

ESTUDO HIDRÁULICO APLICADO AO PROJETO DE CONTINUIDADE DA CANALIZAÇÃO DO CÓRREGO ENGENHO NOGUEIRA**HYDRAULIC STUDY APPLIED TO THE ENGINEERING STREAM CANALIZATION CONTINUITY PROJECT**

Jefferson Eduardo da Rocha Fernandes,
Marcos Marques Moreira Rocha
Raquel Ferreira de Souza
Ronan Ferreira de Souza
Shirley Alves Coelho dos Reis

RESUMO

Os trabalhos de engenharia, historicamente, têm sido bastante úteis aos seres humanos para a realização dos mais diversos tipos de intervenções na natureza. Exemplos disso são as obras de canalização de vários cursos d'água que passam por Belo Horizonte / MG. Mas algumas destas obras não foram totalmente concluídas, o que acabou trazendo alguns transtornos para os moradores e demais indivíduos que transitam por estes locais. O objetivo geral deste estudo foi propor uma solução hidráulica satisfatória para um trecho de 89 metros de curso d'água ainda a céu aberto entre as ruas Dr. Antônio Henrique Alves e Ciclópica, ambas do bairro Caiçara, em Belo Horizonte / MG, que tem trazido problemas de alagamento. O curso d'água pertence ao Córrego Engenho Nogueira. Foram realizados os estudos hidrológicos e hidráulicos necessários a este intento e os resultados apontaram como solução a instalação de um bueiro circular de 1500 milímetros de diâmetro por todo o comprimento do trecho analisado, o qual irá acomodar e conduzir a vazão existente para o local.

Palavras-chave: Estudo hidráulico. Canalização do córrego. Obra de engenharia.

ABSTRACT

Engineering works, historically, have been very useful to humans to perform various types of interventions in nature. Examples are the plumbing works of several watercourses that pass through Belo Horizonte / MG. But some of these works have not been fully completed, which has led to some inconvenience for residents and other individuals who transit these places. The general objective of this study was to propose a satisfactory hydraulic solution for a 89-meter stretch of open water course between Dr. Antônio Henrique Alves and Ciclópica streets, both from the Caiçara neighborhood, in Belo Horizonte / MG, which has brought flooding problems. The watercourse belongs to Engenho Nogueira Stream. The necessary hydrological and hydraulic studies were carried out for this purpose and the results indicated as solution the installation of a circular manhole of 1500 mm in diameter for the entire length of the analyzed section, which will accommodate and conduct the existing flow to the site.

Keywords: Hydraulic study. Channeling of the stream. Engineering work.

1 INTRODUÇÃO

Após a Superintendência de Desenvolvimento da Capital (SUDECAP), realizar um mapeamento em Belo Horizonte, em setembro de 2018, a Prefeitura da capital (PBH) publicou um documento que recebeu o nome de “Carta de Inundação”, o qual menciona cerca de 90 áreas de risco espalhadas por todo o território da cidade.

Este documento pode contribuir bastante para o planejamento urbano de Belo Horizonte, especialmente na escolha e priorização das obras de engenharia para resolver os problemas de alagamentos e enchentes da cidade, que aumentam bastante no período chuvoso, gerando a preocupação daqueles que moram ou precisam transitar por estas áreas.

Sendo assim, este trabalho de pesquisa analisou um destes pontos críticos de alagamento: um trecho de 89 metros de curso d’água a céu aberto, situado entre as ruas Dr. Antônio Henrique Alves e Ciclópica, no Bairro Caiçara, região noroeste de Belo Horizonte, sendo o referido curso d’água pertencente ao Córrego Engenho Nogueira.

O objetivo da pesquisa foi realizar os estudos hidrológicos e hidráulicos necessários para verificar a melhor solução de canalização para o referido trecho. Sua justificativa baseia-se na importância do estudo enquanto contribuição para a resolução dos problemas de alagamento no local, além do enriquecimento do acervo acadêmico sobre o tema, a partir da aplicação das teorias estudadas na resolução de um problema real que tem afetado a sociedade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Conforme defendido por Holtz (1975), é a partir da realização dos estudos hidrológicos que se torna possível o dimensionamento das soluções de drenagem, tanto em áreas rurais como em urbanas.

O início do estudo hidrológico, como é posto por Carvalho & Batista (2006), é a determinação da vazão do escoamento produzido pelas chuvas, procedimento fundamental para o dimensionamento dos canais coletores, interceptores ou drenos.

