

ITC – INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CARATINGA

EMMELINE MARQUES DE FARIA

JULIEFERSON DE OLIVEIRA FREITAS

**DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE ESCOAMENTO PLUVIAL
URBANO DOS CÓRREGOS SÃO JOÃO E SEUS
AFLUENTES DA CIDADE DE CARATINGA**

BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

DOCTUM – CARATINGA

2015

EMMELINE MARQUES DE FARIA
JULIEFERSON DE OLIVEIRA FREITAS

**DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE ESCOAMENTO PLUVIAL
URBANO DOS CÓRREGOS SÃO JOÃO E SEUS
AFLUENTES DA CIDADE DE CARATINGA**

Monografia apresentado à Banca Examinadora da Faculdade de Engenharia Civil do Instituto Doctum de Educação e Tecnologia, como requisito parcial de obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Prof. Sérgio Alves dos Reis.

DOCTUM - CARATINGA

2015

EMMELINE MARQUES DE FARIA
JULIEFERSON DE OLIVEIRA FREITAS

**DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE ESCOAMENTO PLUVIAL
URBANO DOS CÓRREGOS SÃO JOÃO E SEUS
AFLUENTES DA CIDADE DE CARATINGA**

Monografia submetida à comissão examinadora designada pelo Curso de Graduação em Engenharia Civil como requisito para obtenção do grau de bacharel.

Prof. Sergio Alves dos Reis (Orientador)

Profa. Camila Silva

Instituto Doctum de Educação e Tecnologia

Prof. Leonardo Sathler

Instituto Doctum de Educação e Tecnologia

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, principal responsável por tudo isso. Sempre estive guiando e iluminando meu caminho.

Aos meus pais e meu irmão, Gorete, Domingos e Lucas, pelo apoio, incentivo, cuidado, compreensão, amor e principalmente pelo companheirismo, sempre estando ao meu lado quando precisei.

Aos meus amigos e familiares, pela compreensão, principalmente na minha ausência no decorrer desse trabalho.

Aos colegas de serviço da Rede Doctum, obrigada pela paciência e incentivo.

Ao meu amigo e dupla de projeto, Julieferson de Oliveira, obrigada pelo companheirismo, paciência e motivação, sem você nada disso seria possível.

Ao meu orientador, Sérgio Alves dos Reis, pela paciência, dedicação, incentivo e sabedoria que muito me auxiliou.

Ao Prof. Ricardo Botelho Campos, que sempre estive disponível para nos orientar com toda tranquilidade, sanando nossas dúvidas nos momentos de desespero.

Ao Prof. José Salvador Alves, que com seu excelente profissionalismo nos ajudou na conclusão do projeto.

A todos os mestres e amigos de verdade, que me ensinaram, incentivaram e ajudaram, direta ou indiretamente, contribuindo assim, para que eu pudesse crescer.

A todos o meu muito obrigado.

Emmeline Marques

AGRADECIMENTO

Mediante de tantos obstáculos devido a um trabalho de grande interesse e complexo, não seria possível sem o apoio de algumas pessoas muito importantes, que serviram de fonte de alto valor agregado devido ao grande conhecimento.

Agradeço primeiramente a um Deus presente a cada segundo da minha vida, pelo discernimento, concentração e pela paciência, por saber que naquelas horas mais difíceis ele estava ao meu lado.

Agradeço a uma amiga parceira e dupla de TCC, Emmeline Marques, que, mesmo devido ao estresse, decorrente da complexidade do trabalho, ela foi guerreira ao meu lado, sabendo dividir os trabalhos da melhor forma possível com persistência e agilidade.

Devo ao mérito também a um amigo e excelente profissional, Humberto Andrade, graças a suas grandes ideias o trabalho teve um ótimo prosseguimento.

Agradeço ao nosso orientador, Sérgio Alves dos Reis, pela orientação, dedicação e a boa vontade no percurso do trabalho.

Devo o agradecimento também a um grande amigo e professor, Ricardo Botelho Campos, pela paciência, dedicação e boa vontade, ajudando da melhor forma possível na estrutura do trabalho. Agradeço também ao José Salvador, que, graças ao embasamento do seu grande conhecimento o trabalho foi concluído.

Julieferson de Oliveira

RESUMO

O crescimento intenso e desordenado da cidade de Caratinga/ MG, sem o devido planejamento com o meio ambiente, resultou em alto nível a degradação dos recursos naturais. Mesmo com as obras de canalização realizadas no ano 2013/2014, a população tem sofrido com alagamentos e enchentes. Visando o aproveitamento deste recurso propõe-se a correção do sistema de drenagem das águas pluviais em alguns trechos da canalização, construído pela Copasa para a implantação da ETE, percorrendo os Córregos São João e seus afluentes. Apesar de ser pavimentado aumentando a velocidade da vazão, devido ao volume pluviométrico mais elevado o afluente aumenta e seu volume não suportando vem a transbordar devido às interferências com pontes existentes, causando represamento, principalmente no Bairro Santa Cruz, local dos principais alvos, gerando transtornos e prejuízos a muitos moradores.

Palavras Chave: Águas pluviais. Degraus. Pontes.

ABSTRACT

The intense and disorderly growth of the city of Caratinga/ MG, without proper planning for the environment has resulted in high-level degradation of natural resources. Even with the plumbing works in the year 2013/2014, the population has suffered from flooding and flooding. Aiming to take advantage of this feature it is proposed to fix the drainage system of rainwater in some parts of the pipeline, built by Copasa for the implementation of ETE, crossing the St. John Streams and tributaries. Despite being paved increasing the speed of flow, due to higher rainfall volume the affluent increases and volume supporting not come to overflow due to interference with existing bridges, causing damming, mainly in the Barrio Santa Cruz, site of the main targets, generating disorders and damage to many residents.

Keywords: Rainwater. Stairs.Bridges.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1–Vista aérea parcial da cidade de Caratinga – MG..... | 13 |
| Figura 2 - Infográfico Caratinga - MG..... | 15 |
| Figura 3 - Rua Inácio Tomé, conhecida como “Cantinho do Céu”..... | 18 |
| Figura 4 - Rua Cel Antônio da Silva - Armazém do I.B.C..... | 19 |
| Figura 5 - Antes e Depois da Canalização..... | 22 |
| Figura 6 - Trecho do canal da rua Generoso Cevidanes..... | 24 |
| Figura 7 - Características dos imóveis da área de estudo no 2º semestre de 2015.. | 25 |
| Figura 8 - Índice de inundações antes da canalização..... | 26 |
| Figura 9 - Índice de inundações após a canalização..... | 27 |
| Figura 10 - Trecho Rua Generoso Cevidanes..... | 28 |
| Figura 11 - Trecho Trav. Jorge Coura Filho..... | 29 |
| Figura 12 - Perfil dos trechos após o rebaixamento..... | 46 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1- Coeficientes de Rugosidades para canais | 31 |
| Tabela 2 - Coeficiente de rugosidade de Manning | 32 |
| Tabela 3 - Resultados do trecho: Rua Generoso Cevidanes | 37 |
| Tabela 4 - Resultados do trecho: Trav. Jorge Coura Filho | 41 |
| Tabela 5 - Comparação da vazão antes e após o rebaixamento | 45 |

SUMÁRIO

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| INTRODUÇÃO | 9 |
| 1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 11 |
| 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA | 11 |
| 1.2 ENCHENTES | 16 |
| 1.3 CANALIZAÇÃO | 19 |
| 2. O SISTEMA DE ESCOAMENTO PLUVIAL URBANO DO CÓRREGO SÃO JOÃO E SEUS AFLUENTES | 22 |
| 2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO..... | 22 |
| 2.2 CARACTERIZAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES LOCALIZADAS NOS PONTOS DE ESTUDO..... | 24 |
| 2.3 IDENTIFICAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO | 27 |
| 2.4 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO DOS CÓRREGOS..... | 29 |
| 2.5 MEMORIAL DE CÁLCULO..... | 30 |
| 3. CONCLUSÃO | 47 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 48 |
| ANEXO 1 – QUESTIONÁRIO | 50 |
| ANEXO 2 – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO | 51 |
| ANEXO 3 e 4 –LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO | 52 |

INTRODUÇÃO

A alteração na canalização do córrego São João adaptando um degrau visa corrigir a altura perdida abaixo da ponte devido a uma viga de sustentação, onde o estreitamento do canal juntamente com a barreira criada, altera o fluxo da água devido ao aumento pluviométrico. A busca de construir uma solução que seja economicamente viável, sem esquecer o lado social, prepara o profissional para lidar com esse problema que tem prejudicado a população do município de Caratinga/MG.

Intervenções devem ser feitas quando se tornam frequentes eventos como enchentes, inundações, destruição de residências; sendo essa intervenção benéfica para toda a população. Além da melhoria da qualidade de vida, a diminuição dos riscos de doenças ao evitar contato com as águas de enchentes, conseqüentemente a redução de perda materiais e da vida humana.

Embora seja uma intervenção simples, se bem executada, poderá sanar os problemas apresentados pela população e até mesmo uma inovação para os próximos projetos, onde cada dia se tem uma grande necessidade de obras deste tipo, devido ao crescimento dos centros urbanos.

Como corrigir principais intervenções no decorrer de um canal pequeno e nas pontes, diminuindo os riscos de inundações e transbordamentos?

- Revisar bibliografia;
- Análise de índices pluviométricos;
- Caracterizar as falhas e principais pontos que interferem no escoamento;
- Estudar o relevo de Caratinga;
- Visita ao local e a edificações atingidas;
- Pesquisa com moradores a fim de identificar os principais problemas antes e depois da canalização.

O diagnóstico do sistema de drenagem das águas pluviais aplicado no Córrego São João e seus afluentes são possíveis a partir do seguinte pressuposto:

quanto menor a área do canal maior será o escoamento e menor a captação de água pluvial. Levando em consideração os fatores fisiográficos relevantes do problema, como: a área, a forma, a permeabilidade e a capacidade de infiltração, e a topografia da bacia.

Para este trabalho foi definido algumas etapas de acordo com a pesquisa em questão.

No primeiro momento foi realizado uma revisão bibliográfica peculiar aos temas relacionados com a interação do problema dissertado.

Foi realizado ainda, um estudo de caso, com visitas, entrevistas e um levantamento fotográfico, onde as observações das características das áreas em estudo permitirão identificar os problemas a serem diagnosticados, em lugares passíveis a transbordamentos. Dentre os principais pontos para análise destacam-se:

- Rua Generoso Cevidanes, próximo ao número 76 (Conhecida como Rua do Buraco);
- Travessa Jorge Coura Filho, próximo ao número 21 (Conhecida como Trav. Da Conceição);
- Travessa João Coutinho, próximo ao número 47;
- Travessa Coronel Ferreira Santos, próximo ao número 62 (Conhecida como Trav. Da Prefeitura).

