11 - Área de preservação permanente junto a rios, lagos e as margens.

Situação	Largura mínima
Cursos d'água com até 10 m	30 m em cada margem
Cursos d'água de 10 m a 50 m de largura	50 m em cada margem
Cursos d'água de 50 a 200 m de largura	100 m em cada margem
Cursos d'água de 200m a 600 m de largura	200 m em cada margem
Cursos d'água com mais de 600 m de largura	500 m em cada margem
Lagos ou reservatórios em zona urbana	30 m ao redor do espelho d'água
Lagos ou reservatório em zona rural (com menos de 20ha)	50 m ao redor do espelho específico d'água
Lagos ou reservatórios em zona rural (a partir de 20ha)	100 m ao redor do espelho d'água
Represas de hidroelétricas	100 m ao redor do espelho d'água
Nascentes	raio de 50 m

Fonte: Autores, 2021.

Para os efeitos da aplicação da legislação pertinente, os cursos d'água são classificados como:

- Perenes: são rios que contém água durante todo o ano;
- Intermitentes: rios "temporários" onde escorre a água durante uma estação chuvosa, desaparecendo no período de estiagem;
- Efêmeros: os rios formam-se somente por ocasião das precipitações ou imediatamente após.

É considerado:


- Nascente: Afloramento natural do lençol freático, sendo e sempre dão início a um curso d'água;
- Olho d'água: Afloramento natural do lençol freático, sendo intermitente e deles não derivam rios.

As faixas marginais consideradas como Áreas de Preservação Permanente variam de acordo com a largura do curso d'água, medida a partir da borda da calha de seu leito regular, conforme a tabela acima. As APPs de lagos e reservatórios localizados na zona urbana devem possuir uma largura mínima de 30m ao redor do espelho d'água, sendo que aqueles com menos de 20ha e em zona rural devem possuir uma largura mínima de 50m ao redor do espelho d'água, e os para aqueles mensurados a partir de 20 ha, a legislação define uma largura mínima de 100m ao redor do espelho d'água. Por exemplo, APPs de represas de hidrelétricas devem possuir uma largura mínima de 100m ao redor do espelho d'água, já as nascentes e olhos d'água devem possuir um raio mínimo de 50m.

3.5.4. Pavimento Permeável

Conforme descrito no item 2.6.4, o pavimento permeável se torna uma medida eficaz na minimização das inundações, pois por se tratar de um bairro extremamente urbanizado, faltam espaços para grandes obras para contenção. O quadro 12 apresenta alguns tipos de pavimentos permeáveis e suas possíveis utilizações.

Quadro 12 - Tipos de pavimentos permeáveis e suas possíveis utilizações

Pavimento Permeável	Utilização	Exemplo
Concreto Poroso	Pode ser utilizado na pavimentação de calçadas e praças.	

Asfalto Poroso	Opção para pavimentação de vias urbanas.	
Piso Intertravado	Pode ser utilizado na pavimentação de calçadas e praças, além de ser uma opção com uma melhor estética.	
Piso Intertravado com vegetação.	Por ser uma opção com boa estética, se torna uma boa opção para revestimento de residências, garagens e acessos.	

Fonte: Autores. Imagens: Engenharia 360, 2020.

Os quadros 13 e 14 abaixo foram criadas por Pires (2019) junto a profissionais do setor de orçamento do Estado de São Paulo. Nelas estão descritos os materiais e os valores para confecção de 1m² do pavimento tradicional e do pavimento permeável.

Quadro 13 - Descrição de materiais para pavimento convencional.

Fundação de rachão	m ³	119,51	0,40	47,80
Base de binder denso (sem transporte)	m ³	379,96	0,04	15,20
Imprimação betuminosa ligante	m ²	2,02	2,00	4,04
Imprimação betuminosa impermeabilizante	m ²	4,05	1,00	4,05
Revestimento de concreto asfáltico (sem transporte)	m ³	476,92	0,035	16,69
Base de bica corrida	m ³	106,57	0,12	12,79
Base de brita graduada	m ³	113,07	0,10	11,31
TOTAL - Tráfego Leve Pavimento Convencional (/m²)				RS 111,88

Fonte: Viabilidade técnica na prevenção de inundações, 2019.