A SUDECAP (2004), por meio de sua instrução técnica para projetos de drenagem, diz que vazão de projeto é o valor instantâneo de pico, calculado indiretamente a partir da transformação da chuva de projeto em vazão do escoamento superficial.

E, para Holtz (1975), o conceito de vazão se dá pelo volume de determinado fluido que passa por uma determinada seção de um conduto num dado tempo, podendo ser este escoamento livre ou forçado.

Holtz (1975) aponta o Método Racional, desenvolvido pelo Irlandês Thomas Mulvaney, em 1851, para estimar a vazão máxima de escoamento de uma determinada área sujeita a uma intensidade máxima de precipitação, com um determinado tempo de concentração.

A SUDECAP (2004) também enxerga a utilidade do Método Racional para os cálculos de vazão em sistemas de bacias de drenagem consideradas pequenas.

Uma bacia hidrográfica ou bacia de drenagem é o “conjunto das áreas com declividade no sentido de determinada seção transversal de um curso de água, medidas as áreas em projeção horizontal”. (GARCEZ; ALVAREZ, 1988, p. 43)

Em relação àquilo que se considera ser uma bacia hidrográfica de dimensões pequenas, vê-se que há na bibliografia certa discordância entre os autores, sendo que alguns dão a classificação “pequena” para bacias de área igual a 3,0 km² e outros de área 10 km², ou ainda igual a 13 km², enfim.

De acordo com Pinto; Holtz; Martins; Gomide (1976), o estudo das bacias é essencial, pois existem vários fatores relacionados a elas que presidem o afluxo da água à seção em estudo:

a) área da bacia de contribuição; b) conformação topográfica da bacia: declividades, depressões, acumuladores e retentores de água; c) condições da superfície do solo e constituição geológica do sub- solo: existência de vegetação; vegetação natural; florestas; vegetação cultivada; capacidade de infiltração no solo; natureza e disposição das camadas geológicas; tipos de rochas presentes; condições de escoamento da água através das rochas; d) obras de controle e utilização da água a montante da seção: irrigação ou drenagem do terreno; canalização ou retificação de cursos de água; derivação de água da bacia ou para a bacia; e construção de barragens. (PINTO; HOLTZ; MARTINS; GOMIDE, 1976, p. 39)

Garcez & Alvarez (1988) ainda explicam que, para o projetista, conhecer a planialtimetria da bacia hidrográfica é tão importante quanto possuir o conhecimento acerca do regime de chuvas da região para a qual se deseja medir a vazão máxima em dado ponto. Isso, porque o escoamento da água ocorre com influência da gravidade e segundo a declividade dos terrenos por onde passa. E desse modo, o estudo da topografia de uma bacia hidrográfica em seu aspecto planialtimétrico é de suma importância para que se possa conhecer melhor o seu comportamento hidrológico.

A maioria dos fatores meteorológicos e hidrológicos (precipitações, temperaturas, descargas unitárias, etc) é função da altitude. Daí o interesse de calcular a distribuição da bacia hidrográfica por degraus de altitude, sendo o cálculo feito por planimetria das plantas topográficas com curvas de nível, em Km² e em % da superfície total. (GARCEZ; ALVAREZ,1988, p. 45)

É muito importante que se conheça a declividade equivalente do principal curso d'água da bacia hidrográfica, pois o Tempo de Concentração está relacionado à mesma: “quanto maior a declividade de um terreno, maior a velocidade de escoamento, menor o Tempo de Concentração e maior as perspectivas de picos de enchentes”. (HOLTZ, 1975, p.58)

Para o cálculo de vazão pelo Método Racional, a SUDECAP (2004) recomenda o uso da fórmula $Q = 0,00278 \times C \times I \times A$, onde “0,00278” é uma constante usada para homogeneizar as unidades das grandezas relacionadas, “A” é a Área da bacia hidrográfica dada em hectares, “C” é o Coeficiente de Escoamento Superficial e “I” é a Intensidade da chuva efetiva que chega ao ponto de projeto.

A variável “I” que aparece na equação do Método Racional, de acordo com Holtz (1975), é aquela que aponta matematicamente a chuva efetiva que chega à seção de estudo, dada todas as perdas possíveis desde o início da chuva. O valor desta grandeza surge a partir da equação $I = (a \times TR)^b / (TC + C)^d$, onde os fatores “a”, “b”, e “d” são dados obtidos a partir dos trabalhos das estações pluviométricas mais próximas do local da obra.