A monografia foi dividida em 3 capítulos. No primeiro, intitulado Revisão Bibliográfica foi abordada a contextualização histórica da cidade, relatando as enchentes ocorridas e o processo de canalização. No segundo capítulo, intitulado de O sistema de escoamento pluvial urbano dos córregos São João e seus afluentes, foram apresentados dados bem como toda a memória de cálculo necessário para identificação do uso e caracterização da área de estudo. No terceiro capítulo, nomeado de Considerações Finais será feita a caracterização do local a ser aplicado o projeto e todos os resultados obtidos através das análises dos demais capítulos.

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

De acordo com Saygli (1997), o processo de povoamento da cidade de Caratinga se iniciou quando os colonizadores surgiram na região, em 1573, sobre o comando de Fernandes Tourinho, que partindo de Porto Seguro, na Bahia, o ponto de chegada foi o estado mineiro. Esses bandeirantes encontraram, na região, índios aimorés que vivam às margens do Rio Bugre, que hoje é conhecido como Rio Caratinga/MG. Na época, que no caso seria o século XIX, o pioneirismo Domingos Fernandes Lana, natural de Araponga, pertencente ao município de Viçosa na época, chegou às terras, atualmente caratinguense, junto aos seus aliados, amigos, escravos, serviçais e índios catequizados, com um grande interesse ao cultivo de uma planta, poaia (ipecacuanha), que era abundante na região, além de muito valor comercial que ela possuía, sua raiz tinha um grande potencial, utilizada para chás e remédios. O comerciante entrou pelos sertões nas zonas dos rios Matipó e Sacramento Grande. Através das nascentes do rio Caratinga, chegou ao local, onde se situa hoje a cidade do mesmo nome.

Conforme destacado anteriormente, Saygli (1997), propagando as notícias das riquezas habitadas por índios mansos, na década de 1840, os irmãos João Caetano de Nascimento, João Antônio de Oliveira e João José da Silva, atraídos pela descoberta de novas terras, seguiram para a região com interesse de estabelecerem em definitivo. Abrigando suas famílias em lugares provisórios, foram a procura de conhecimentos das terras exploradas por eles, a procura de lugar apropriado a sua fixação. Os três penetraram na mata e percorreram do vales dos rios Caratinga, Manhuaçu, João Pinto e Cuité, até chegarem ao Rio doce. Após todo esse percurso, abandonaram a zona o vale do Cuité devido ao clima e a febres. Em seguida, se separaram e João Caetano do Nascimento seguiu para a região do rio Preto e Jacutinga. Durante o percurso da sua viagem de regresso, procurou atingir as nascentes dos rios Lages e Preto, fixando de vez em um dos contra fortes da serra que, mais tarde, ficou conhecida por Serra do Jacutinga (homenagem dos indígenas à galinha selvagem que povoava as matas da região).

Então, legitimado como posseiro, passou a ter o seu direito sobre vastas sesmarias. Através dessa autonomia, trouxe parentes e amigos para participarem da exploração das novas terras. Surgiu, assim, a povoação. A partir desse pressuposto, João Caetano do Nascimento deu início ao trabalho de derrubada e preparação da terra para plantio de cereais, frutas e legumes, além de criação de pequenos animais e aves. Em atribuição a ele, em 24 de junho de 1948, o lugar foi elevado à categoria de paróquia e conselho distrital, subordinada à comarca de Mariana; data que ficou conhecida como dia do aniversário de Caratinga (SAYGLI, 1997). O distrito de Caratinga passou a categoria de município em 06 de fevereiro de 1890 pelo Decreto Estadual Dezesesseis, assinado pelo presidente de Minas Gerais, Cesário Alvim.

Saygli (1997) destaque ainda que a forçado crescimento da urbanização foi a instalação da Estrada de Ferro Leopoldina, na década de 1930. Além de trazer muitos recursos, como abertura de ruas, facilitou também, o transporte para as outras regiões. Esta ferrovia foi cabível à cidade até em meados de 1950, período em que também houve um grande desenvolvimento do cultivo do café na região (hoje ocupado nas áreas planálticas da região). Tornou a economia da cidade mais forte e trouxe muitos interessados, como produtores e comerciantes para a região. Na década de 1950, visto que a cidade havia crescendo muito, houve a necessidade de implantar o escritório do Instituto Brasileiro do Café, sendo este um aliado para que a cidade se tornasse um importante polo da cafeicultura.

Além do café ser uma grande potência na economia da região, a cidade apoia-se também na hortifruticultura, que foi preciso ter uma unidade para recarregar os comerciantes da área, Centrais de Abastecimentos de Minas Gerais (CEASA), instalada no município. Com toda essa economia devido às produções do café e hortifruticultura, gerou um grande percentual de emprego direto e indireto. Resultou então, no aumento da população devido ao povo da zona rural deslocasse para a cidade a procura de emprego.

Segundo Saygli (1997), a rodovia BR-116, mais conhecida como Rio-Bahia, iniciou sua construção em 1941 e é, hoje, um grande canal de escoamento do café produzido em Caratinga, ligando-a ao sul e norte do Brasil (Figura 1).

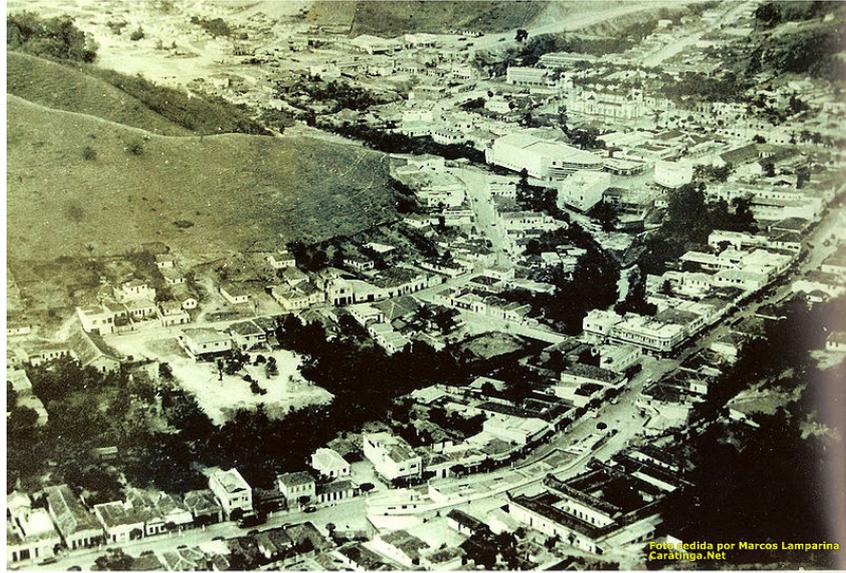


Figura 1–Vista aérea parcial da cidade de Caratinga – MG

Fonte: <http://www.caratinga.net/>

De acordo com Tucci (2000), com a crescente urbanização das cidades, na grande maioria dos municípios brasileiros começaram a apresentar problemas de drenagem urbana devido à má condução ou inexistência dos projetos municipais de infraestrutura. No momento em que uma área rural é transformada em área urbana, são construídas áreas impermeáveis e condutos que alteram o escoamento da água precipitada em direção aos rios.

Como pode observar no contexto anteriormente, o limite entre o campo e a cidade deixou de ser visível e a população do campo vem decrescendo a cada ano, ou seja, o crescimento da urbanização da cidade de Caratinga foi se tornando tão amplo, que, como a maioria das cidades brasileiras, se desenvolveu as margens dos rios e arroios, áreas que hoje seriam consideradas Áreas de Preservação Permanente (APP).

Ainda que os fenômenos hidrológicos mais comuns, como as chuvas e os escoamentos dos rios, possam parecer suficientemente conhecidos, devido à regularidade com que se verificam, basta lembrar os efeitos catastróficos das grandes cheias e estiagens para constatar o inadequado domínio do

Homem sobre as leis naturais que regem aqueles fenômenos e a necessidade de se aprofundar o seu conhecimento¹.

Portanto o povoamento da região começou de forma irregular, e sem planejamento, acarretando uma série de problemas, além da substituição do ambiente natural por um ambiente construído, favorecendo a interferência do ciclo hidrológico no local, tanto pela impermeabilização do solo, quanto da ocupação às margens dos rios, acarretando em problemas referentes à drenagem pluvial do local.

Do volume total de água precipitado sobre o solo, apenas uma parcela escoar sobre a superfície e sucessivamente constitui as enxurradas, os córregos, os ribeirões, os rios e lagos. O restante é interceptado pela cobertura vegetal e depressões do terreno, infiltra e evapora. A proporção entre essas parcelas, a que escoar e a que fica retida ou volta a atmosfera, depende das condições físicas do solo – declividade, tipo da vegetação, impermeabilização, capacidade de infiltrações, depressões².

Caratinga é um município brasileiro no interior do estado de Minas Gerais, pertencente à microrregião homônima e Mesorregião do Vale do Rio Doce, localizando-se a leste da capital do estado, distando desta cerca de 310 km. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Caratinga ocupa uma área de 1.250,874 km², sendo que 9,2568 km² estão em perímetro urbano e os 1.241,6172 km² restantes constituem a zona rural. Sua população em 2000 era de 77.789; em 2006, 82.632; em 2010, 85.322 e em 2015 é estimada em 90.782 habitantes. Uma média de crescimento percentual da população de 7,51%. Sendo então o 37º mais populoso de Minas Gerais e o primeiro de sua microrregião (Figura 2).

¹PINTO, N. L. S. et al. **Hidrologia Básica**. 1ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 1976.

²NETTO, José Martiniano de Azevedo. **Manual de Hidráulica**. 8ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 1998.

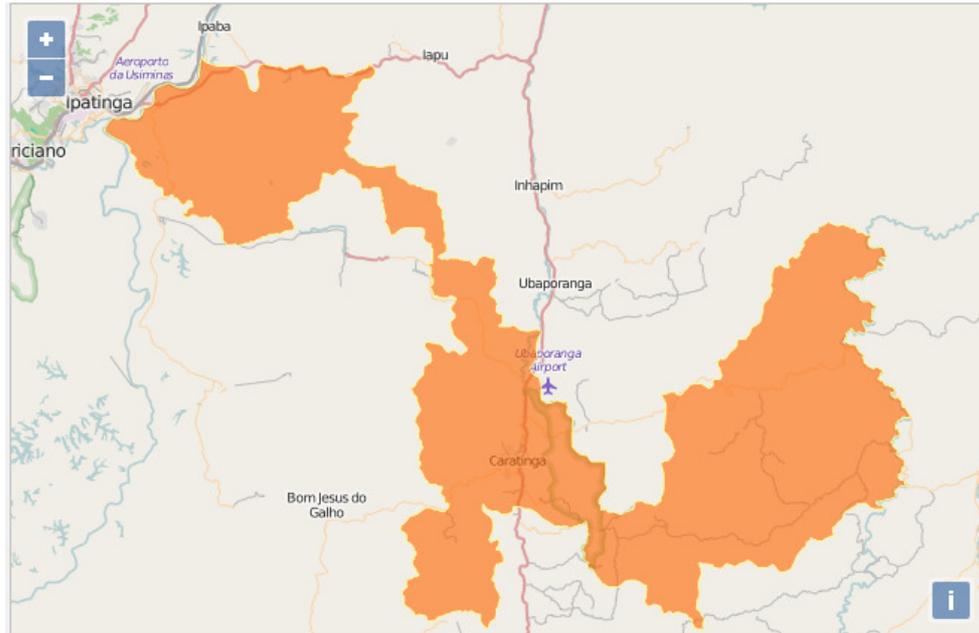


Figura 2 - Infográfico Caratinga - MG

Fonte: <http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=311340&search=7Caratinga>

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o clima da cidade de Caratinga é caracterizado como tropical mesotérmico brando semiúmido, com estação de chuva de outubro a abril e outra seca de maio a setembro.