Quadro 14 - Descrição de materiais para pavimento permeável.

Fundação de rachão	m ³	119,51	0,40	47,80
Base de macadame betuminoso	m ³	310,34	0,05	15,52
Imprimação betuminosa ligante	m ²	2,02	1,00	2,02
Revestimento de concreto asfáltico permeável + usinagem	m ³	196,00	0,035	6,86
Base de brita graduada	m ³	113,07	0,10	11,31
Base de macadame hidráulico	m ³	165,00	0,25	41,25
Fornecimento e aplicação de geomembrana de Pead - 1mm de espessura	m ²	16,35	1,00	16,35
TOTAL - Tráfego Leve Pavimento Permeável (/m²)				RS 141,11

Fonte: Viabilidade técnica na prevenção de inundações, 2019.

Como mostrado nos quadros, o valor por m² do pavimento permeável é aproximadamente 27% mais caro que o pavimento convencional, e junto ao estudo do uso do solo, torna-se possível estipular um valor para a substituição do pavimento de todo o bairro. Com 218720 m² de vias urbanas, seria necessário algo em torno de R\$30.000.000,00. Mostra-se um valor alto, sendo necessário um bom planejamento para a execução de toda a substituição do pavimento. Porém mesmo com este valor, a longo prazo este valor se pagaria por conta da diminuição da ocorrência das inundações, o que diminuiria altos custos com novos projetos de planejamento, recuperação dos locais afetados pelas chuvas e contratação de mão de obra.

3.5.5. Conscientização da população

Apesar da poluição dos rios ser um problema socioambiental bastante grave nos centros urbanos, este se mostra como um hábito visivelmente consolidado na atuação industrial, comercial, no cotidiano da população que vive às margens dos rios e dos cidadãos em geral. Por isso, a conscientização da população sobre o descarte adequado do lixo além de ensinar sobre os prejuízos à saúde da população, o comprometimento da fauna e a não oportunidade da utilização da água para usos benéficos, também ensina sobre a contribuição direta desta problemática no aumento das inundações. É dever da prefeitura fazer campanhas de conscientização e investir em projetos de educação ambiental sobre o descarte correto do lixo. Assim, além do

cidadão estar contribuindo para o cuidado de sua cidade, utilizando a lixeira ou o ecoponto para o descarte de seu entulho, também está praticando uma ação de cidadania, deixando à cargo da prefeitura o descarte final e correto desses poluentes (Recicla sampa, 2018).

Figura 24 - Poluição e sujeira no Ribeirão Brandão.



Fonte: Jornal Boa Tarde Interior, 2012.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Utilizando os cálculos relacionados ao coeficiente de compacidade (KC) e ao fator de forma (Kf) da microbacia do Ribeirão Brandão foi constatado que esta, em seu estado natural, apresenta índices favoráveis à drenagem da água precipitada e conseqüentemente pouca propensão a inundações. Porém, devido à histórica negligência dos planejamentos urbanos da cidade em relação ao ribeirão, causada por uma visão imediatista e lucrativa de cidade rodoviarista, pensada primeiramente para a circulação dos automóveis e não para a sustentabilidade dos recursos naturais, o ribeirão teve então o seu espaço de circulação reduzido ao máximo, assim como as áreas verdes para infiltração da água da chuva.

Ao longo do tempo, com a constante reprodução e intensificação deste sistema, toda a área urbana necessariamente acaba por sofrer com os mesmos mecanismos de sufocamento das potencialidades dos recursos naturais de drenagem na cidade, pois sua expansão não sustenta o modo de vida da população, que, da mesma forma, também cresce exponencialmente e é condicionada a uma vida urbana sem relacionamento direto com aqueles que foram, e ainda são a base da instalação dos instrumentos de desenvolvimento econômico e manutenção da cidade, vide a CSN.