O Tempo de Recorrência (TR da fórmula) deve ser mencionado nos cálculos: pois as intensidades com que os fenômenos se manifestam apresentam uma marcante variabilidade ao longo do tempo e do espaço, em decorrência das variações do clima, tanto em escala regional quanto global, de acordo com Holtz (1975).

O Tempo de Concentração (TC, que apareceu na fórmula de cálculo de “I”) pode ser conceituado da seguinte forma:

Tempo de Concentração o intervalo de tempo contado a partir do início da precipitação para que toda a bacia hidrográfica correspondente passe a contribuir na seção em estudo. Corresponde à duração da trajetória da partícula de água que demore mais tempo para atingir a seção. (PINTO; HOLTZ; MARTINS; GOMIDE, 1976, p.39)

O coeficiente “C”, da fórmula do Método Racional, diz respeito ao escoamento superficial, que Martins (1976) conceitua como o segmento do ciclo hidrológico que estuda o deslocamento das águas na superfície da Terra. Ou seja, a parcela das precipitações que preenche as falhas e depressões ao longo dos terrenos, que busca os canais naturais, transformando-se em córregos, rios, mares, lagos e oceanos.

Villela (1979) defende que, nos estudos hidrológicos realizados com vistas à determinação das vazões de projeto, a etapa mais importante do ciclo hidrológico é a do escoamento superficial, justamente porque se trata da parcela de chuva que importa diretamente aos trabalhos de engenharia.

Entrando, agora, no dimensionamento de canais, propriamente dito, pode-se introduzir o assunto considerando que a Engenharia sempre buscou facilitar a vida das pessoas, modificando as características da natureza, realizando obras para melhor usar os recursos naturais do planeta. E, a Hidráulica, segmento da engenharia que se preocupa com o dimensionamento de canais, esteve presente ao longo de grande parte da história da humanidade, em função da necessidade essencial da água para a vida humana.

A palavra “Hidráulica” tem origem a partir das palavras gregas “hydros” e “aulos”, respectivamente “água” e “condução”, termo utilizado atualmente para designar o conjunto de técnicas ligadas ao transporte de líquidos, em geral, e da água, em particular. (BAPTISTA & LARA, 2003. p. 25)

De acordo com Baptista & Lara (2003), os recursos hídricos só se tornam devidamente úteis ao homem, à medida que estes forem devidamente controlados, contidos, ou conduzidos, de acordo com a sua finalidade, a partir da elaboração de obras hidráulicas. Os autores ainda ressaltam que uma estrutura de condução hidráulica é a estrutura criada para realizar o transporte e adução de água, bem como para sua adequação com as obras de infraestrutura já existentes nos locais, quais sejam, os canais, os bueiros e as pontes.

Baptista & Lara (2003) lembram que os canais hidráulicos devem ser projetados de tal forma que sejam capazes de fazer a contenção da vazão de água ocorrida no local da obra, sem que ocorra, ali, riscos de inundações.

De modo geral, os canais hidráulicos acabam recebendo sua classificação de acordo com a figura geométrica com a qual mais se assemelham e, na prática dos projetistas, existe certo consenso de que a menos que seja necessário, não se deve propor grandes mudanças em obras já implementadas, caso estas ainda estejam cumprindo plenamente o propósito de sua gênese, por questões de orçamento e para que não se altere exageradamente as características da infra estrutura local, o que gera alguns inconvenientes para a população local, trânsito, etc.

Já a rotina de cálculos com vistas ao dimensionamento de canais hidráulicos sofre variações conforme o tipo do canal que se pretende realizar para o projeto.

O trecho do canal estudado nesta pesquisa está compreendido entre dois canais circulares. Sendo assim, essa foi a primeira hipótese estudada na busca da solução para o problema.

E, uma vez que a área de estudo se encontra dentro dos limites do município de Belo Horizonte, foram levadas em consideração as normas da instrução técnica para obras de drenagem da SUDECAP, que tem sido a responsável por estes tipos de obras na capital, durante muitos anos.

Para a SUDECAP (2004), a rede tubular deve ser constituída de tubos de concreto armado, providos de ponta e bolsa, classe PA-1, PA-2 ou PA-3, conforme as cargas solicitantes com indicação em projeto, salvo exceção para situações especiais em que poderão ser utilizados tubos de PVC helicoidal. Ainda, poderão ser adotados os seguintes diâmetros nominais para os tubos de concreto: 500, 600, 800, 1000, 1200 e 1500 mm e estes deverão ser recobertos minimamente por 0,80 m sobre a geratriz externa superior.