A sede tem uma temperatura média anual de 21,49 °C, sendo fevereiro o mês mais quente (23,6 °C), e julho o mais frio (17,8 °C) e na vegetação do município predomina a mata atlântica. Outono e primavera são estações de transição. A precipitação média é de aproximadamente 1.050 mm anuais, sendo junho o mês mais seco e janeiro o período mais chuvoso, 214 mm. O tempo aproximado de insolação é de 2.300 horas anuais, e a umidade do ar é relativamente elevada, com médias entre 75 % e 85 %, conforme dados do IBGE.

Segundo análises realizadas no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), nos últimos anos, os dias quentes e secos durante o inverno, tem sido cada vez mais frequentes, agravando a situação climática devido à temperatura elevada, não raro ultrapassando a marca dos 30 °C, especialmente entre julho e setembro. Durante a época das secas e em longos veranicos em pleno período chuvoso também são comuns registros de queimadas em morros e matagais, principalmente da zona rural da cidade, o que contribui com o desmatamento e com o lançamento de poluentes na atmosfera, prejudicando também na qualidade do ar.

De acordo com os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), referentes ao período de 1961 a 1968, 1971 a 1983, 1986 a 1987 e 1991 a 2013, a menor temperatura registrada em Caratinga foi de 1,3 °C em 16 de junho de 1975, e o maior limitou em 38,6 °C em outra estação meteorológica, pertencente à Reserva Feliciano Miguel Abdala.

O maior acúmulo de chuva observado em 24 horas foi de 131,5 mm em 22 de abril de 1977. Outros grandes acumulados foram 119,5 mm em 7 de novembro de 1999, 104,8 mm em 26 de dezembro de 2010, 101,5 mm em 5 de novembro de 2007 e 100,1 mm em 23 de março de 1991. Em um mês, o maior volume de precipitação registrado foi de 496,1 mm em janeiro de 1962, conforme dados do INMET.

1.2 ENCHENTES

Decorrente do crescimento urbano de forma irregular da cidade de Caratinga, com o relevo acidentado, um desmatamento desenfreado, a destruição de nascentes para aumentar as áreas de plantio e a diminuição da infiltração das águas das chuvas com conseqüente aumento do escoamento superficial, o que provoca o aumento dos processos erosivos, resultou em enchentes, as mais recentes que se destacaram devido à proporção do estrago, causado na região, foi no ano de 2003 e novamente em 2004.

Apenas vale lembrar que a água da chuva requer espaço para o escoamento e acumulação. O espaço natural é a várzea do rio e quando esse espaço é ocupado desordenadamente, sem critério que leve em consideração sua destinação natural, ocorrem as inundações. É preciso ter em mente que para conter e diminuir os custos, quer dos prejuízos, quer das obras que visem disciplinar enchentes, são necessários espaços para infiltração, para retenção, para acumulação e para escoamento³.

³NETTO, José Martiniano de Azevedo. **Manual de Hidráulica**. 8ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 1998, p. 543.

Devido o mau uso da ocupação do solo, ou seja, o desmatamento para área de posse e a impermeabilização dos solos, torna-se o lugar danificado propício a problemas como cheias. Quando a cobertura vegetal é retirada, não há resistência ao escoamento e as águas pluviais atingem os rios com maior facilidade e rapidez, contribuindo também com o assoreamento dos rios, pois, se a cobertura vegetal, os sedimentos são carregados pela água e depositados no fundo dos leitos dos rios. Este fato é agravado quando há impermeabilização do solo. Outro fator relevante são as águas acumuladas no leito das ruas e nos perímetros urbanos, por fortes precipitações pluviométricas, conhecida assim, como, drenagem deficiente. As águas são acumuladas ocasionando transtornos nos centros urbanos. Para ter uma drenagem eficiente da localização e distribuição das bocas de lobos é de grande importância, pois darão mais fluxo de saída para a concentração dessas águas, conforme destacado pela COMDEC.

As enchentes ocorridas em 2003 e 2004 destruíram o centro comercial de Caratinga, além de provocar milhares de desabrigados. A última, em menor proporção, aconteceu em março de 1973, após trinta anos vieram os maiores desastres já ocorridos na região.

O desastre foi tão aterrorizante que no ano de 2003 foi considerada a maior enchente já registrada da história, calamidade total (Figura 3). Por volta de 2:00 horas o centro da cidade já estava encoberto pela água. De acordo com a Coordenadoria Municipal de Defesa Civil de Caratinga (COMDEC), a intensidade do desastre foi classificada em nível IV, numa escala que vai até IV e acumulando 200 mm/24h. O rio Caratinga subiu 8 metros do seu leito normal, nenhuma loja da área comercial escapou das forças das águas, mais de trinta carros foram arrastados pela correnteza, pontes e muros foram destruídos, muitas pessoas ficaram ilhadas, sendo socorridas por barcos, alguns estabelecimentos comerciais a água chegou a dois metros de altura, 6.800 pessoas desalojadas, 433 desabrigadas, 86 imóveis ficaram em situação de risco, 80 imóveis destruídos, 13 vias públicas foram interditadas, 38 vias públicas parcialmente destruídas e 446 estabelecimentos comerciais foram atingidos, somando R\$52.000.000,00 de prejuízos para o setor do comércio e 646 ocorrências ocasionadas pela enchente.



Figura 3 - Rua Inácio Tomé, conhecida como “Cantinho do Céu”.

Fonte: <http://defesacivilctgamg.blogspot.com.br>

Já em 2004 o percentual da população atingida foi de 80%. De acordo com a Coordenadoria Municipal de Defesa Civil de Caratinga (COMDEC), a intensidade do desastre foi classificada como grande, nível III, sendo 3.210 pessoas ficaram desalojadas, 16 pessoas ficaram feridas, 02 duas pessoas morreram, 800 estabelecimentos comerciais ficaram destruídos, 18 estabelecimentos industriais atingidos, 2 km de estradas rurais foram totalmente destruídas, 245 km de estradas rurais danificadas e 77 danos materiais (residências, área da saúde, escolas e etc), conforme figura 4.



Figura 4 - Rua Cel Antônio da Silva - Armazém do I.B.C

Fonte: <http://defesacivilctgamg.blogspot.com.br>

1.3 CANALIZAÇÃO

De acordo com Polignano (2010), o conjunto de modificações no leito e no trajeto de rios, ribeirões e córregos é denominado canalização. Na canalização o leito ou a calha do rio é coberta por uma superfície dura ou impermeável, geralmente concreto para moldar o leito.

A canalização pode evitar que ocorram inundações na área em que o rio foi canalizado, porém nas áreas à jusante, ou seja, para baixo, no sentido para onde o rio corre a inundação provavelmente será maior já que no trecho em que o rio foi canalizado sua velocidade aumentou (POLIGNANO, 2010).

Atualmente existem diversos tipos de canalização ou galeria. Há um tempo as canalizações eram moldadas no local. As empresas solicitadas faziam todo o processo, escavava, nivelava o leito, montava as fôrmas e concretava. Devido à criação das normas técnicas para as peças industrializadas em 2006 e garantias

industriais, o mercado impulsionou e ganhou confiança, hoje os trabalhos são executados com galerias pré-fabricadas. Elas são pré-fabricadas de concreto armado, são produzidas em processos industriais e chegam quase prontas na área de execução do trabalho. Suas principais vantagens seria o ganho de tempo, qualidade e durabilidade na implantação de uma rede.

Conforme destacado por Polignano (2010), os tipos de peças mais usadas numa canalização são: os tubos circulares ou ovóides e as aduelas. Aduela, também conhecida de galerias celulares, tem um perfil retangular ou quadrada e em seção fechada ou aberta, sendo o canal em U ou L. A utilização de qual perfil ou peça será usada vai depender da dimensão da obra.

O revestimento das margens dos canais, córregos e rios tem a função de conter a terra, trazendo mais segurança e evitando que aconteça assoreamento, processo de erosão por intempéries e pela ação fluvial ao longo do tempo, com o objetivo de manter o curso d'água estável.

De uma forma mais nítida, a canalização foi feita para direcionar os cursos d'água, trazendo para aos municípios comodidade, decorrente de ampliação das vias de transportes e os loteamentos a serem construídos, podendo supostamente proporcionar até o controle das cheias, do esgoto e do excesso de lixo. Nos últimos tempos muitos dos cursos d'água que cortam grandes centros urbanos foram alterados em grandes canais revestidos por materiais resistentes, como pedra e concreto (POLIGNANO, 2010).

Porém, a canalização, no intuito de trazer comodidade aos municípios devido a sua ampliação de uma forma geral, acaba gerando alguns impactos ambientais. Essa medida estabelecida ignora as características naturais, pois ela, nada mais é, que uma máscara para os problemas urbanos, ou melhor, é o esgoto que deve ser canalizado e não os córregos e rios.

As águas pluviais ocorrem periodicamente; não havendo sistemas de canalizações para recebê-las, escoam pelas sarjetas até os cursos d'água que porventura existam no centro urbano. O escoamento superficial e o lançamento direto, na maioria das vezes, não criam problemas de saúde pública, podendo-se deixar a construção das galerias de águas pluviais, para uma segunda fase, quando se tratar não mais de problemas ligados à própria salubridade da área urbana, mas, sim, relacionados ao conforto dos habitantes e à economia e conservação das ruas⁴.

⁴GARCEZ, Lucas Nogueira. **Elementos de Engenharia Hidráulica e Sanitária**. 2ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 1976, p.127.

Muitos cursos d'água, na verdade, só são lembrados ao transbordarem, quando o volume de água e lixo ultrapassa as suas galerias, e, sabendo que, as limpezas nessas áreas são bem complicadas devido ao grande risco, além da pouca segurança, pois o acesso é bem complicado.

Com a substituição das áreas verdes das margens por concreto e asfalto observa-se que, o problema mais grave estabelecido pela canalização é o fato dela comprometer a relação entre homem e natureza (POLIGNANO, 2010).

2. O SISTEMA DE ESCOAMENTO PLUVIAL URBANO DOS CÓRREGOS SÃO JOÃO E SEUS AFLUENTES

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Com todas as informações absorvidas no capítulo anterior, teremos os córregos São João, Sales, Santa Cruz, que passaram pelo processo de canalização, com investimentos de mais de R\$ 46.410.000,00, segundo a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA - MG).

A execução da canalização dos córregos São João, Sales e Santa Cruz foi construído através do processo de peças pré-fabricadas (aduelas em forma de U), conforme figura 5.