Dessa forma, uma microbacia que naturalmente não seria propensa a inundações, acaba por sofrer frequentemente com este fenômeno nas épocas de chuvas todos os anos. Chuvas essas que, inclusive, têm se intensificado em curtos períodos de tempo nos últimos anos, fazendo com que as médias máximas diárias de precipitação estejam em alta. Entende-se o porquê de tal cenário quando se percebe que o projeto urbanístico insustentável da cidade de Volta Redonda não é independente, ele acaba sendo parte da concretização de uma visão de mundo que explora o meio ambiente e elimina gases tóxicos na atmosfera, fazendo com que as conseqüências das mudanças climáticas sejam sentidas na prática pelos cidadãos.

Tendo em vista todas estas questões que caracterizam o problema das inundações como muito mais complexo do que se pode notar especificamente em escala espacial micro, entendemos que a engenharia civil tem um papel de atuação extremamente crucial por ser responsável pela produção das cidades modernas, e por

isso, deve-se reconhecer a importância da interferência de fatores históricos e geográficos relacionados à área física de atuação do engenheiro para que projetos urbanísticos futuros englobem todas estas questões inerentes à solução ou atenuação dos problemas das cidades. A partir deste entendimento procuramos técnicas e instrumentos práticos da engenharia que pudessem ser aplicados no local de estudo para mitigação dos transtornos causados à população em decorrência dos transbordamentos do ribeirão no bairro da Vila Santa Cecília.

Para além dos projetos de limpeza dos córregos e recuperação da mata ciliar, que são constantemente operados pelo poder público, mas que se limitam ao pouco espaço que foi destinado a estes recursos naturais na cidade, destacamos a recomendação de se investir em projetos de captação da água da chuva por meio de reservatórios residenciais e comerciais no bairro, que consistem em captar, armazenar e reutilizar as águas pluviais para o consumo não potável. Também foi indicado a substituição do pavimento convencional pelo pavimento permeável, que apesar de ter um custo 27% mais caro que o convencional, tem o valor final de investimento equiparado ao convencional se considerarmos a sua taxa de infiltração de 100%, que, em termos práticos economizaria nos custos de frequentes planejamentos de obra, recuperação dos locais afetados pelas chuvas e contratação de mão de obra.

Além disso, também foi destacada a importância da utilização de medidas não estruturais, que buscam controlar a ocupação territorial e as atividades econômicas no local, evitando o impacto das inundações. São medidas mais simples e econômicas, mas bastante eficazes se pensarmos na potencial diminuição da poluição hídrica por meio da população, que acaba dispondo incorretamente de seus resíduos e desaguando esgotos clandestinos, favorecendo cada vez mais as cheias.

Dito isso, o presente trabalho também se caracteriza como um possível ponto de partida para pesquisas e análises futuras sobre os recorrentes transbordamentos do Ribeirão Brandão, pois a complexidade da problemática dá margem para os mais variados tipos de estudo e, sendo assim, as investigações não se esgotam por aqui. Como foi mostrado, a microbacia em questão possui uma grande extensão territorial e corta diversos bairros da cidade, o que deixa nítido a necessidade de trabalhos

múltiplos para complementar e viabilizar uma futura solução deste problema, e não apenas sua redução.

A potencialidade da problemática pode, por exemplo, impulsionar projetos que possam levar em consideração a contribuição dos bairros vizinhos à Vila Santa Cecília, além de deixar em aberto projetos para execução de obras de engenharia, levantamento e análise de custos dos mesmos. Ademais, também fica em aberto a possibilidade de planejamento de projetos que possam elaborar medidas educativas, cartilhas e campanhas de conscientização para o auxílio de medidas não estruturais, que podem auxiliar na redução de resíduos dispostos incorretamente, diminuindo a intensidade dos efeitos das inundações na cidade.

Conclui-se, portanto, que é possível, a minimização de inundações no Ribeirão Brandão por meio de medidas significativas, que junto com o apoio e conscientização da população se mostram extremamente viáveis e eficazes.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

<http://ippuvr.com.br/nuvem/dados_urbanos/populacao_densidade_por_bairro.pdf>.

Acesso em: 13 out. 2020.

<<https://diariodovale.com.br/tempo-real/volta-redonda-registra-maior-volume-de-chuva-dos-ultimos-tres-anos/>>. Acesso em: 06 set. 2020.