A instrução da SUDECAP ainda diz que a seção transversal molhada máxima a ser adotada para a rede tubular corresponde à seção com altura da lâmina d'água (Y) igual a 80% do diâmetro nominal da respectiva rede. E a velocidade máxima nas redes tubulares deverá ser limitada à $V_{max} = 8,0$ m/s, tendo em vista a proteção das estruturas contra os efeitos da abrasão, e a velocidade mínima de $V_{min} = 0,75$ m/s, para a garantia da auto limpeza destes condutos. Abre-se, aqui, um parêntese para lembrar que os valores da velocidade mínima e máxima tolerados para o escoamento interno podem sofrer variação de acordo com a escolha do embasamento por um ou outro autor / órgão: o DNIT (2006), por exemplo, sugere que a velocidade máxima seja de 4,5 m/s, sendo este valor também defendido por Baptista & Lara (2003), ambos estão abaixo daquele proposto pela SUDECAP (2004).

Conforme mostrado na instrução técnica da SUDECAP (2004), é necessária a determinação de um greide reto de declividade (i) conhecida para apoiar o dispositivo hidráulico no ponto de estudo. Realiza-se para tal um levantamento topográfico a fim de medir as diferenças de nível entre as extremidades de montante e jusante do canal. Também é preciso para os cálculos hidráulicos que se conheça o coeficiente de rugosidade (n) dos tubos utilizados na obra. A SUDECAP (2004) recomenda o uso do Coeficiente de Rugosidade "n" de Manning igual a 0,014, para o uso de tubos de concreto.

Os próximos passos são dados pelo seguimento da orientação do gráfico de capacidade de escoamento dos condutos circulares operando em regime livre a plena seção,

usado apenas no dimensionamento de canais circulares. O mesmo pode ser visto tanto no manual de drenagem do DNIT (2006), quanto na instrução técnica da SUDECAP (2004), apresentando, contudo, algumas diferenças entre as nomenclaturas das variáveis e fatores envolvidos. Mas ambos manuais citados demonstram o passo a passo para calcular a seção molhada do tubo e a velocidade interna de escoamento.

3 METODOLOGIA

Nesta seção, consta a metodologia adotada para a presente pesquisa: seu tipo, natureza, fins e meios, coleta dos dados, ambiente em estudo e limitações.

Esta pesquisa se classifica como básica, pois seu interesse se encontrou dentro dos limites de divulgação do conhecimento científico. E, sua natureza é quantitativa, pois lidou com aspectos provenientes de medições diretas ou indiretas de grandezas físicas, lançou mão da interpretação de números em tabelas, analisou gráficos e intervalos de referência propostos nas normas de engenharia. Quanto aos seus fins, se encaixa na pesquisa exploratória, pois se preocupou com o esclarecimento de fenômenos físicos e de problemas gerados por estes, os desenvolveu e, então, propôs hipóteses de solução. Em relação aos meios, se classifica como pesquisa de campo, pois a ela interessaram apenas os dados especificamente voltados para o local do projeto. A coleta e a análise de dados realizadas caracterizam a pesquisa documental, já que examinou documentos tais como planta topográfica, curvas de nível, atlas climatológico, tabela de coeficiente de escoamento superficial e tabela de dados numéricos para cálculo em galerias circulares parcialmente cheias.

A área em estudo foi o trecho do córrego Engenho Nogueira, mostrado na figura 1.

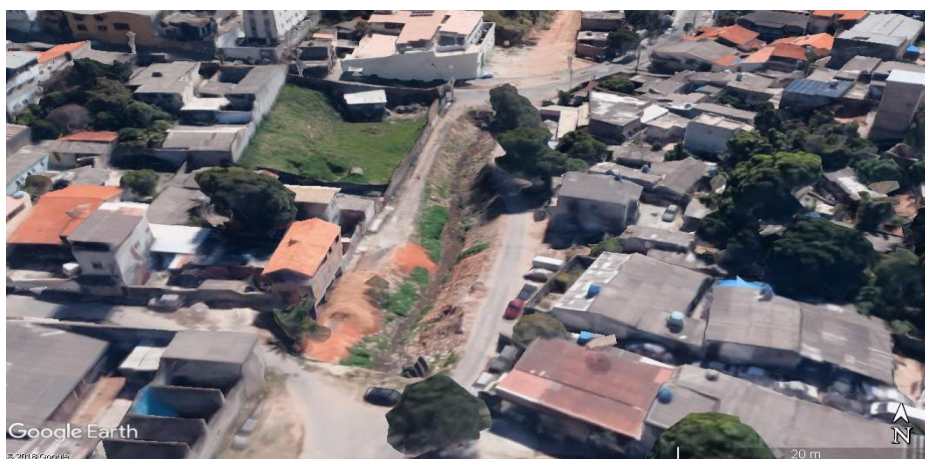


Figura 1 – Vista superior do ambiente em estudo
Fonte: Google Earth. Acesso em 03 de março de 2019