Segundo o prefeito de Caratinga/MG Marco Antônio Junqueira, um dos principais compromissos da Gestão 2013-2016 é com a Saúde Pública. A canalização ocorrida nos córregos teve como foco, a organização do fluxo d'água, ou melhor, um impacto positivo, resultando em um aspecto visual melhorado, a redução significativa do mau cheiro e de doenças de veiculação hídrica ou ligadas à qualidade do ar na cidade.



Figura 5 - Antes e Depois da Canalização

Fonte: http://www.caratinga.mg.gov.br/mat_vis.aspx?cd=6933

As obras de canalização visaram corrigir os problemas presentes no cotidiano dos moradores vizinhos dos córregos, quanto ao mau cheiro, doenças, enfim, desconforto perante a situação que o rio se encontrava. Porém, o que era um desconforto aos moradores vizinhos do problema, após a canalização tornou-se um pesadelo.

A enchente tomou conta da Rua Generoso Cevidanes, próximo ao número 76 (Conhecida como Rua do Buraco); Travessa Jorge Coura Filho, próximo ao número 21 (Conhecida como Trav. Da Conceição); Travessa João Coutinho, próximo ao número 47; Travessa Coronel Ferreira Santos, próximo ao número 62 (Conhecida como Trav. Da Prefeitura).

O alvo principal do problema, ou seja, a área mais alarmante foi a Rua Generoso Cevidanes, próximo ao número 76 (Conhecida como Rua do Buraco), a enchente levou o que tinha pela frente. Moradores perderam bens materiais, outros ficaram desabrigados, além de doenças devido ao contato direto com água da enchente. A área afetada pelas cheias ficou em estado de calamidade, momento de desespero para muitos que viviam diante do problema.

Aparentemente as obras seguiram a especificação da ABNT NBR 15645:2008, conforme é exigido. Esta norma segue os parâmetros de execução de obras de esgotamento sanitários e drenagem de águas pluviais com tubos pré-fabricados de concreto, sendo aplicável às redes de drenagem pluvial, coletores, interceptores e emissários de esgoto sanitário, que trabalhem sem pressão interna e cujo líquido conduzido seja a água de chuva, esgotos domésticos ou afluentes industriais. Porém, deixou a desejar em alguns pontos específicos na hora da execução, ocasionando estrangulamento nas caixas (Figura 6).



Figura 6 - Trecho do canal da rua Generoso Cevidanes

Fonte: Acervo dos autores

2.2 CARACTERIZAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES LOCALIZADAS NOS PONTOS DE ESTUDO

Foram aplicados 50 (cinquenta) questionários, e todos os moradores procurados se disponibilizaram a responder.

Os resultados apresentados mostram que apenas 22% dos imóveis (residenciais e comerciais), são alugados (Figura 7). Quanto aos imóveis próprios, estes são 78% (residenciais e comerciais). Podemos observar que a maior parte dos imóveis são residenciais, tal fato se explica devido à localização das ruas, sendo assim o risco de vidas aumenta.

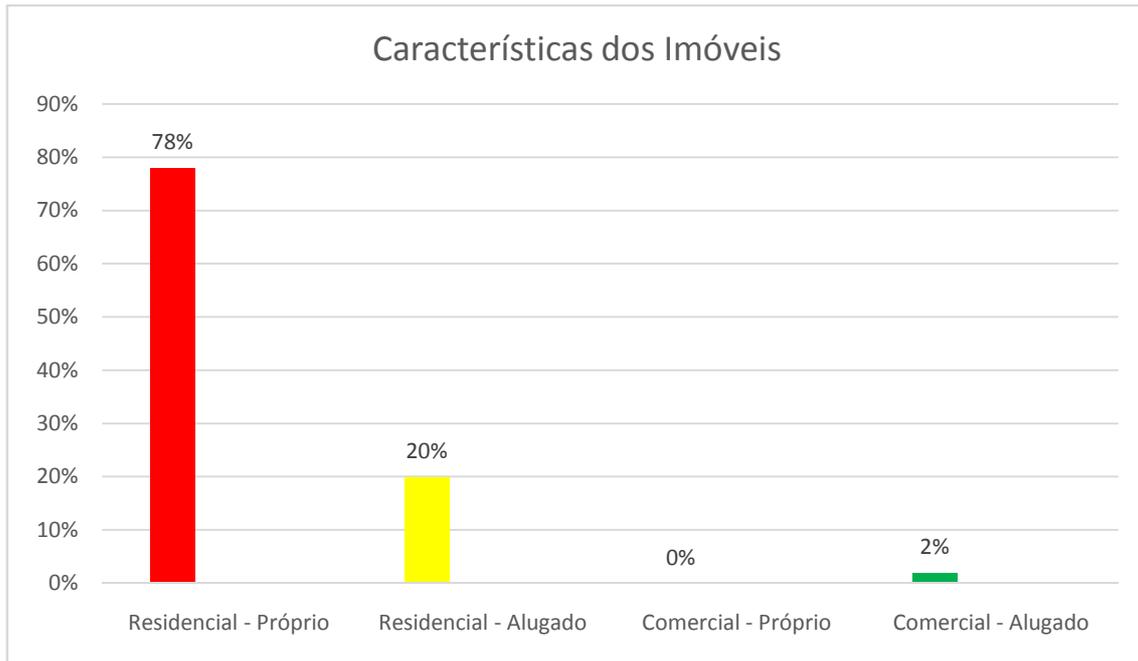


Figura 7 - Características dos imóveis da área de estudo no 2º semestre de 2015

Fonte: Autores

Observou-se que a ocupação nessas áreas tem registros a partir do ano de 1940 a 1964. Considerando que a primeira versão do Código Florestal é datada do ano de 1934, entende-se que muitas construções estão de forma irregular, em áreas próximas ao rio, sem respeitar a distância exigida.

Mais de 80% da população reside a mais de 20 anos em suas casas. Isso se deve ao fato dos imóveis serem próprios e mesmo se tratando de algumas áreas de riscos, a rotatividade é quase nula.

Através dessas informações, com o tempo em que residem nessas áreas, questionamos a respeito de inundações em períodos chuvosos antes e após a canalização (Figuras 8 e 9).

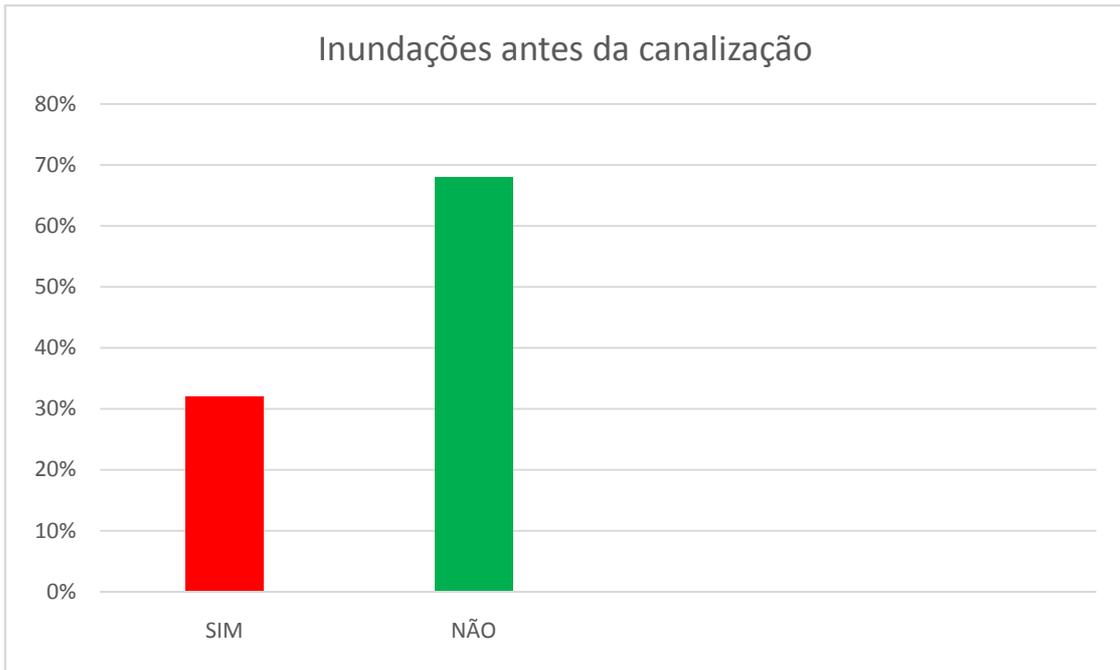


Figura 8 - Índice de inundações antes da canalização

Fonte: Autores

Verificou-se que antes da canalização as inundações não aconteciam, em algumas pontes havia inundações, mas não atingia as casas, apenas as vias públicas. Os problemas dos córregos era mau cheiro e outros desconfortos.

Após a canalização, alguns pontos que nunca foram atingidos, houve inundações, outros, a situação se agravou, subindo o nível da água dentro das casas. Conforme podemos observar no gráfico, o número de residências inundadas dobrou.

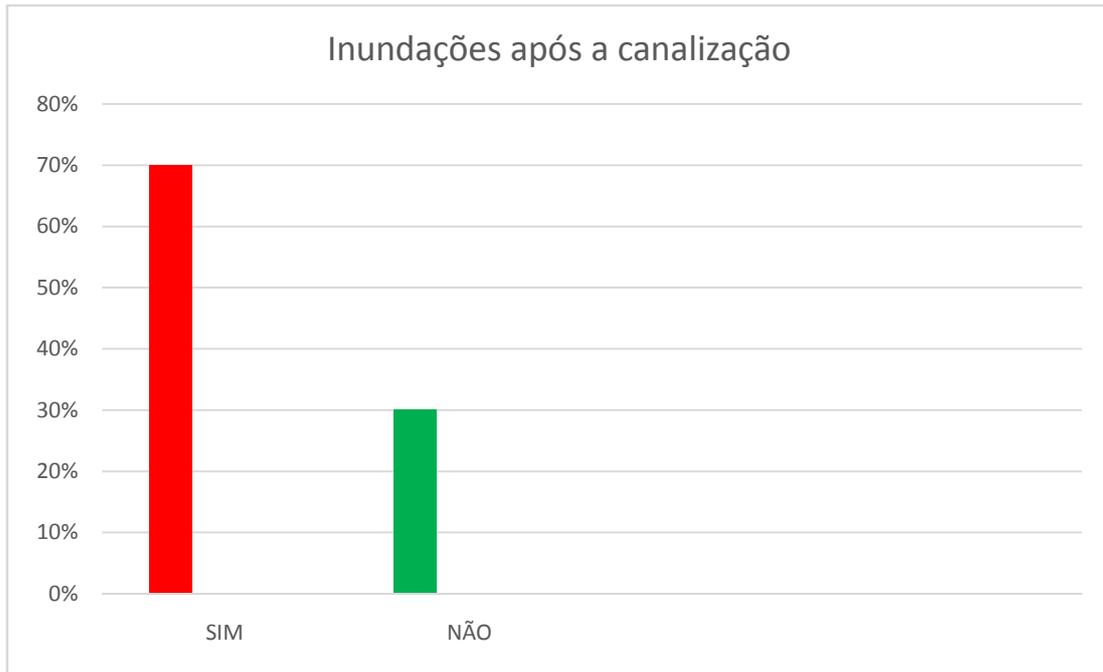


Figura 9 - Índice de inundações após a canalização

Fonte: Autores

2.3 IDENTIFICAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

No período de chuva, as águas pluviais são conduzidas pelo canal aberto impermeável. A jusante segue percurso do córrego Santa Cruz, Sales, São João, desaguardo no Rio Caratinga. Durante o percurso das cheias certos trechos são estrangulados, ocasionando o transbordamento das mesmas. No caso do trecho da Rua Generoso Cevidanes, próximo ao número 76 (Conhecida como Rua do Buraco), além do canal ser dimensionado de forma bem estreita, perde na altura ao chegar à ponte devido a uma laje de 35 centímetros (Figura 10). Os outros trechos, Travessa Jorge Coura Filho, próximo ao número 21 (Conhecida como Trav. Da Conceição); Travessa João Coutinho, próximo ao número 47; Travessa Coronel Ferreira Santos, próximo ao número 62 (Conhecida como Trav. Da Prefeitura), o grande problema do estrangulamento também é a perda na altura do canal ao chegar na ponte, porém, são devido as vigas longitudinais em relação a ponte de 50 centímetros (Figura 11). Deixando claro que a imagem da figura 11 (Travessa Jorge Coura Filho, próximo ao