ACIOLI, L. A. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**, 2005. Disponível em <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/5843>> Acesso em 07 de março de 2021.

ADAM, J. **Gestão de recursos hídricos numa perspectiva de sustentabilidade: uma proposta**. 2008. 215 p. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, 2008.

Agencia FAPESP, **Sistema de biorretenção de chiva pode ajudar a combater enchentes**. 21 de janeiro de 2012: Disponível em: <<https://agencia.fapesp.br/sistema-de-bioretencao-de-agua-de-chuva-pode-ajudar-a-combater-enchentes/22575/>>. Acesso em: 15 de março de 2021.

AMARAL, D.P.B. PIMENTEL, I.M.C. JUNIOR. **Mapeamento de áreas inundáveis nas margens do Rio Paraíba do Sul, trecho de Volta Redonda**. Disponível em: <<https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/abr/Eventos/Trabalhos/60/PAP022273.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2020.

BARBOSA, F. de A. dos R. **Medidas de Proteção e Controle de Inundações Urbanas na Bacia do Rio Mamanguape/PB**. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2006.

BARGOS, D.C., L.F. MATIAS. **Áreas verdes urbanas: Um estado de revisão e proposta conceitual**. REVSBAU, Piracicaba – SP, v.6, n.3, p.172-188, 2011.

BENINI, S.M. DIAS, L.S. PINHEIRO, J.H. **Saneamento e o Ambiente**, 1ª edição. São Paulo: ANAP, 2018.

BIGARELLA, J.J. & SUGUIO, K. (1990) **Ambientes Fluviais**. Editora da UFSC:

BOTELHO, R.G.M & SILVA, A.S. **Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental**. In: GUERRA, A.J.T. e VITTE, A.C. (orgs). Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 3.ed. 2010.

Bueiros Inteligentes ajudam a prevenir enchentes em algumas cidades do Sul de MG. G1. 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/2020/02/20/bueiros-inteligentes-ajudam-a-prevenir-enchentes-em-algumas-cidades-do-sul-de-mg.ghtml>>. Acesso em: 11 set. 2020.

CANHOLI, A. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. 2ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

CANHOLI, A. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CARDOSO NETO, A. **Sistemas Urbanos de Drenagem**. 2010. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/ProducaoAcademica/Antonio%20Cardoso%20Neto/Introducao_a_drenagem_urbana.pdf>. Acesso em 02 set. 2020.

CARDOSO NETO, A. **Sistemas Urbanos de Drenagem**. 2010. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/ProducaoAcademica/Antonio%20Cardoso%20Neto/Introducao_a_drenagem_urbana.pdf>. Acesso em 14 mar. 2021.

Climate Data. **Volta Redonda Clima**. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-de-janeiro/volta-redonda-4043/>>. Acesso em: 06 set 2020.

CNRH. **Conselho Nacional de Recurso Hídricos**,2013. Disponível em:<<https://cnrh.mdr.gov.br/cnrh>>. Acesso em: 20 set,2020.

COIMBRA, Beatriz S; CUNHA, Andressa M; SILVA, Tatiane P; Souza, Paulo R. **Descarte inadequado de resíduos sólidos em rios e margens**. 2018. III Mostra Científica e Cultural do IFSP - IFSP.

CUSTÓDIO, V. **Escassez de Água e Inundações na Região Metropolitana de São Paulo**. Editora Humanistas/ FAPESP, 2012.

DIAS, J. E. **Análise ambiental por geoprocessamento do município de Volta Redonda**. 1999. 180 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural Rio de Janeiro, Seropédica.

DIAS, J. E.; GOMES, O. V. O.; GOES, M. H. B. **Áreas de Riscos de Enchentes no Município de Volta Redonda: Uma Aplicação por Geoprocessamento**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Caminhos de Geografia [revista eletrônica]. 25 p. Seropédica, RJ. 2003. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15314/8613>>. Acesso em: 26 de fev de 2021.

Editora da Universidade Federal do Paraná, Florianópolis, 2.ed.