A figura 1 mostra a vista superior do ambiente em estudo, o trecho de 89 metros não canalizados do Córrego Engenho Nogueira, no bairro Caiçara, em Belo Horizonte / MG.

Os métodos de pesquisa geralmente possuem limitações, pois sofrem com algumas barreiras e dificuldades no decorrer do estudo. Esta pesquisa também teve limitações, pois ao estudar a solução hidráulica orientada para o curso d'água citado acima, houve a necessidade de calcular a vazão de pico local e, para tal, foi usado o Método Racional: o Método Racional é utilizado para realizar o dimensionamento de vazões de projeto de galerias pluviais. É visto como um método simplificado, já que considera as precipitações ocorridas sobre a área da bacia uniformes durante toda a chuva, hipótese que nem sempre se confirma. Além disso, o método considera que a máxima vazão se dá no momento em que toda a bacia está contribuindo. Novamente, é algo que desconsidera possíveis variações desta afirmação.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A primeira etapa dos estudos realizados nesta pesquisa, a do estudo hidrológico, teve um objetivo bastante claro: a determinação da vazão de projeto, que serviu de parâmetro para os cálculos hidráulicos.

Para atingir este objetivo, foram seguidos os passos do Método Racional, de fórmula $Q = 0,0028 \times C \times I \times A$, as quais equacionam variáveis dos fenômenos meteorológicos (a intensidade das precipitações e o tempo de retorno) e outras características e grandezas que dizem respeito à bacia hidrográfica que drena para o ponto de estudo (a área, a declividade, o tempo de concentração e o grau de impermeabilização do solo). Este objetivo foi alcançado com a determinação da vazão de projeto "Q 25anos" igual a $6,865 \text{ m}^3/\text{s}$. Segue a apresentação da rotina de procedimentos e cálculos que resultaram neste valor.

A sub-bacia de drenagem do ponto de estudo foi individualizada com uso do método dos divisores topográficos e o seu respectivo talvegue principal foi localizado e estudado. Foram calculadas a área da bacia (A) e a declividade equivalente do talvegue (I).

Para aferir estas medidas, foi usada a planta topográfica do município de Belo Horizonte na escala de 1:25.000, através do método indireto de medição de comprimento e superfície, com o apoio do software Auto CAD 2019, da empresa Auto Desk. Veja o quadro 1:

Quadro 1 - Dados da Sub-bacia e do talvegue principal do Córrego Engenho Nogueira

Área da Bacia Hidrográfica → A (m ²)	645520,6877 m ²
Área da Bacia Hidrográfica → A (Km ²)	0,645520687 Km ²
Área da Bacia Hidrográfica → A (Hectares)	64,552 Hectares
Perímetro da Bacia Hidrográfica → P (m)	3727,7148 metros
Comprimento Absoluto do Talvegue → L (m)	843,700 m
Altura Absoluta do Talvegue - Desnível entre a cabeceira e o ponto de projeto → ΔH = Cota mais alta - Cota mais baixa	43 m
Declividade Longitudinal Equivalente ou Efetiva do Talvegue → $I_{efetiva} = [L / \sum(L / \sqrt{(\Delta H/\Delta L)})]^2$	0,0264 m / m

Fonte: Próprios autores (2019)

O quadro 1 mostrou a área da sub-bacia individualizada e seu perímetro, além do comprimento, altura e valor da declividade equivalente do talvegue principal.