número 21) serve de exemplo para os demais trechos subsequentes, no caso, Travessa João Coutinho, próximo ao número 47; Travessa Coronel Ferreira Santos, próximo ao número 62, pois o dimensionamento são similares.

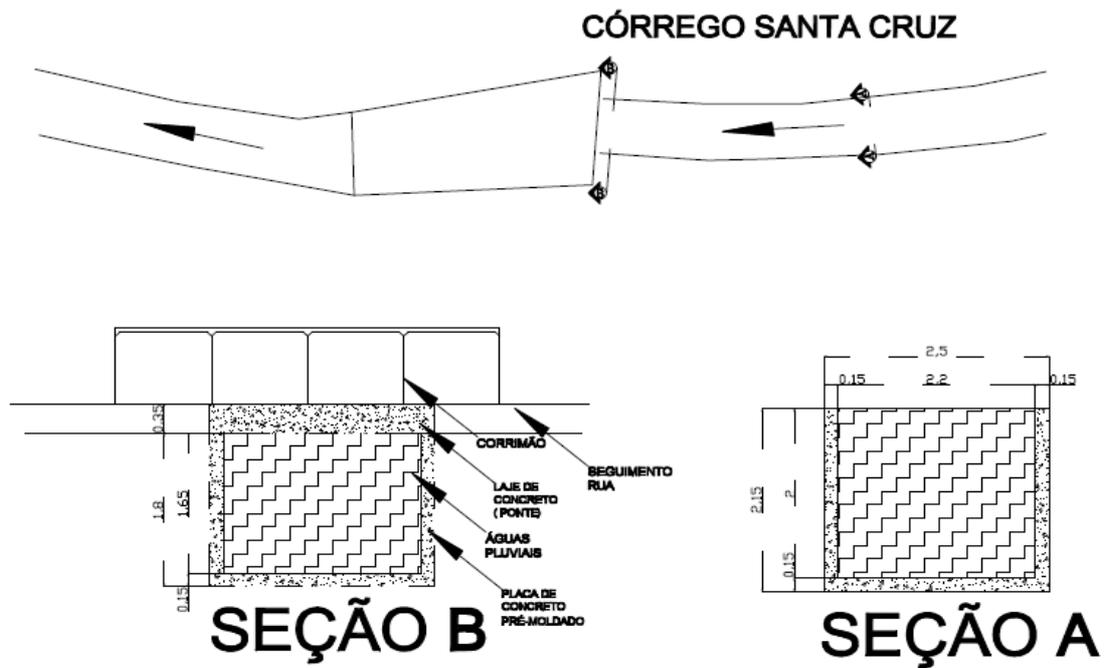


Figura 10 - Trecho Rua Generoso Cevidanes

Fonte: Autores

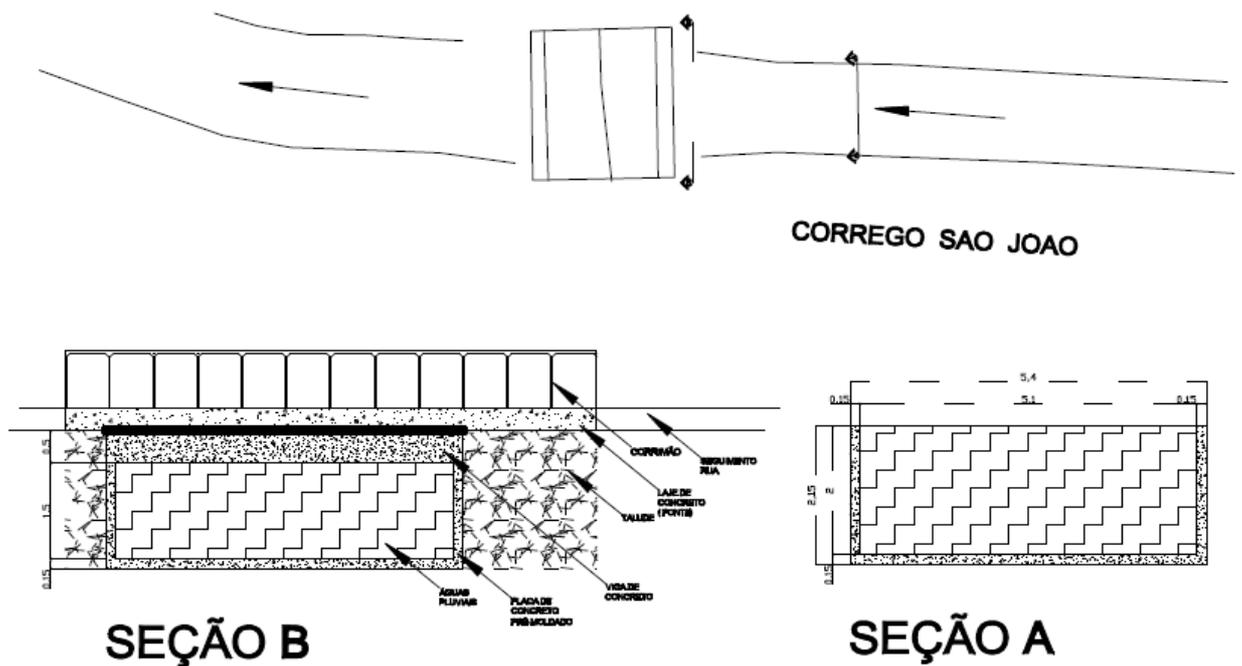


Figura 11 - Trecho Trav. Jorge Coura Filho

Fonte: Autores

Como observado nas imagens acima, os problemas decorrentes dos obstáculos são bem nítidos. O corte feito dos canais foi projetado em uma distância de 10 metros antes da ponte. Distância considerada para ter como base a vazão no canal e a vazão na caixa (abaixo da ponte).

2.4 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO DOS CÓRREGOS

Por meio do levantamento topográfico coletamos informações suficientes do terreno a ser trabalhado, tais como: declividade do terreno, área, entre outras informações precisas. É feita a marcação do terreno e através dos dados obtidos irá compor relatório e planta da área.

Para termos uma melhor análise dos córregos diagnosticados, fizemos o levantamento topográfico dos trechos problemáticos, exceto a Travessa João Coutinho, próximo ao número 47; Travessa Coronel Ferreira Santos, próximo ao número 62, pois o dimensionamento e a declividade são similares ao da Travessa Jorge Coura Filho, próximo ao número 21, e para estudo de caso não seria conveniente. Ressaltando que, fizemos o levantamento dos trechos mais prejudicados, conforme apresentamos nos Anexos 3 e 4.

Através dos dados absorvidos do levantamento topográfico os cálculos precisos serão realizados, para compreender de fato o problema que tem ocorrido na época das cheias e mostrar através das contas se é viável o estudo de caso.

2.5 MEMORIAL DE CÁLCULO

Existem três tipos básicos de canais: canais revestidos, canais não revestidos e canais gramado. No nosso caso seriam os canais revestidos. O escoamento em galerias ou em condutos livres deve ser calculado pela fórmula de Manning. Através dessa fórmula calculamos a velocidade e uma vez que já temos o comprimento da galeria obteremos o tempo de escoamento da água de chuva também conhecida de trânsito (TravelTime). Essa fórmula experimental elaborada em 1891 pelo engenheiro irlandês R. Manning (1816-1897) é a mais conhecida para o dimensionamento de condutos livres usada no Brasil e nos Estados Unidos e demais países de línguas estrangeiras.

Então, para obtenção dos cálculos é através da fórmula de Manning (Equação 1):

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}$$

Onde:

V= velocidade média na seção (m/s);

n= coeficiente de Manning tem as dimensões TL $-1/3$;

R= raio hidráulico (m). O raio hidráulico é o quociente entre a área molhada e o perímetro molhado;

S= declividade (m/m). A inicial “S” vem da palavra inglesa Slope que quer dizer declividade

Ou através da Fórmula usado na Europa Manning-Strickler, conforme Lencastre, 1983 (Equação 2):

$$V = Ks \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Sendo, $Ks = \frac{1}{n}$, pois o Ks é o inverso do “n”.

Para melhor análise e obtenção dos dados, através de tabelastemos os coeficientes de rugosidade “Ks” (coeficiente, Fórmula de Manning-Strickler), tabela 8; ou “n” (coeficiente, Fórmula de Manning), tabela 9.