FERREIRA, Geraldo J. G.; NETO, Mario M. F. **Controle de Inundações Urbanas**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Militar de Engenharia.

FILHO, K. Z.; MARTINS, J. R. S., PORTO, M. F. A. **Gestão de Resíduos Sólidos e Impactos sobre a Drenagem Urbana**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012.

FILHO, K. Z.; MARTINS, J. R. S., PORTO, M. F. A. **Inundações Urbanas**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012.

Gestão ambiental 2. **Faixa marginal de proteção**, 2010. Disponível em:<<http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/2-Faixa-Marginal-de-Prote%C3%A7%C3%A3o-154-Mb.pdf>> Acesso em: 10 março,2021.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. p 37. Disponível em: <http://www.uece.br/nucleodelinguasitaperi/dmdocuments/gil_como_elaborar_projeto_de_pesquisa.pdf>. Acesso em 05 de mar de 2021.

<<https://odia.ig.com.br/volta-redonda/2021/02/6083842-corregos-de-volta-redonda-passam-por-limpeza.html>> Acesso em 15 de mar de 2021.

IPPU – Instituto de planejamento e pesquisa urbano de volta

Jornal Diário do Vale, **Volta Redonda registra maior volume de chuva dos últimos três anos, segundo Defesa Civil**. Volta Redonda, 2 de março de 2020.: Disponível em: <<https://diariodovale.com.br/tempo-real/volta-redonda-registra-maior-volume-de-chuva-dos-ultimos-tres-anos/>>. Acesso em: 19 de setembro 2020.

LEHUGEUR, F. P.; AMARAL, D. R. B. **Soluções para minimizar as inundações na área central de pato de Minas**. Revista Multidisciplinar, vol. 18, Janeiro, 2019.

LEMOS, I. B., **Aproveitamento de água de chuva para usos não-potáveis e análise comparativa dos métodos de dimensionamento de reservatório propostos pela NBR 15527:2007**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.

LIMA, G. C. et al. **Estimativa do potencial de recarga na sub-bacia das posses, extrema (mg), em função dos atributos fisiográficos, pedológicos e topográficos**. *Geociências*. (São Paulo), São Paulo, v. 32, n. 1, 2013.

LIMA, W. P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2.ed. 2008.

LOPES, N. H. Y. **Influências dos usos do solo nos processos hidrológicos em microbacias experimentais**. Disponível em <http://www.labhidro.ufsc.br/Projetos/TCC/TCC_Nadia.pdf>. Acesso em: 20 de setembro de 2020.

MACHADO, M. A. et al. **Avaliação da influência do crescimento populacional na balneabilidade da Lagoa da Conceição**, Florianópolis-SC. 2019.

MARTINS, J.R.S. **Gestão de Drenagem Urbana: só tecnologia será suficiente?** 2012. Artigo Científico. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2012.

MESQUITA, F. N.; SILVESTRE, K. S.; STEINKE, V. A. **Urbanização e degradação ambiental: análise da ocupação irregular em áreas de proteção permanente na região administrativa de Vicente Pires, DF, utilizando imagens aéreas do ano de 2016**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 10, n. 03, p. 722-734, 2017.

MOURA, C.A. (2013). **Avaliação de tendência a enchentes das bacias hidrográficas do município de Caraguatatuba (SP)**. Revista de Geografia (UFPE) V. 30, No. 2, 2013. Disponível em <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/229012>> . Acesso em 17 de nov. de 2020.

MOURA, P. M. **Contribuição para a avaliação global de sistemas de drenagem** PIRES, Rodrigo Azevedo Gonçalves, et.al. **Asfalto convencional ou permeável?** Viabilidade técnica na prevenção de enchentes. Disponível em <<http://anpur.org.br/xviiienanpur/anaisadmin/capapdf.php?reqid=1744#:~:text=O%20uso%20do%20asfalto%20perme%C3%A1vel,infiltrada%20pelo%20dispositivo%20retendo%20impurezas.>> Acesso em 10 de março de 2021.

PRODANEV. C. C & FREITAS. E. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**, 2 ed., 2013. Disponível em <https://aedmoodle.ufpa.br/pluginfile.php/291348/mod_resource/content/3/2.1-E-book-Metodologia-do-Trabalho-Cientifico-2.pdf>. Acesso em: 22 de jan. de 2021.