Em seguida, observou-se o grau de impermeabilização do solo da área individualizada, com revestimento quase integral, causado pelo asfaltamento, criação de calçadas e levantamento de residências, dados interessantes para a análise do “Coeficiente de Escoamento Superficial (C)”. Consultado em tabelas nos livros de hidrologia e nos manuais de drenagem urbana de órgãos tais como o DNIT e a SUDECAP, entre outros, o Coeficiente de Escoamento Superficial pode sofrer pequenas variações de autor para autor. Seus valores ocorrem entre 0 e 1. Na prática, quanto mais impermeabilizada for a área estudada, mais próximo de 1 é o seu valor. Veja a figura 2:



Figura 2 – Uso e ocupação do solo na Sub-Bacia do Córrego Engenho Nogueira

Fonte: Google Earth (2019 - Adaptado)

A partir da figura 2, acima, é possível verificar a grande quantidade de residências e outras formas de ocupações do solo na área da sub-bacia estudada e o quanto o solo local

foi impermeabilizado com asfalto e outros dispositivos que cooperaram para a alteração de suas características originais (solo argiloso e vegetação rala).

É importante considerar nos cálculos da vazão que as obras de engenharia são projetadas para durarem anos, tendo relativa vida útil e, sendo assim, é seguro considerar um prognóstico futuro de aumento da impermeabilização dos solos, uma vez que isto favorece o aumento da vazão das águas pluviais.

Abaixo, segue um exemplo com os valores para o Coeficiente de Escoamento Superficial “C” para diferentes superfícies, adaptado do manual do DNIT (2006).

Quadro 2 - Coeficiente de Escoamento Superficial “C”

Tipos de Superfícies	Faixa de Variação
Impermeabilizado com concreto, asfalto e telhado	0,90-0,95
Instalação de blockets	0,78
Paralelepípedo	0,7
Solo compactado	0,66
Grama / solo argiloso	0,2
Matas, parques e campos de esporte	0,1
Grama / solo arenoso	0,1
Concreto e asfalto poroso	0,03

Fonte: DNIT (2006 - Adaptado)

Em análise do quadro 2, foi escolhido o Coeficiente de Escoamento Superficial (C) de valor igual a 0,90 para o local estudado. Dois pontos foram levados em consideração nesta escolha: a densidade urbana local que causou a impermeabilização do complexo solo/vegetação e, ainda, uma projeção futura da intensificação desta impermeabilização.

O último termo da fórmula de cálculo do Método Racional, o termo “I”, relaciona a intensidade das chuvas que ocorrem sobre a superfície da bacia hidrográfica e a parcela que escoam para o ponto de estudo, considerando-se a recorrência da máxima chuva percebida durante o período de observação das estações pluviométricas e as condições de escoamento superficial. Foi necessária a consulta das equações de chuvas intensas de Belo Horizonte no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para verificar os parâmetros A, B e D da fórmula de cálculo de “I”.

O quadro 3, a seguir, aponta os resultados para 17 anos de observação dos parâmetros pluviométricos do município de Belo Horizonte, além da fórmula usada para o cálculo da intensidade das precipitações.

Quadro 3 - Equações de chuvas intensas em Belo Horizonte

Equações de Chuvas no município de Belo Horizonte								
$i = \frac{A \times TR^B}{(tc + C)^D}$ <i>A, B, C, D = Constante → Estação → Pluviométrica</i>								
NOME DA ESTAÇÃO		EQUAÇÃO				CÓDIGO	Nº anos observ.	FONTE
		A	B	C	D			
BELO HORIZONTE	MG	682,874	0,169	3,993	0,671	1943063	17	INMET

Fonte: INMET (2018 - Adaptado)

O quadro 3 apresentou os parâmetros pluviométricos de Belo Horizonte úteis para os cálculos de “I”.

Conhecendo-se os valores de A, B e D, restava ainda conhecer os valores das variáveis TR e TC da fórmula do cálculo de “I”.

O valor para o Tempo de Retorno (TR) utilizado para cálculo na equação de “I” foi de 25 anos, sendo que esta variável exprime o valor estatístico do tempo de recorrência ou do novo acontecimento da chuva máxima percebida durante o período de análise das estações pluviométricas no município. Os valores de TR devem ser consultados nas normas de engenharia e variam de acordo com o tipo de obra que se deseja projetar.

Já o Tempo de Concentração (TC) é calculado pela fórmula $TC = 3,98 \times (L \wedge i)^{0,77}$, onde “L” é o comprimento do principal curso d’água e; “i” é dado pela Declividade Equivalente calculada desde a cabeceira do talvegue principal e o ponto de drenagem. O escoamento ocorre em função da declividade e pela força da aceleração da gravidade. Todos os dados necessários para o cálculo do “TC” já foram apresentados no quadro 1 e levaram o TC a ser igual a 12,15 minutos. Por conseguinte, com as substituições na fórmula de “I”, obteve-se “I” igual a 209, 903 mm / h.