Valores do coeficiente de rugosidade, $K(m^{\frac{1}{3}} \cdot s^{-1})$ da fórmula de Strickler

Tabela 1- Coeficientes de Rugosidades para canais

| Natureza do leito | K |
|-------------------|----|
| Betão | |
| Liso | 75 |
| Rugoso | 59 |
| Terra | |
| Muito regular | 60 |
| Irregular | 45 |

| | |
|-------------------------|----|
| Irregular com vegetação | 35 |
| Alvenaria | |
| Cascalho Cimentado | 40 |
| Cascalho | 31 |
| Asfalto | |
| Liso | 77 |
| Rugoso | 63 |

Fonte: http://www.deg.ufla.br/professores/jacinto_carvalho/eng191/tabelas.pdf

Tabela 2 - Coeficiente de rugosidade de Manning

| Natureza das paredes | Condições | | | |
|---------------------------------------------|-----------|-------|---------|-------|
| | Muito Boa | Boa | Regular | Má |
| Alvenaria de pedra argamassada | 0,017 | 0,02 | 0,025 | 0,03 |
| Alvenaria de pedra aparelhada | 0,013 | 0,014 | 0,015 | 0,017 |
| Alvenaria de pedra seca | 0,025 | 0,033 | 0,033 | 0,035 |
| Alvenaria de tijolos | 0,012 | 0,013 | 0,015 | 0,017 |
| Calhas metálicas lisas (semicirculares) | 0,011 | 0,012 | 0,013 | 0,015 |
| Canais abertos em rocha (irregular) | 0,035 | 0,04 | 0,045 | ** |
| Canais c/ fundo em terra e talude c/ pedras | 0,028 | 0,03 | 0,033 | 0,035 |
| Canais c/ leito pedregoso e talude vegetado | 0,025 | 0,03 | 0,035 | 0,04 |
| Canais com revestimento de concreto | 0,012 | 0,014 | 0,016 | 0,018 |
| Canais de terra (retilíneos e uniformes) | 0,017 | 0,02 | 0,023 | 0,025 |
| Canais dragados | 0,025 | 0,028 | 0,03 | 0,033 |
| Condutos de barro (drenagem) | 0,011 | 0,012 | 0,014 | 0,017 |
| Condutos de barro vitrificado (esgoto) | 0,011 | 0,013 | 0,015 | 0,017 |
| Condutos de prancha de madeira aplainada | 0,01 | 0,012 | 0,013 | 0,014 |
| Gabião | 0,022 | 0,03 | 0,035 | ** |
| Superfícies de argamassa de cimento | 0,011 | 0,012 | 0,013 | 0,015 |
| Superfícies de cimento alisado | 0,01 | 0,011 | 0,012 | 0,013 |
| Tubo de ferro fundido revestido c/ alcatrão | 0,011 | 0,012 | 0,013 | ** |
| Tubo de ferro fundido sem revestimento | 0,012 | 0,013 | 0,014 | 0,015 |
| Tubos de bronze ou de vidro | 0,009 | 0,01 | 0,011 | 0,013 |

| | | | | |
|------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Tubos de concreto | 0,012 | 0,013 | 0,015 | 0,016 |
| Tubos de ferro galvanizado | 0,013 | 0,014 | 0,015 | 0,017 |
| Córregos e rios limpos, retilíneos e uniformes | 0,025 | 0,028 | 0,03 | 0,033 |
| Igual anterior porém c/ pedras e vegetação | 0,03 | 0,033 | 0,035 | 0,04 |
| Com meandros e poços, limpos | 0,035 | 0,04 | 0,045 | 0,05 |
| Margens espaiadas, pouca vegetação | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 |
| Margens espaiadas, muita vegetação | 0,075 | 0,1 | 0,125 | 0,15 |

Fonte: http://www.deg.ufla.br/professores/jacinto_carvalho/eng191/tabelas.pdf

O raio hidráulico do nosso canal é feito através da divisão (Equação 3):

$$Rh = \frac{(\text{área molhada } m^2)}{(\text{perímetro molhado } m)}$$

Para fins de cálculos, foram coletadas medidas absorvidas do levantamento topográfico em uma distância limitada de 30 metros antes e 30 metros depois da ponte dos trechos prejudicados, com intervalos de 10 metros em 10 metros para coleta de medidas e execução do cálculo. Distância viável para coletas de dados.

O coeficiente de rugosidade do nosso canal que vamos usar, $K_s = 75$, tabela 8, pois o nosso conduto é construído de concreto (português brasileiro) ou betão (português europeu) e é liso, para a fórmula de Manning-Strickler. Ou o coeficiente de rugosidade $n = 0,013$, tabela 9, canais com revestimento de concreto (natureza das paredes), condições entre muito boa e boa, para a fórmula de Manning.

Iniciando a elaboração dos cálculos no trecho da Rua Generoso Cevidanes, próximo ao número 76 (Conhecida como Rua do Buraco), temos as seguintes medidas:

A. Antes da ponte:

- Intervalo de 10 metros (30 metros):

$$V = K_s \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

$K_s = 75$

Área molhada = $2,00 \cdot 2,20 = 4,40 \text{ m}^2$

$$\text{Perímetro molhado} = 2 \cdot (2,00) + 2,20 = 6,20 \text{ m}$$

$$Rh = \frac{(4,40 \text{ m}^2)}{(6,20 \text{ m})} = 0,72 \text{ m}$$

$$S = 0,06 \text{ m/m}$$

$$V = 75 \cdot 0,72^{\frac{2}{3}} \cdot 0,06^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 14,76 \text{ m/s}$$

$$Q = A \cdot V$$

$$Q = 4,40 \cdot 14,76$$

$$Q = 64,94 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Intervalo de 10 metros (20 metros):

$$V = Ks \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

$$Ks = 75$$

$$\text{Área molhada} = 2,00 \cdot 2,20 = 4,40 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro molhado} = 2 \cdot (2,00) + 2,20 = 6,20 \text{ m}$$

$$Rh = \frac{(4,40 \text{ m}^2)}{(6,20 \text{ m})} = 0,72 \text{ m}$$

$$S = 0,013 \text{ m/m}$$

$$V = 75 \cdot 0,72^{\frac{2}{3}} \cdot 0,013^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 6,87 \text{ m/s}$$

$$Q = A \cdot V$$

$$Q = 4,40 \cdot 6,87$$

$$Q = 30,23 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Intervalo de 10 metros (10 metros):

$$V = Ks \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

$$Ks = 75$$

$$\text{Área molhada} = 2,00 \cdot 2,20 = 4,40 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro molhado} = 2 \cdot (2,00) + 2,20 = 6,20 \text{ m}$$

$$Rh = \frac{(4,40 \text{ m}^2)}{(6,20 \text{ m})} = 0,72 \text{ m}$$

$$S = 0,017 \text{ m/m}$$

$$V = 75 \cdot 0,72^{\frac{2}{3}} \cdot 0,017^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 7,85 \text{ m/s}$$

$$Q = A \cdot V$$

$$Q = 4,40 \cdot 7,85$$

$$Q = 34,54 \text{ m}^3/\text{s}$$

B. Ponte:

$$V = Ks \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

$$Ks = 75$$

$$\text{Área molhada} = 1,65 \cdot 2,20 = 3,63 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro molhado} = 2 \cdot (1,65) + 2,20 = 5,50 \text{ m}$$

$$Rh = \frac{(3,63 \text{ m}^2)}{(5,50 \text{ m})} = 0,66 \text{ m}$$

$$S = 0,012 \text{ m/m}$$

$$V = 75 \cdot 0,66^{\frac{2}{3}} \cdot 0,012^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 6,23 \text{ m/s}$$

$$Q = A \cdot V$$

$$Q = 4,40 \cdot 6,23$$

$$Q = 27,41 \text{ m}^3/\text{s}$$

C. Depois da ponte:

- Intervalo de 10 metros (10 metros):

$$V = Ks \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

$$Ks = 75$$

$$\text{Área molhada} = 2,00 \cdot 2,20 = 4,40 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro molhado} = 2 \cdot (2,00) + 2,20 = 6,20 \text{ m}$$

$$Rh = \frac{(4,40 \text{ m}^2)}{(6,20 \text{ m})} = 0,72 \text{ m}$$

$$S = 0,007 \text{ m/m}$$

$$V = 75 \cdot 0,72^{\frac{2}{3}} \cdot 0,007^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 5,04 \text{ m/s}$$

$$Q = A \cdot V$$

$$Q = 4,40 \cdot 5,04$$

$$Q = 22,18 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Intervalo de 10 metros (20 metros):

$$V = Ks \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

$$Ks = 75$$

$$\text{Área molhada} = 2,00 \cdot 2,20 = 4,40 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro molhado} = 2 \cdot (2,00) + 2,20 = 6,20 \text{ m}$$

$$Rh = \frac{(4,40 \text{ m}^2)}{(6,20 \text{ m})} = 0,72 \text{ m}$$

$$S = 0,003 \text{ m/m}$$

$$V = 75 \cdot 0,72^{\frac{2}{3}} \cdot 0,003^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 3,30 \text{ m/s}$$

$$Q = A \cdot V$$

$$Q = 4,40 \cdot 3,30$$

$$Q = 14,52 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Intervalo de 10 metros (30 metros):

$$V = Ks \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

$$Ks = 75$$

$$\text{Área molhada} = 2,00 \cdot 2,20 = 4,40 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro molhado} = 2 \cdot (2,00) + 2,20 = 6,20 \text{ m}$$

$$Rh = \frac{(4,40 \text{ m}^2)}{(6,20 \text{ m})} = 0,72 \text{ m}$$

$$S = 0,003 \text{ m/m}$$

$$V = 75 \cdot 0,72^{\frac{2}{3}} \cdot 0,003^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 3,30 \text{ m/s} \quad Q = A \cdot V$$

$$Q = 4,40 \cdot 3,30$$

$$Q = 14,52 \text{ m}^3/\text{s}$$

Através dos cálculos executados podemos chegar à conclusão que a vazão antes da ponte é maior, ao chegar à ponte a vazão tem uma redução de 20,64%, ou seja, uma diferença de 7,13 mil litros de água (Tabela 3).

Tabela 3 - Resultados do trecho: Rua Generoso Cevidanes

| CANAL | TRECHO | ALTURA (m) | Ks | V (m/s) | Área Mol. | Perímetro Mol. | Rh | S (m/m) | Q (m ³ /s) |
|-------------------------------------------|-----------------|------------|----|---------|---------------------|----------------|--------|---------|-----------------------|
| Rua Generoso Cevidanes (Rua do Buraco) | Antes da Ponte | 30 | 75 | 14,76 | 4,40 m ² | 6,20 m | 0,72 m | 0,06 | 64,94 |
| | | 20 | 75 | 6,87 | 4,40 m ² | 6,20 m | 0,72 m | 0,013 | 30,23 |
| | | 10 | 75 | 7,85 | 4,40 m ² | 6,20 m | 0,72 m | 0,017 | 34,54 |
| | Ponte | ** | 75 | 6,23 | 3,63 m ² | 5,50 m | 0,66 m | 0,012 | 27,41 |
| | Depois da Ponte | 10 | 75 | 5,04 | 4,40 m ² | 6,20 m | 0,72 m | 0,007 | 22,18 |
| | | 20 | 75 | 3,30 | 4,40 m ² | 6,20 m | 0,72 m | 0,003 | 14,52 |
| | | 30 | 75 | 3,30 | 4,40 m ² | 6,20 m | 0,72 m | 0,003 | 14,52 |

Fonte: Autores

Elaboração dos cálculos no trecho da Travessa Jorge Coura Filho, próximo ao número 21 (Conhecida como Trav. Da Conceição). Tem-se as seguintes medidas:

D. Antes da ponte:

- Intervalo de 10 metros (30 metros):

$$V = Ks \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

$$Ks = 75$$

$$\text{Área molhada} = 2,00 \cdot 5,10 = 10,20 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro molhado} = 2 \cdot (2,00) + 5,10 = 9,10 \text{ m}$$

$$Rh = \frac{10,20 \text{ m}^2}{(9,10 \text{ m})} = 1,12 \text{ m}$$

$$S = 0,00 \text{ m/m}$$

$$V = 75 \cdot 1,12^{\frac{2}{3}} \cdot 0,00^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 0,00 \text{ m/s}$$

$$Q = A \cdot V$$

$$Q = 10,20 \cdot 0,00$$

$$Q = 0,00 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Intervalo de 10 metros (20 metros):

$$V = Ks \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

$$Ks = 75$$

$$\text{Área molhada} = 2,00 \cdot 5,10 = 10,20 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro molhado} = 2 \cdot (2,00) + 5,10 = 9,10 \text{ m}$$

$$Rh = \frac{10,20 \text{ m}^2}{(9,10 \text{ m})} = 1,12 \text{ m}$$

$$S = 0,007 \text{ m/m}$$

$$V = 75 \cdot 1,12^{\frac{2}{3}} \cdot 0,007^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 6,77 \text{ m/s}$$

$$Q = A \cdot V$$

$$Q = 10,20 \cdot 6,77$$

$$Q = 69,05 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Intervalo de 10 metros (10 metros):

$$V = Ks \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

$$Ks = 75$$

$$\text{Área molhada} = 2,00 \cdot 5,10 = 10,20 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro molhado} = 2.(2,00) + 5,10 = 9,10 \text{ m}$$

$$Rh = \frac{10,20 \text{ m}^2}{(9,10 \text{ m})} = 1,12 \text{ m}$$

$$S = 0,004 \text{ m/m}$$

$$V = 75.1,12^{\frac{2}{3}}.0,004^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 5,11 \text{ m/s}$$

$$Q = A. V$$

$$Q = 10,20. 5,11$$

$$Q = 52,12 \text{ m}^3/\text{s}$$

E. Ponte:

$$V = Ks. R^{\frac{2}{3}}. S^{\frac{1}{2}}$$

$$Ks = 75$$

$$\text{Área molhada} = 1,5.5,10 = 7,65 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro molhado} = 2. (1,5) + 5,10 = 8,10 \text{ m}$$

$$Rh = \frac{7,65 \text{ m}^2}{8,10 \text{ m}} = 0,94 \text{ m}$$

$$S = 0,002 \text{ m/m}$$

$$V = 75.0,94^{\frac{2}{3}}.0,002^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 3,22 \text{ m/s}$$

$$Q = A. V$$

$$Q = 10,20. 3,22$$

$$Q = 32,84 \text{ m}^3/\text{s}$$

F. Depois da ponte:

- Intervalo de 10 metros (10 metros):

$$V = Ks. R^{\frac{2}{3}}. S^{\frac{1}{2}}$$

$$Ks = 75$$

$$\text{Área molhada} = 2,00.5,10 = 10,20 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro molhado} = 2 \cdot (2,00) + 5,10 = 9,10 \text{ m}$$

$$Rh = \frac{10,92 \text{ m}^2}{9,10 \text{ m}} = 1,12 \text{ m}$$

$$S = 0,005 \text{ m/m}$$

$$V = 75 \cdot 1,12^{\frac{2}{3}} \cdot 0,005^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 5,72 \text{ m/s}$$

$$Q = A \cdot V$$

$$Q = 10,20 \cdot 5,72$$

$$Q = 58,34 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Intervalo de 10 metros (20 metros):

$$V = Ks \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

$$Ks = 75$$

$$\text{Área molhada} = 2,00 \cdot 5,10 = 10,20 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro molhado} = 2 \cdot (2,00) + 5,10 = 9,10 \text{ m}$$

$$Rh = \frac{10,92 \text{ m}^2}{9,10 \text{ m}} = 1,12 \text{ m}$$

$$S = 0,003 \text{ m/m}$$

$$V = 75 \cdot 1,12^{\frac{2}{3}} \cdot 0,003^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 4,43 \text{ m/s}$$

$$Q = A \cdot V$$

$$Q = 10,20 \cdot 4,43$$

$$Q = 45,19 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Intervalo de 10 metros (30 metros):

$$V = Ks \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

$$Ks = 75$$

$$\text{Área molhada} = 2,00 \cdot 5,10 = 10,20 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro molhado} = 2 \cdot (2,00) + 5,10 = 9,10 \text{ m}$$

$$Rh = \frac{10,92 \text{ m}^2}{9,10 \text{ m}} = 1,12 \text{ m}$$

$$S = 0,005 \text{ m/m}$$

$$V = 75 \cdot 1,12^{\frac{2}{3}} \cdot 0,005^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 5,72 \text{ m/s}$$

$$Q = A \cdot V$$

$$Q = 10,20 \cdot 5,72$$

$$Q = 58,34 \text{ m}^3/\text{s}$$

Através dos cálculos executados podemos chegar à conclusão que a vazão antes da ponte é maior, ao chegar à ponte a vazão tem uma redução de 36,99 %, ou seja, uma diferença de 19,28 mil litros de água (Tabela 4).

Tabela 4 - Resultados do trecho: Trav. Jorge Coura Filho

| CANAL | TRECHO | ALTURA (m) | Ks | V (m/s) | Área Mol. | Perímetro Mol | Rh (m) | S (m/m) | Q (m ³ /s) |
|-------------------------------------------------|-----------------|------------|----|---------|----------------------|---------------|--------|---------|-----------------------|
| Trav. Jorge Coura Filho (Trav. Da Conceição) | Antes da Ponte | 30 | 75 | 0,00 | 10,20 m ² | 9,10 m | 1,12 | 0,00 | 0,00 |
| | | 20 | 75 | 6,77 | 10,20 m ² | 9,10 m | 1,12 | 0,007 | 69,05 |
| | | 10 | 75 | 5,11 | 10,20 m ² | 9,10 m | 1,12 | 0,004 | 52,12 |
| | Ponte | ** | 75 | 3,22 | 7,65 m ² | 8,10 m | 0,94 | 0,002 | 32,84 |
| | Depois da Ponte | 10 | 75 | 5,72 | 10,20 m ² | 9,10 m | 1,12 | 0,005 | 58,34 |
| | | 20 | 75 | 4,43 | 10,20 m ² | 9,10 m | 1,12 | 0,003 | 45,19 |
| | | 30 | 75 | 5,72 | 10,20 m ² | 9,10 m | 1,12 | 0,005 | 58,34 |

Fonte: Autores

Observamos nos cálculos dos trechos então que, a perda na altura do canal realmente influencia na vazão, resultando no transbordamento.

Então, para que vejamos se é viável resolver esse problema sem alteração na altura das pontes, veremos através de outros cálculos se há solução.

Cálculos para o rebaixamento do canal, Rua Generoso Cevidanes, próximo ao número 76 (Conhecida como Rua do Buraco):

Altura rebaixada: 0,35m

Declividade na ponte: 0,012

Temos que:

$$\frac{0,35}{x} = 0,012 \text{ m/m}$$

$$x = \frac{0,35}{0,012}$$

x= 29,00m

Como o percentual de declividade é 1,2%, ou seja, 0,012m/m, o rebaixamento do canal em 0,50 metros abaixo da ponte, mantendo a mesma declividade anterior, o leito iria resultar em uma inclinação com distância de 29 metros antes da ponte. Usando esse mesmo cálculo como fator de segurança, foi sugerido um degrau com uma inclinação de 45°, mantendo a mesma declividade que havia antes do rebaixamento, visto que, durante o percurso dos 29 metros o curso d'água ganharia tempo para normalizar a velocidade, evitando alteração de velocidade ao chegar à ponte.

Distância depois da ponte (Rua do Buraco):

Altura rebaixada: 0,35m

Declividade 10 metros depois da ponte: 0,007m/m

Declividade 20 metros depois da ponte: 0,003m/m

Declividade (média): 0,005

$$\frac{0,35m}{x} = 0,005 \text{ m/m}$$

$$x = \frac{0,35m}{0,005m/m}$$

x= 70m

Como o canal foi rebaixado abaixo da ponte, um percentual de declividade após a ponte deveria ser executado novamente para que não ocorresse o acúmulo

de água no leito. Antes do rebaixamento, 10 metros depois da ponte a declividade era de 0,007 m/m e 20 metros depois da ponte a declividade era 0,003 m/m. Após o rebaixamento foi calculado uma média da declividade dos dois intervalos anteriores e para fins de cálculos, foi calculado a distância para essa declividade encontrar em outro ponto de declividade.

Vazão após o rebaixamento do canal:

Ponte:

$$V = Ks \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

$$Ks = 75$$

$$\text{Área molhada} = 2,00 \cdot 2,20 = 4,40 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro molhado} = 2 \cdot (2,00) + 2,20 = 6,20 \text{ m}$$

$$Rh = \frac{4,40 \text{ m}^2}{6,20 \text{ m}} = 0,72 \text{ m}$$

$$S = 0,012 \text{ m/m}$$

$$V = 75 \cdot 0,72^{\frac{2}{3}} \cdot 0,012^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 6,60 \text{ m/s}$$

$$Q = A \cdot V$$

$$Q = 4,40 \cdot 6,60$$

$$Q = 29,04 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculos para o rebaixamento do canal, Travessa Jorge Coura Filho, próximo ao número 21 (Conhecida como Trav. Da Conceição):

Distância antes da ponte:

Altura rebaixada: 0,50m

Declividade na ponte: 0,002m/m

$$\frac{0,50m}{x} = 0,002m/m$$

$$x = \frac{0,50m}{0,002m/m}$$

$$x = 250m$$

Nesse caso, como o percentual de declividade é muito baixo, 0,2%, ou seja, 0,002, o rebaixamento do canal em 0,50 metros abaixo da ponte, mantendo a mesma declividade anterior, iria resultar uma inclinação com distância de 250 metros antes da ponte. Usando esse mesmo cálculo como fator de segurança, foi sugerido um degrau com uma inclinação de 45°, mantendo a mesma declividade que havia antes do rebaixamento, visto que, durante o percurso dos 250 metros o curso d'água ganharia tempo para normalizar a velocidade, evitando alteração de velocidade ao chegar à ponte.

Depois da ponte:

Altura rebaixada: 0,50m

Declividade 10 metros depois da ponte: 0,005m/m

Declividade 20 metros depois da ponte: 0,003m/m

Declividade sugerida: 0,005m/m

$$\frac{0,50}{x} = 0,005$$

$$x = 100m$$

Após o rebaixamento de 0,50 metros no canal abaixo da ponte, foi sugerido uma declividade, para evitar o acúmulo de água depois da ponte, usando o mesmo percentual de declividade do intervalo de 10 metros após a ponte, calculamos a distância (Tabela 5).