Recicla sampa. **A conscientização sobre o lixo deve começar ainda na infância**, 2018. Disponível em:<<https://www.reciclasampa.com.br/artigo/conscientizacao-sobre-o-lixo-deve-comecar-ainda-na-infancia>>. Acesso em: 10 março,2021

Redonda. Área e População por Bairro – Setores de Gestão. 2014. Disponível em: Revista perspectiva online: Exatas e Engenharia. **Complexidades para aplicação dos aspectos normativos a gestão de recursos hídricos no Brasil**, fev./2020. Disponível em <https://ojs3.perspectivasonline.com.br/exatas_e_engenharia/article/view/1747/1667> .Acesso em: 20 de setembro de 2020.

Revista perspectiva online: Exatas e Engenharia. Complexidades para aplicação dos aspectos normativos para a gestão de recursos hídricos no Brasil, fev/2020. Disponível em:<https://ojs3.perspectivasonline.com.br/exatas_e_engenharia/article/view/1747/1667>.Acesso em: 20 set.2020.

SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. E. **Análise multicritério: modelos de interesse ambiental e de áreas propícias à expansão urbana na bacia do córrego do lenheiro**. Universidade Federal de Uberlândia, Caminhos de Geografia [revista eletrônica], v. 19, n. 64, p. 60-77. Uberlândia, MG. 2017. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/40912>>.

Acesso em: 26 de fev de 2021.

Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Manual de Drenagem Urbana Região Metropolitana de Curitiba**. Paraná, 2002.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. Cortez editora, 2017.

SOUZA, C. F.; TUCCI, C.E.M. **Controle da drenagem urbana no brasil: avanços e mecanismos para sua sustentabilidade**, 2005. Disponível em <<http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2017/04/controladrenagemurbana.pdf>>. Acesso em : 16 de setembro de 2020.

TOMAZ, P., & TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**. Oceania, 65(4), 5, 2009. Disponível em <<https://docplayer.com.br/1223588-Aproveitamento-de-agua-de-chuva-em-areas-urbanas-para-fins-nao-potaveis.html>> Acesso em: 07 de jan. de 2021.

TUCCI, C. E. M. **Inundações e Drenagem Urbana**. In: TUCCI, C.E.M. & BERTONI, J.C. Inundações Urbanas na América do Sul. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 1.ed. 2003.

TUCCI, C.E.M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Ministério das Cidades. Global Water Partnership. World Bank. Unesco. 2005. Disponível em: <http://4ccr.pgr.mpf.gov.br/institucional/grupos-de-trabalho/residuos/docs_resid_solidos/GestaoAguasPluviaisUrbanas.pdf>. Acesso em: 02 set. 2020.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Editora da UFRGS / ABRH, 2008. Acesso em: 08 de agosto de 2020.

urbana. Belo Horizonte-MG:UFMG, 2004.p:22. Disponível em <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/110M.PDF>>. Acesso em: 15 de setembro de 2020.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975. 245p. Disponível em <<https://ecivilufes.files.wordpress.com/2011/04/villela-s-m-matos-a-hidrologia-aplicada-caps-1-2-e-3.pdf>>. Acesso em 22 de nov. de 2020.

VIRGILLIS, A. L. **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2009. Disponível em <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-08092010-122549/publico/Dissertacao_Afonso_Luis_Correa_de_Virgiliis.pdf>. Acesso em 08 de março de 2021.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. Disponível em < https://saudeglobaldotorg1.files.wordpress.com/2014/02/yin-metodologia_da_pesquisa_estudo_de_caso_yin.pdf > Acesso em 05 de mar de 2021.

ZANELLA. L. C. H.: **Metodologia de Pesquisa**, 2013. Disponível em <http://arquivos.eadadm.ufsc.br/EaDADM/UAB_2014_2/Modulo_1/Metodologia/material_didatico/Livro%20texto%20Metodologia%20da%20Pesquisa.pdf> . Acesso em 22 de jan. de 2021.