Conforme preceitua o Método Racional, deve-se igualar o tempo de chuva ao tempo de concentração, o que pode ser feito a partir da regra de 3 entre os valores das chuvas ocorridas em 1 hora e o tempo de concentração, convertido para valores em horas.

O resultado obtido para “I” foi igual a 42, 505 mm e; com este valor, aliado aos das demais variáveis da equação do Método Racional, já levantados e apresentados, chegou-se

ao valor da vazão de projeto “Q 25anos” igual a 6, 865 m³ /s. Com este resultado, concluiu-se o estudo hidrológico.

De posse do valor da vazão de projeto, seguiu-se para o início do estudo hidráulico, com vistas a apontar o respectivo canal para acomodá-la. .

O primeiro ponto para o alcance deste objetivo foi analisar as diferenças de nível da área do trecho não canalizado do córrego, a partir de curvas de nível cedidas pela COPASA, resultantes de um levantamento planialtimétrico local realizado em 2019. Com isso, foi possível determinar o greide reto passante de extremidade a extremidade do canal e obter a sua declividade (“i” a 0, 0225 m/m).

O passo seguinte foi obter o Coeficiente de Rugosidade de *Manning* “n” do dispositivo usado. Como o canal já possui bueiros circulares de concreto em suas duas extremidades, foi utilizado o coeficiente de rugosidade deste material, de acordo com o valor da norma da SUDECAP (2004): “n” igual a 0,014.

Finalmente, foram realizados os estudos da seção molhada do tubo e da velocidade interna do escoamento, orientados pelo gráfico de capacidade de escoamento dos condutos circulares operando em regime livre a plena seção.

O manual de drenagem do DNIT (2006) e a Instrução técnica da SUDECAP (2004) utilizam este gráfico para a rotina de cálculos relacionada ao dimensionamento de bueiros circulares de concreto. O referido gráfico e as fórmulas usadas nos cálculos relacionam os fatores k1 e k3 à velocidade interna de escoamento de um dado tubo circular, que pode ter diâmetro nominal de 600 mm, 800 mm, 1000 mm, 1200 mm e 1500 mm. Veja, abaixo, o esquema mostrado da figura 3.

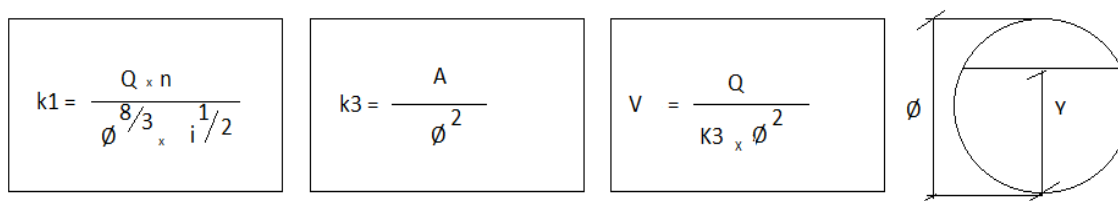


Figura 3 – Relação entre os fatores k1, k3, y/Φ e a Velocidade interna de escoamento

Fonte: DNIT (2006 – Adaptado)

A figura 3 apresentou um esquema que relaciona as fórmulas de cálculo dos fatores k1, k3, V e ainda ilustra como se dá a relação geométrica entre o tirante d’água e o diâmetro nominal do tubo circular (y/Φ).

Alguns dos valores do gráfico de capacidade de escoamento dos condutos circula-

res operando em regime livre a plena seção são mostrados no quadro 4, abaixo.

Quadro 4 - Dados numéricos para cálculo em galerias circulares parcialmente cheias

Y/Φ	K1	K3
0,60	0,2095	0,492
0,62	0,2202	0,512
0,63	0,2251	0,522
0,64	0,2305	0,531
0,65	0,2354	0,54
0,66	0,241	0,55
0,67	0,2461	0,559
0,68	0,251	0,569
0,69	0,2561	0,578
0,70	0,2607	0,587

Y/Φ	K1	K3
0,71	0,2659	0,596
0,72	0,2705	0,605
0,73	0,2751	0,614
0,74	0,2798	0,623
0,75	0,2845	0,632
0,76	0,2881	0,64
0,77	0,2928	0,649
0,78	0,297	0,657
0,79	0,3011	0,666
0,8	0,3047	0,674

Fonte: DNIT (2006 - Adaptado)

Os valores do fator (y/Φ), apresentados no quadro 4, segundo a norma da SUDECAP (2004), não podem ser superiores a 0,80, em detrimento da perda das condições plenas de funcionamento do dispositivo hidráulico. A norma ainda considera que, ao final dos cálculos, o valor da velocidade interna de escoamento (V), não deve fugir ao intervalo $0,90 \text{ m/s} < V < 8,0 \text{ m/s}$, sob pena de ocorrer uma velocidade erosiva ou, pelo contrário, baixa demais, prejudicando a manutenção da limpeza do tubo.

Foram calculados os valores do fator K1 para os tubos de diâmetro iguais a 600, 800, 1000 e 1200 mm, a partir do uso da primeira fórmula, apresentada acima, obtendo-se valores não adequados para os seus respectivos pares de y/Φ . Ou seja, todos estiveram acima de 0,80: para o tubo de 600 mm, $k1 = 2,5019$; para o tubo de 800 mm de diâmetro, $k1 = 1,1617$; para o tubo de 1000 mm de diâmetro, $k1 = 0,6407$ e; para o tubo de 1200 mm de diâmetro, $k1 = 0,3940$.

Já o tubo de 1500 mm de diâmetro apontou K1 igual a 0,2173, muito próximo do valor de 0,2202 tabelado, que possui $k3$ igual a 0,512 e o fator y/Φ igual a 0,62, valor que atendeu à norma da SUDECAP (2004), que limita o fator y/Φ máximo a 0,80.

A partir daí, substitui-se o valor do fator K3 encontrado na fórmula da velocidade interna do escoamento e obteve-se o seu valor $V = 5,96 \text{ m/s}$, que está plenamente de acordo com o intervalo da norma, mostrado anteriormente.

Sendo assim, de acordo com o método e parâmetros utilizados, a obra hidráulica ideal para o local seria o bueiro circular de concreto com diâmetro nominal igual a 1500 mm.

Tecnicamente, este seria capaz de comportar a vazão existente no local, cumprindo as normas da Instrução Técnica da SUDECAP (2004).

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após revisar a bibliografia acadêmica utilizada no campo da Hidrologia e da Hidráulica, consultar os manuais de drenagem urbana da SUDECAP e do DNIT, foi possível estruturar o roteiro técnico da pesquisa, executar a rotina de cálculos e demais procedimentos investigativos que entraram neste roteiro e, finalmente, chegar ao desfecho da pesquisa: a prescrição de um canal circular de concreto pré-moldado feito a partir do uso de um conduto de livre seção circular com 1500 milímetros de diâmetro nominal. Os resultados do estudo apontaram esta como a melhor solução para o problema existente no local, sendo esta aquela que garantirá a drenagem da água com boa acomodação da vazão existente no local e cumprimento das normas da SUDECAP (2004).

E, tendo sido tecidas estas considerações, considerou-se, portanto, que o objetivo geral desta pesquisa foi pleno e devidamente atingido, sendo oportuno dizer, ainda, que este estudo poderá ser revisado e continuado por profissionais da área.

REFERÊNCIAS

BAPTISTA, Márcio Benedito; COELHO, Márcia Maria Lara Pinto. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. 2.Ed. rev. Belo Horizonte: UFMG | Escola de Engenharia da UFMG, 2003.

DNIT, **Manual de Drenagem de Rodovias, 2006**.

GARCEZ, L. N, & ALVAREZ, G. A, **Hidrologia**, São Paulo. 2ª.Ed Edgard Blucher, 1988.

GIL, Antônio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

HOLTZ, Antonio. C. T, **Vazão de Dimensionamento de Bueiros**, Rio de Janeiro: DER, 1975.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. Fundamentos de metodologia científica. 6. ed. 3. reimpr. São Paulo: Atlas, 2006.

MARTINS, José. A, **Hidrologia Básica**, São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1976.

OLIVEIRA, Maxwell Ferreira de. Metodologia científica: um manual para a realização de pesquisas em Administração. Catalão: UFG, 2011.

PINTO, N. L. S; HOLTZ, A. C. T; MARTINZ, J. A; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**, São Paulo. Ed Edgard Blucher, 1976.

SUDECAP, **Instrução Técnica para elaboração de estudos e projetos de drenagem urbana do município de Belo Horizonte, 2004**.

VILLELA, Swami. M, **Hidrologia Aplicada**, São Paulo: Ed. Mc Graw-Hill do Brasil, 1979