Vazão após o rebaixamento do canal:

Ponte:

$$V = Ks \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

$$K_s = 75$$

$$\text{Área molhada} = 2,00 \cdot 5,10 = 10,20 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro molhado} = 2 \cdot (2,00) + 5,10 = 9,10 \text{ m}$$

$$R_h = \frac{10,20 \text{ m}^2}{9,10 \text{ m}} = 1,12 \text{ m}$$

$$S = 0,002 \text{ m/m}$$

$$V = 75 \cdot 1,12^{\frac{2}{3}} \cdot 0,002^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 3,62 \text{ m/s}$$

$$Q = A \cdot V$$

$$Q = 10,20 \cdot 3,62$$

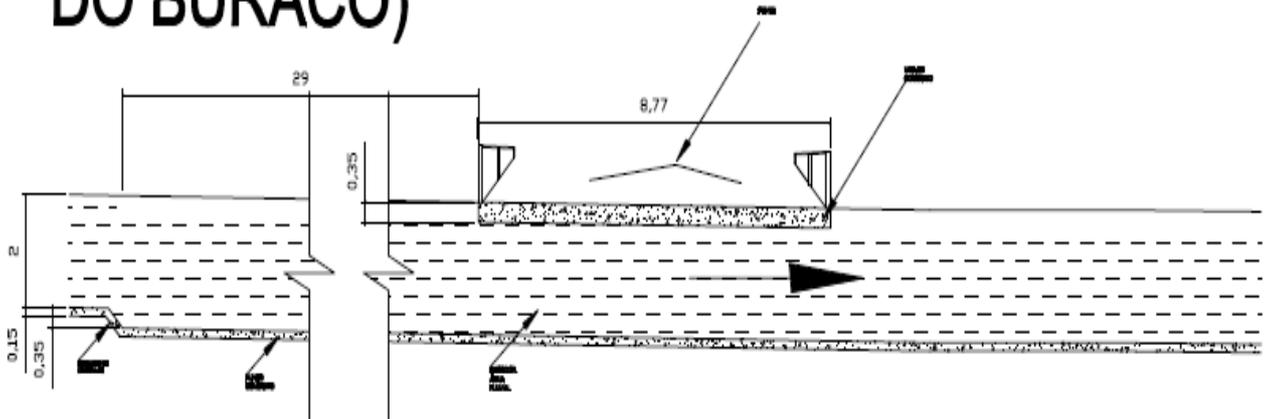
$$Q = 36,92 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tabela 5 - Comparação da vazão antes e após o rebaixamento

| TRECHO | ANTES DO REBAIXAMENTO DA PONTE (Q=m ³ /s) | APÓS REBAIXAMENTO DA PONTE (Q=m ³ /s) | ACRÉSCIMO (%) | ACRÉSCIMO (l/s) |
|----------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------|-----------------|
| Rua Generoso Cevidanes (Rua do Buraco) | 27,41 | 29,04 | 5,95 | 1630 |
| Trav. Jorge Coura Filho (Trav. Da Conceição) | 32,84 | 36,92 | 12,42 | 4080 |

Fonte: Autores

CÓRREGO SANTA CRUZ (RUA DO BURACO)



CÓRREGO SÃO JOÃO (TV. COURA FILHO)

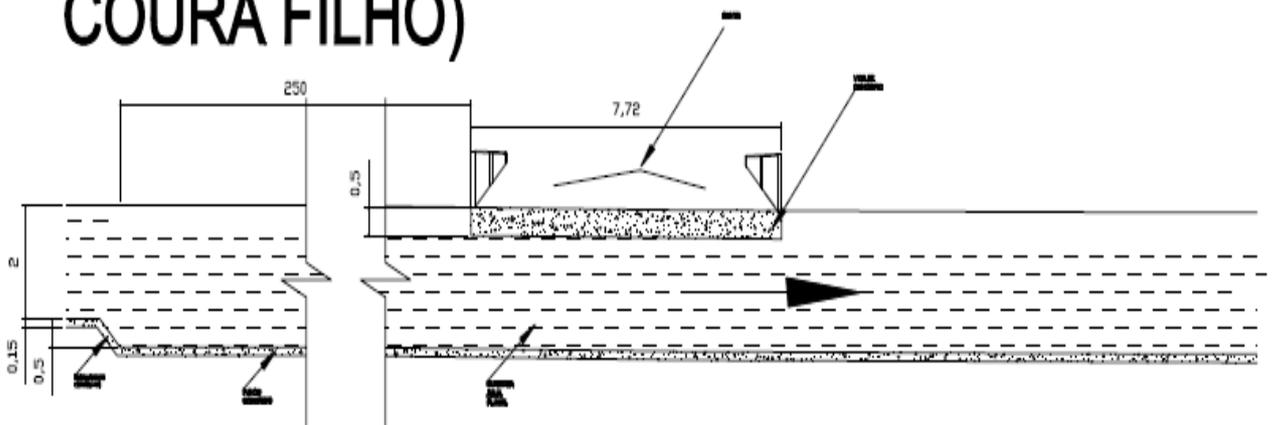


Figura 12 - Perfil dos trechos após o rebaixamento

Fonte: Autores

Refazendo os cálculos após rebaixamento do canal nos pontos específicos, resultou em um aumento de vazão no canal abaixo da ponte, evitando o problema ocorrido anteriormente.

3. CONCLUSÃO

Por meio de todos os cálculos realizados possíveis para demonstração da vazão, decorrentes da declividade; coeficiente de rugosidade (dados através natureza das paredes); área molhada; perímetro molhado; raio hidráulico e velocidade, chegou à conclusão que, durante o curso das águas pluviais, ao chegar supostamente na ponte uma parte da vazão era comprometida, resultando na tragédia durante as cheias, mais conhecida como transbordamento.

Então, foram executados os cálculos decorrentes da altura de rebaixamento com relação à declividade e distância do leito, para concluir se o rebaixamento do canal seria viável para evitar tais inundações. Os resultados obtidos foram positivos, embasando nos trechos: Rua Generoso Cevidanes, próximo ao número 76 (Conhecida como Rua do Buraco) e Travessa Jorge Coura Filho, próximo ao número 21 (Conhecida como Trav. Da Conceição). Ressaltando que, foram realizados os levantamentos topográficos, projetos (cortes) e cálculos apenas dos dois trechos, porque os trechos subsequentes tinham declividades e dimensionamentos similares ao da Travessa Jorge Coura Filho, além de relevarmos os trechos mais prejudicados segundo a população vizinha do problema.

O método de alteração na galeria foi sugerido, pois seria uma execução mais econômica e em menos tempo em comparação à alteração da altura das pontes.

Conclui-se que novos estudos sejam realizados devido aos custos de comparação das obras não foram destacados nesse projeto, fica em aberto para novos estudos de viabilidade que comprovam matematicamente qual projeto seria mais relevante quanto a economia e tempo de execução.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, J. A. **Departamento de Engenharia UFLA**. Disponível em: <http://www.deg.ufla.br/professores/jacinto_carvalho/eng191/tabelas.pdf>. Acesso em: 12 out. 2015.

Defesa Civil de Caratinga. Disponível em: <<http://defesacivilctgamg.blogspot.com.br/>>. Acesso em: 19 set. 2015.

FLORESTA, Cleide. Como especificar galerias pré-moldadas de concreto. **Revista Infraestrutura Urbana**, São Paulo. 19^a ed, out. 2012. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/19/artigo267611-1.aspx>>. Acesso em: 28 set. 2015.

GARCEZ, Lucas Nogueira. **Elementos de Engenharia Hidráulica e Sanitária**. 2^a ed. São Paulo: Editora Blucher, 1976.

GARCEZ, Lucas Nogueira; ALVAREZ, Guillermo Acosta. **Hidrologia**. 2^a ed. São Paulo: Editora Blucher, 1998.

GRIBBIN, John E. **Introdução à Hidráulica, Hidrologia e Gestão de Águas Pluviais**. 3^a ed. São Paulo: Editora Cengage Learning, 2009.

HANSMANN, Henrique Zanotto. **Descrição e Caracterização das principais enchentes e alagamentos de Pelotas – RS**, RS. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Pelotas, 2013. Disponível em: <<http://wp.ufpel.edu.br/esa/files/2013/10/TCC-HENRIQUE-HANSMANN1.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2015.

NETTO, José Martiniano de Azevedo. **Manual de Hidráulica**. 8^a ed. São Paulo: Editora Blucher, 1998.

PEREIRA, Geraldo Magela; MELLO, Carlos Rogério. **Hidráulica Geral**. Disponível em: <http://www.deg.ufla.br/site/_adm/upload/file/8_aula%20pratica%208.PDF>. Acesso em: 18 out. 2015.

PINTO, N. L. S. et al. **Hidrologia Básica**. 1ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 1976.

POLIGNANO, M. V. **Canalização de cursos d'água**. Disponível em: <http://www.manuelzao.ufmg.br/sobre_o_projeto/posicionamento/canalizacao>. Acesso em: 26 set. 2015.

Prefeitura Municipal de Caratinga. Disponível em: <http://www.caratinga.mg.gov.br/mat_vis.aspx?cd=6933>. Acesso em: 19 set.2015.

SAYGLI, Monir Ali. **História de Caratinga**. 1ª ed. Caratinga: Editora Gráfica Ana Pontes, 1997.

SILVA, Domiciano M. S. **Relação entre velocidade e pressão no escoamento**. Disponível em: <<http://www.alunosonline.com.br/fisica/relacao-entre-velocidade-pressao-no-escoamento.html>>. Acesso em: 7 nov. 2015.

TOMAZ, Plínio. **Manejo de Águas Pluviais**. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/capitulo_50_formula_de_manning_galerias_e_canais.pdf>. Acesso em: 12 out. 2015.

ANEXO 2 – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título do Estudo: *Diagnóstico do Sistema de Escoamento Pluvial Urbano dos Córregos São João e seus afluentes da cidade de Caratinga.*

Prezado (a) Senhor (a):

Você está sendo convidado (a) a responder às perguntas deste questionário de forma totalmente voluntária. Somos estudantes do décimo período de Engenharia Civil e estamos desenvolvendo o trabalho de conclusão de curso (TCC) para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Civil.

Antes de concordar em participar desta pesquisa e responder este questionário, é importante que você compreenda as informações contidas neste documento, sendo que os pesquisadores deverão responder a todas as suas dúvidas antes que você decida participar.

O objetivo do presente estudo é descrever a ocupação das localidades próximas aos Córregos São João, Santa Cruz e Sales na Rua Generoso Cevidanes, próximo ao número 76; Trav. Jorge Coura Filho, próximo ao número 21; Trav. João Coutinho, próximo ao número 47 e Trav. Cel. Ferreira Santos, próximo ao número 62, no Município de Caratinga. Esta pesquisa trará maior conhecimento sobre o tema abordado, com benefício indireto a toda população caratinguense.

Sua participação nesta pesquisa consistirá apenas em responder às perguntas formuladas, que abordam algumas características do imóvel que mora e/ou possui um empreendimento, assim como sua opinião sobre tal localidade. O preenchimento deste questionário não representará qualquer risco de ordem física ou psicológica para você, sendo que você tem o direito de desistir de participar da pesquisa a qualquer momento.

As informações fornecidas por você terão sua privacidade garantida pelos pesquisadores responsáveis. Os sujeitos da pesquisa não serão identificados em nenhum momento, mesmo quando os resultados desta pesquisa forem divulgados em qualquer forma.

Ciente e de acordo com o que foi anteriormente exposto, eu _____, estou de acordo em participar desta pesquisa, assinando este consentimento em duas vias, ficando com a posse de uma delas.

Caratinga, _____ de _____ de 2015.

Pesquisador Responsável

Assinatura do pesquisado

ANEXO 3 e 4 –LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO