

SOFTWARES AUTOCAD CIVIL 3D E SISCCOH: UMA COMPARAÇÃO METODOLÓGICA DE VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA DE DRENAGEM DE RODOVIAS

SILVA, Gean Carlos Gonzaga da ¹ ; VIANA, Elisiane de Cássia da Silva ² MORAES, Taiane do Carmo Natalino ³ ; FREITAS, Matheus Dellatorre da Silva ⁴ ; RANGEL, Maysa Pontes ⁵ ; LIMA, Amanda Camerini ⁶

Resumo

Pretende-se por esse artigo comparar a metodologia de dimensionamento de um dispositivo de drenagem de transposição de talwegues de rodovia, tendo como ferramenta de trabalho os *softwares* AutoCAD Civil 3D e o SisCCoH. O Civil 3D é uma das inúmeras ferramentas de desenvolvimento de projeto disponibilizado pela empresa AUTODESK, mundialmente conhecida por oferecer produtos de qualidade voltados para o ramo da construção civil. O *software* é uma extensa plataforma BIM possuindo uma vasta janela de possibilidades de edição, construção e análise de projetos. O alvo de estudo, no que diz respeito ao Civil 3D, foi o componente de análise hidráulica *Hydraflow Express Extension*. Já o SisCCoH é um *software* iniciado através

¹ Discente; Centro Universitário Redentor, Engenharia Civil, Itaperuna-RJ, gean.gonzaga99@gmail.com

² Discente; Centro Universitário Redentor, Engenharia Civil, Itaperuna-RJ, elisianedecassia@gmail.com

³ Discente; Centro Universitário Redentor, Engenharia Civil, Itaperuna-RJ, arqtaianecnm@gmail.com

⁴ Discente; Instituto Militar de Engenharia, Engenharia de Transportes, Rio de Janeiro-RJ, eng.dellatorre@gmail.com

⁵ Docente; Centro Universitário Redentor, Planejamento Urbano - Infraestrutura Urbana, Itaperuna-RJ, maysaran@terra.com.br

⁶ Docente; Centro Universitário Redentor, Engenharia e Ciência dos Materiais, Itaperuna-RJ, amandacamerinilima662@gmail.com

de uma parceria de desenvolvimento tecnológico abrangendo empresa e universidade, criado para substituir o programa HIDROwin 2.1, se estabelecendo assim como um software de grande valia para estudantes e profissionais que buscam facilidade nas árduas tarefas de verificação hidráulica de estruturas. Para realização dos estudos hidrológicos foi utilizado o *software Infracworks*, também da empresa AUTODESK, para compreensão dos dados topográficos. Apresenta-se um dimensionamento prévio do bueiro, e uma verificação para as mesmas características construtivas em ambos os *softwares*. Tem-se como resultado uma diferença quanto ao modo operacional do bueiro. Segundo a metodologia de cálculo do SisCCoH, o dispositivo de drenagem trabalha sem carga hidráulica, sendo assim considerado um canal. Entretanto, o *Hydraflow* obteve um bueiro trabalhando como orifício, conseqüentemente, apresentando carga hidráulica à montante. Conclui-se que tal fato, imediatamente, remete-se a metodologia desconforme empregada pelos *softwares*.

Palavras-chave: comparação; civil 3D; hydraflow; siscoh; software.

Abstract

It is intended that this article compares a methodology for dimensioning a drainage device for transposing road cutlery, using AutoCAD Civil 3D and SisCCoH as the working tool. Civil 3d is one of the project development tools provided by the Autodesk company, known worldwide for offering quality products aimed at the construction industry. The software is an extensive BIM platform, with a wide window of possibilities for editing, building and analyzing projects. The target of the study, which does not respect Civil 3D, was the Hydraflow Express Extension hydraulic analysis component. SisCCoH is already a software initiated through a technological development partnership that encompasses company and university, created to replace the HIDROwin 2.1 program, establishing itself as a valuable software for students and professionals looking for the use of hydraulic testing tools structures. Infracworks software, also from the Autodesk company, was used to carry out the hydrological studies to understand the topographic data. A preliminary dimensioning of the manhole is presented, and a check for the same constructive characteristics in both software. As a final result, there is a difference in the manhole operating mode. According to the

calculation methodology of SisCCoH, the drainage device works without hydraulic load, being considered a channel. However, Hydraflow used a manhole working as an orifice, consequently, exhibiting hydraulic load at value. It is concluded that such fact, allowed, remove the methodology if it is not used by the software.

Keywords: comparison; civil 3d; Hydraflow; SisCCoH; software.



1 INTRODUÇÃO

A drenagem de uma rodovia constitui-se em controlar as águas que atingem a estrada, tendo como principal objetivo captá-las e conduzi-las para o desague em locais apropriados, evitando assim o comprometimento da durabilidade e segurança do corpo estradal IPR-724 (DNIT, 2006).

A construção rodoviária é um ramo importante da Engenharia Civil e é fundamental garantir conforto e segurança de quem transita pelas estradas, sendo assim, faz-se necessário um estudo criterioso de todos os condicionantes que possam vir a afetar a composição estrutural, inclusive o sistema de drenagem, o qual deve ser criteriosamente estudado e implantado para que ocorra um eficiente funcionamento das rodovias IPR-724 (DNIT, 2006).

O tempo é considerado um fator de grande importância dentro da construção civil. O avanço da tecnologia da informação (TI) tem como grande premissa o tempo economizado ao se usar um *software* de dimensionamento ou qualquer que seja sua especialidade. Na engenharia civil a parte de projetos toma uma parcela de tempo considerável no nosso dia e o uso de *softwares* que nos possibilitam agilidade é muito bem aceito e se firma atualmente como tendência. Não só enaltecidos pela economia de tempo, os softwares também têm como notável característica a precisão nos dados estudados.

Os *softwares* abordados como objeto de estudo são o AutoCAD Civil 3D da Autodesk Inc., e o Sistemas para Cálculos de Componentes Hidráulicos (SisCCoH) do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais (EHR-UFGM). O AutoCAD Civil 3D nos oferece suporte para diversos projetos de infraestrutura civil como: desenvolvimento de terrenos, águas pluviais e esgoto, aeroportos, estradas, ferrovias e rodovias, entre outros. Portanto, nos auxilia na entrega do projeto, na infraestrutura, na leitura de dados e processos e com extrema rapidez nas alterações do projeto (RAJI *et al.*, 2017). Vale também ressaltar que tudo isso é feito dentro de um ambiente totalmente familiar do AutoCAD, que figura como *software* de sistema *Computer Aided Design* (CAD) mais difundido na engenharia civil (FREITAS-RUSCHEL; FREITAS, 2000). O *software* SisCCoH foi desenvolvido com intuito de facilitar e acelerar a produtividade na engenharia hidráulica. Tem como precursor o HidroWin 2.1 que foi desenvolvido pelo quadro de Iniciação Científica do EHR-UFGM. Com uma interface bastante intuitiva o *software* proporciona ao usuário uma simplicidade notável, sendo necessário pouca familiaridade para começar a desenvolver seu projeto em estudo. O programa oferece uma gama variável de

opções de estruturas hidráulicas a ser trabalhada, por exemplo: canais em enrocamento, bacias de dissipação, escadas hidráulicas, condutos forçados, canais em curva e calha lisa, bueiros, dentre outros. Por ser um *software* aberto, tem sido muito utilizado por profissionais em projetos de engenharia hidráulica, bem como para estímulo acadêmico, servindo como meio de agregador do ensino (ALEXANDRE *et al.*, 2013).

2 REVISÃO BILIOGRÁFICA

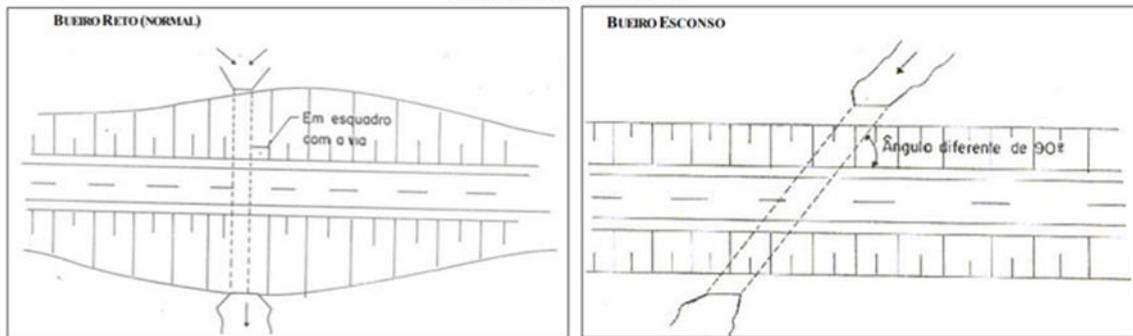
No que se concerne a drenagem de transposição de talvegues os dispositivos utilizados para esse tipo de obra consistem em bueiros, pontes e pontilhões. Usam-se os pontilhões e pontes somente quando a vazão não é suportada pelos bueiros. Os bueiros são compostos por alas e corpo, desempenhando assim a função de possibilitar o acesso livre das águas que acometem a rodovia e evitar que acúmulo indesejado de água seja formado nas laterais do corpo estradal (MORALES, 2003).

Segundo o IPR-724 (DNIT, 2006), os bueiros são classificados de acordo com a forma da seção, o número de linhas, os materiais com os quais são construídos e a esconsidade (Figura 01). A forma da seção apresenta a seguinte distribuição: tubulares, quando possuir uma seção circular; celulares, quando possuir uma seção retangular ou quadrada; especial, elipses ou ovóides, quando possuir seções diferentes das que foram descritas acima. Quanto ao número de linhas são divididos em simples, duplos ou triplos. Quanto aos materiais, podem ser constituídos de concreto simples, concreto armado, chapa metálica corrugada ou polietileno de alta densidade (PEAD) e plástico reforçado de fibra de vidro (PRFV). A última classificação é conforme à esconsidade, que é determinada através do ângulo que será formado, assim, os bueiros têm a possibilidade de serem: normais - quando o eixo dele coincidir com a normal ao eixo da estrada e esconsos - quando o eixo longitudinal dele realizar um ângulo diferente de zero com a normal ao eixo da estrada.

Figura 1: Classificação dos tipos de bueiros.
Quanto à forma e número de linhas

TUBULARES	BSTC – Bueiro Simples Tubular de Concreto	
	BDTC – Bueiro Duplo Tubular de Concreto	
	BTTC – Bueiro Triplo Tubular de Concreto	
CELULARES	BSCC – Bueiro Celular de Concreto	
	BDCC – Bueiro Duplo Celular de Concreto	
	BTCC – Bueiro Triplo Celular de concreto	
EM ARCO	Arco Simples	
	Arco Duplo	

Quanto à esconsidade



Fonte: adaptado de Morales (2003, não paginado)

2.1 Dimensionamento hidráulico

2.1.1 Metodologia de cálculo – SisCCoH

O *software* SisCCoH foi desenvolvido pela UFMG e segue a metodologia de cálculo para bueiros de transposição de talvegues proposta pelo Manual de Drenagem de Rodovias IPR-724 (DNIT, 2006).

O órgão brasileiro segue o dimensionamento para esse tipo de dispositivo utilizando o método da vazão crítica que utiliza as equações hidráulicas de canais, orifícios e vertedouros com algumas modificações para ser utilizada em bueiros. Para bueiros de grota há três tipos de condições hidráulicas na qual o dispositivo pode trabalhar, podendo assumir a função de canal, orifício e vertedouro.

a) Dimensionamento como canal

Segundo Santiago *et al.* (2018), o dimensionamento quando o dispositivo trabalha como canal segue a Equação de Bernoulli (Equação 1) que ao longo de qualquer linha de fluxo a soma das alturas representativas da energia geométrica, piezométrica e cinética são constantes e dadas pela equação da Continuidade (Equação 2)

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + \Delta h = 0 \quad (1)$$

Onde z : linha piezométrica; γ : peso específico constante; p : peso bruto total combinado (kN); g : aceleração da gravidade (m/s^2) e V : velocidade (m/s).

$$Q = A \times v \quad (2)$$

Onde Q : vazão (m^3/s); A : área da seção molhada (m^2); e V : Velocidade (m/s).

Seguindo a metodologia, é necessário calcular qual o regime em que o fluxo se encontra, podendo ser crítico quando é provido do mínimo de energia ($Fr=1$); o supercrítico é regido pela declividade superior à do regime crítico ($Fr>1$); e o subcrítico é estabelecido pela declividade inferior à do regime crítico ($Fr<1$). Seguindo essas condições de fluxo o cálculo se faz pela fórmula de Froude (Equação 3) (SANTIAGO *et al.*, 2018).

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}} \quad (3)$$

Onde Fr : froude (adimensional); v : velocidade (m/s); g : aceleração da gravidade (m/s^2) e h : profundidade (m).

Entretanto, quando o fluxo é caracterizado como uniforme, a fórmula de Chezy-Manning (Equação 4) é utilizada para estabelecer a relação dos elementos do escoamento com a declividade do canal.

$$v = \frac{R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (4)$$

Onde v : velocidade do fluido (m/s); R : raio hidráulico; I : gradiente hidráulico (m/m) e n : coeficiente de rugosidade (adimensional).

Quando o dispositivo estiver trabalhando como canal, o dimensionamento seguirá duas hipóteses: no regime supercrítico ou regime subcrítico. No regime supercrítico a capacidade admissível fica limitada à vazão crítica, obedecendo a condição do bueiro não

trabalhar com a entrada submersa. Para esse caso a energia específica será igual ao seu diâmetro ou altura. Ao longo do bueiro irá acontecer o regime crítico, a declividade deverá ser igual, ou superior, à crítica, de forma que a jusante não limite a capacidade (SANTIAGO *et al.*, 2018).

Já quando o escoamento é considerado subcrítico seu dimensionamento é regido pelas equações gerais de fluxo, utiliza-se as tabelas com a relação de d/D , onde d é o tirante e D o diâmetro do tubo caso tubular, ou B (largura do bueiro) e d para bueiros celulares para a determinação dos coeficientes de vazão e velocidade (K_q e K_v) (SANTIAGO *et al.*, 2018).

b) Dimensionamento como orifício.

No dimensionamento por orifício, é admitido que se tenha carga hidráulica (entrada submersa) utilizando as equações de Bernoulli e da Continuidade, já citadas anteriormente. A vazão dependerá do nível de carga a montante e a jusante, não sendo alterada pela rugosidade, comprimento ou declividade de instalação do bueiro. O nível de água que confere a essa condição de funcionamento é dado pela Equação 5:

$$Hw \geq 1,2D \text{ ou } Hw \geq 1,2H \quad (5)$$

Em que Hw : nível de água a montante (m); D : diâmetro da seção (m) e H : altura do bueiro celular (m).

A velocidade de escoamento do fluxo deve ser obtida através da Equação 6, enquanto a vazão é calculada pela Equação 7.

$$v = \sqrt{2gh} \quad (6)$$

Onde v : velocidade (m/s); g : aceleração da gravidade (m/s^2) e h : profundidade hidráulica (m).

$$Q = C_d \times A \times \sqrt{2gh} \quad (7)$$

Onde Q : vazão (m^3/s); C_d : Coeficiente de descarga (adimensional); A : área da seção (m^2); g : aceleração da gravidade (m/s^2) e h : profundidade hidráulica a montante (m).

c) Dimensionamento como vertedouro

Segundo Santiago *et al.* (2018), para o dimensionamento por vertedouro a obra é considerada como orifício, na qual a altura d'água sobre a borda superior é nula. O escoamento será estabelecido pela largura dos vertedouros projetados, seu número é feito pelo conhecimento prático ou por tentativas, assumindo que a vazão será a divisão da descarga total pela capacidade de cada vertedor. A fórmula de Francis (Equação 8) é utilizada para cálculo da vazão.

$$Q = 1,838 \times L \times H^{\frac{2}{3}} \quad (8)$$

Onde: Q: vazão (m³/s); L: comprimento do vertedouro (m) e H: altura d'água na soleira do vertedouro.

2.1.2 Metodologia de cálculo – AutoCAD Civil 3D

O *software* AutoCAD Civil 3D usa como base de cálculo em sua plataforma de dimensionamento de dispositivos hidráulicos a metodologia da *Bureau Of Public Roads* – Circular nº 5. Ela foi originalmente emitida em 1965 com última atualização em 2012, e tem como órgão emissor a *Federal Highway Administration* (FHWA) – Estados Unidos da América.

O método de dimensionamento da Circular nº 5 foi concebido a partir de vários ensaios experimentais, na qual foi comparado as relações da capacidade de vazão às alturas de água contidas a montante e a jusante do bueiro. Duas metodologias de controle de fluxo são adotadas, controle de entrada e controle de saída, podendo haver a concomitância dos dois tipos de controle.

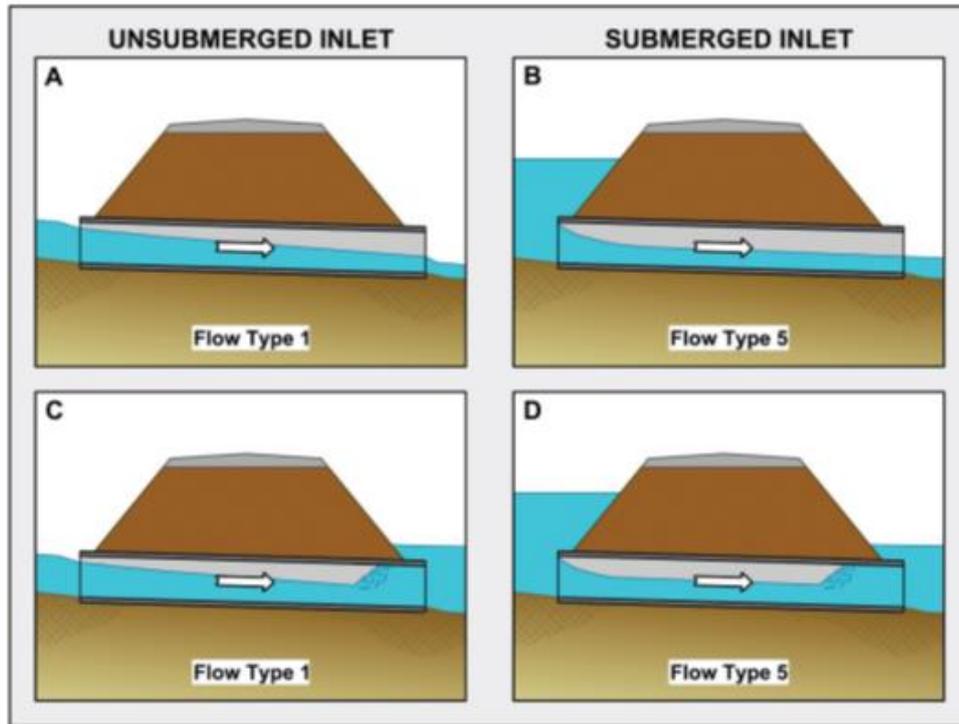
Segundo Santiago *et al.* (2018), quando o controle é realizado na saída, alguns fatores como: energia do fluxo ao sair, inclinação do corpo do bueiro, comprimento e rugosidade são determinantes para a capacidade da estrutura. Entretanto, quando o controle é feito a entrada os fatores determinantes ao controle são: altura d'água a montante e a seção transversal. Dessa forma, efetua-se o cálculo da altura de água a montante para os dois casos e utiliza-se o maior valor.

O maior valor é utilizado partindo da premissa que, segundo a Circular nº 5, é admito que qualquer vazão é capaz de passar pelo bueiro. Alterações no dispositivo como

declividade, rugosidade, geometria e outros fatores, somente implicará na mudança da altura da carga d'água a montante, conseqüentemente ocorrerá uma mudança da velocidade do fluxo.

Segundo a FHWA (2012), os tipos de controle de entrada são dispostos na Figura 02.

Figura 2: Tipos de controle de entrada.



Fonte: FHWA (2012, não paginado)

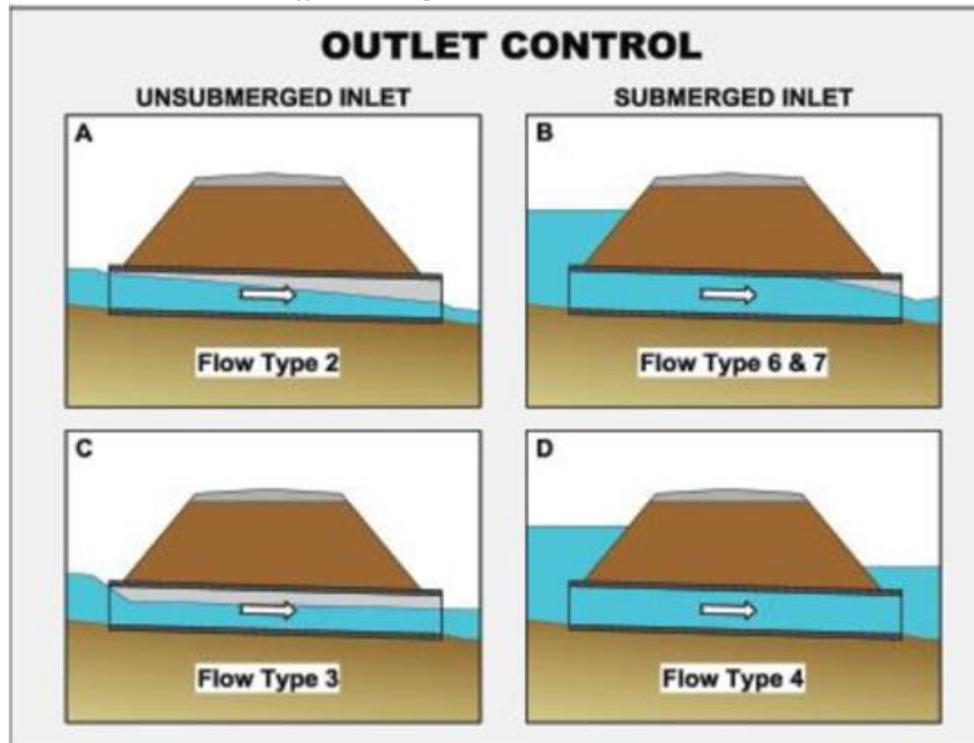
As entradas não submersas ilustradas nas Figuras 02.A e 02.C mostram que o fluxo no tubo é parcialmente cheio e é supercrítico. Na Figura 02.A o corpo do bueiro segue cheio ao longo de seu comprimento, e o fluxo se aproxima da profundidade normal na extremidade da saída. Enquanto na Figura 02.C, a submersão da extremidade de saída não afeta o controle de entrada, nesse caso o fluxo continua supercrítico após a entrada e forma-se um ressalto hidráulico na saída do bueiro.

As Figuras 02.B e 02.D demonstram a entrada do bueiro submersa. Na 02.B a saída é livre com fluxo supercrítico e o corpo do bueiro flui parcialmente cheio ao longo de seu comprimento. Sendo assim, a altura crítica fica logo após a entrada do bueiro e o fluxo se aproxima da profundidade normal na extremidade a jusante do bueiro. A Figura 02.D é uma condição rara na qual a submersão das extremidades de entrada e saída do bueiro não garantem o fluxo total. Poderá ocorrer formação de um ressalto hidráulico dentro do barril,

ocasionando pressões sub-atmosféricas que poderiam alterar a condição de fluxo entre total e parcialmente cheia.

Segundo a Circular nº 5 da *Bureau of Public Roads*, a Figura 03 demonstra os tipos de controle a saída. A imagem 03.A e C o fluxo não submerge a entrada e nem a saída, o corpo do bueiro flui parcialmente cheio ao longo de todo o seu comprimento e o fluxo é caracterizado como subcrítico.

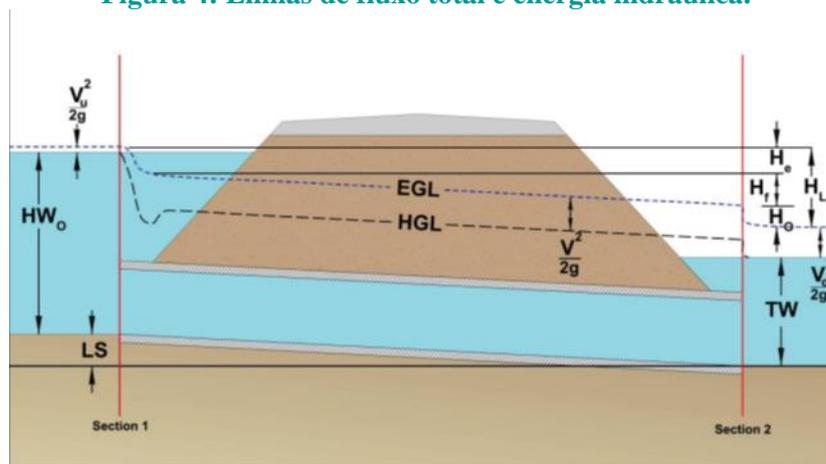
Figura 3: Tipos de controle de saída.



Fonte: FHWA (2012, não paginado)

A Figura 03.B caracteriza que a entrada do bueiro é submersa e a saída livre, para esse tipo de fluxo presume-se que o barril flua completamente cheio na maioria do seu comprimento, e ocorre a mudança da profundidade crítica logo a montante da saída. A Figura 03.D ilustra o fluxo em toda a seção transversal do bueiro, tendo a entrada e saída submersa. Sendo um caso raro, necessitando de uma cabeceira extremamente alta para garantir o fluxo cheio ao longo do corpo do bueiro.

A Figura 04 apresenta uma seção tipo de um bueiro hidráulico demonstrando as linhas de classificação energética (EGL) e hidráulica (HGL) para o fluxo total em um bueiro. As perdas hidráulicas na entrada e saída assim como o atrito podem ser calculados através da Figura 04.

Figura 4: Linhas de fluxo total e energia hidráulica.


Fonte: FHWA (2012, não paginado)

Fórmulas e ábacos de dimensionamentos foram gerados para auxiliar no dimensionamento dos diferentes tipos de bueiros e seus controles de entrada e saída, o *software* usa então, as fórmulas contidas no *Bureau Of Public Roads – Circular nº 5* para o dimensionamento dos dispositivos. Não é o intuito dessa publicação demonstrar o desenvolvimento das equações, dessa forma as mesmas podem ser consultadas na Circular nº 5.

3 ESTUDO DE CASO

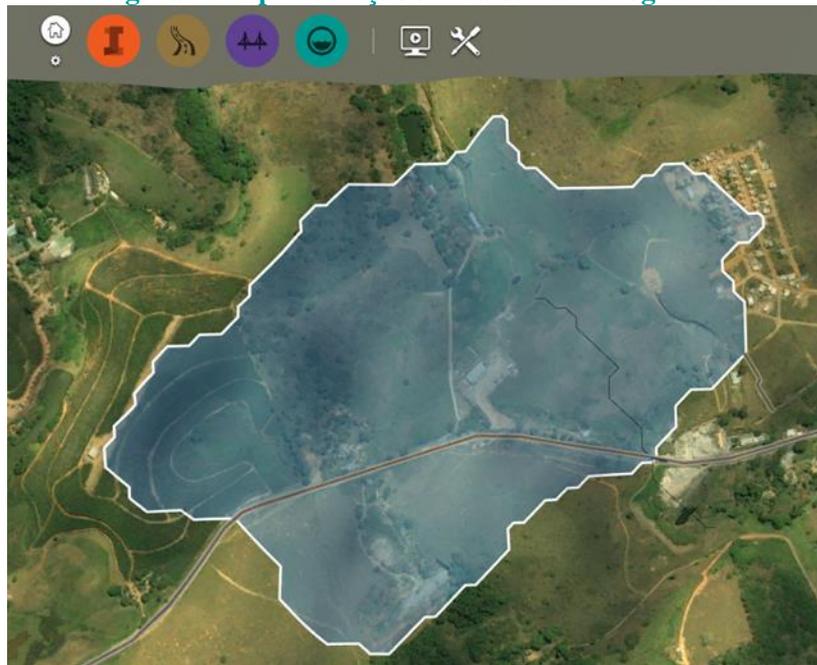
O projeto a ser implantado localiza-se na cidade de Pirapetinga-MG, na BR-393 km 2,2 após a Ponte Rio-Minas sentido à Além Paraíba. Trata-se de uma transposição de talvegue, dimensionando-se assim um bueiro de grota.

3.1 Estudo hidrológico

No estudo da hidrografia do local primeiramente delimita-se a área da bacia de influência do dispositivo. Para a delimitação de bacias hidrográficas são utilizadas as informações advindas do relevo. A superfície do terreno e a distribuição da altitude geram uma estrutura de dados, que é conhecida como Modelo Numérico de Terreno (MNT). Existe basicamente duas formas de se obter um MNT: através de imagens georreferenciadas de satélites ou interpolação de curvas de nível em cartas topográficas (SOBRINHO *et al.*, 2010). Usou-se o método de análise de imagens georreferenciadas do *software Infravorks* versão 2019.

O *software* usado se destaca pela facilidade de uso e entendimento da *interface*. Para obtenção da área de influência, criou-se uma análise da bacia hidrográfica a partir de um ponto baixo da superfície. O *software* triangula as elevações, delimitando assim, um perímetro que siga a direção dos divisores de água do relevo. O processamento entrega uma área e um canal, onde todo o escoamento superficial é direcionado de acordo com as declividades do relevo. A Figura 05 apresenta o modelo georreferenciado obtido, com a área em azul representando a delimitação da bacia de contribuição.

Figura 5: Representação 3D da bacia hidrográfica.



Fonte: AUTODESK INC (c2019, não paginado)

A análise gerou uma área de 0,717 km² possuindo um canal com 451,1 m contendo inclinação de 0,209%. A cota mais alta e mais baixa foram, respectivamente, 231,4 m e 176,8 m. Após obter as características topográficas da bacia, deve-se calcular o tempo de concentração dessa área de influência. De acordo com IPR-715 (DNIT, 2005), o tempo de concentração é definido pelo tempo em que toda a extensão da bacia passe a contribuir para a vazão, sendo o tempo em que o escoamento leva para chegar ao exultório. Existem inúmeros métodos de cálculo para determinação do tempo de concentração. O IPR-715 (DNIT, 2005), apresenta a análise de 15 equações, com aplicação em bacias menores que 2,5 km². Utilizou-se a equação de Kirpich (Equação 9), publicada no “California Culverts Practice”, a fórmula foi originalmente desenvolvida para bacias de até 0,8 km² e se encaixa no estudo em questão.

$$T_c = 0,95 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (9)$$

onde:

T_c : tempo de concentração (hr); L: comprimento do curso d'água (km); e H: desnível máximo (m);

$$\text{Logo, temos: } T_c = 0,95 \left(\frac{0,4511^3}{(231,4-176,8)} \right)^{0,385} = 0,081206 \text{ hr} = 4,87 \text{ min}$$

Determinado o tempo de concentração, agora deve-se encontrar a intensidade de chuva, através da Equação 10 (IDF), que relaciona o fator Intensidade-Duração-Frequência das precipitações.

$$i = \frac{K \cdot T^a}{(t + b)^c} \quad (10)$$

onde: i: intensidade das precipitações (mm/h); T: tempo de recorrência ou período tempo de retorno (anos); t: duração da precipitação ou tempo de concentração da bacia; e “K”, “a”, “b” e “c”: parâmetros que variam de acordo com local;

De acordo com IPR-715 (DNIT, 2005), o tempo de recorrência de um projeto é definido pelo tempo em que um evento pluviométrico demora para ser atingido ou ultrapassado. Tratando-se de drenagem trabalhamos com a enchente de projeto. O tempo de recorrência é estipulado de acordo com a grandeza da obra a ser implementada, garantindo assim sua segurança. Vale ressaltar que quanto maior o tempo de retorno maior é a vazão de projeto e, por consequência, mais dispendioso será o projeto.

Para dimensionamento de bueiros deve-se usar o tempo de retorno de 25 anos IPR-724 (DNIT, 2006). Por fim, aplicando a Equação IDF obtém-se:

$$i = \frac{681,84 \cdot 25^{0,185}}{(4,87 + 5,378)^{0,7}} = 242,54 \text{ mm/h}$$

Com todos os dados obtidos agora pode-se calcular a vazão de projeto. Basicamente, existem três métodos para essa determinação, onde são divididos levando-se em consideração a extensão da bacia. O método racional compreende bacias de até 4 km², o método racional

modificado de 4 – 10 km² e o método do hidrograma triangular sintético para bacias maiores que 10 km². O método a ser utilizado será o racional, descrito pela Equação 11 a seguir:

$$Q = 0,278 . C . i . A \quad (11)$$

$$Q = 0,278 . 0,3 . 242,54 . 0,717 = 14,50 \text{ m}^3/\text{s}$$

onde: C: coeficiente de escoamento superficial; i: intensidade de chuva (mm/h); e A: área da bacia (km²);

3.2 Dimensionamento prévio

O dimensionamento dos bueiros é obtido pela análise da vazão de projeto e escolha das características físicas do dispositivo. O IPR-724 (DNIT, 2006) salienta que “em termos hidráulicos os bueiros podem ser dimensionados como canais, vertedouros ou orifícios” e a possibilidade de ter carga a montante ou não é o que define a escolha do regime. A partir disso podemos definir o termo hidráulico do bueiro a ser dimensionado como canal, por não existir a possibilidade de se ter carga a montante do bueiro, uma vez que a inundação dessa área seria prejudicial para o local situado. Em seu manual o IPR-724 (DNIT, 2006) apresenta a Tabela 01 com as características hidráulicas, geométricas e construtivas dos bueiros que trabalham como canal.

Tabela 1: Vazão, velocidade e declividade crítica de bueiros celulares de concreto trabalhando como canal (ec = d).

Tipo	Base X altura (mxm)	Área molhada crítica (m ²)	Vazão crítica (m ³ /s)	Velocidade crítica (m/s)	Declividade crítica (%)
BSCC	2,0 X 2,5	3,33	13,48	4,05	0,69
BSCC	2,0 X 3,0	4,00	17,72	4,43	0,76
BSCC	2,5 X 2,5	4,17	16,85	4,05	0,58
BSCC	3,0 X 2,0	4,00	14,47	3,62	0,47
BSCC	3,0 X 2,5	5,00	20,22	4,05	0,51
BDCC	2,0 X 2,0	5,33	19,29	3,62	0,62
BDCC	3,0 X 1,5	6,00	17,79	3,14	0,44

Fonte: adaptado IPR-724 (DNIT, 2006, não paginado)

Deve-se escolher agora um tipo de bueiro para compor a verificação hidráulica. A escolha do bueiro, basicamente, se resume por tentativa e erro, até que a verificação retorne com valores que atendam a demanda de projeto. Usa-se primeiramente o bueiro com vazão crítica mais próxima da vazão afluente, então é realizada a verificação hidráulica. Para efeito de cálculo será utilizado um bueiro simples celular de concreto (BSCC) de 3 metros de base e 2 metros de altura para realização da análise. A verificação hidráulica do dispositivo depende também de informações sobre assentamento, inclinação e comprimento. Tais informações estão contidas na Tabela 02, apresentada abaixo:

Tabela 2: Dados do bueiro.

Vazão afluente (m³/s)	Coef. Manning	Declividade (m/m)	Comprimento (m)	Base (m)	Altura (m)	Altura de aterro (m)
14,5	0,015	0,00341	25	3	2	3

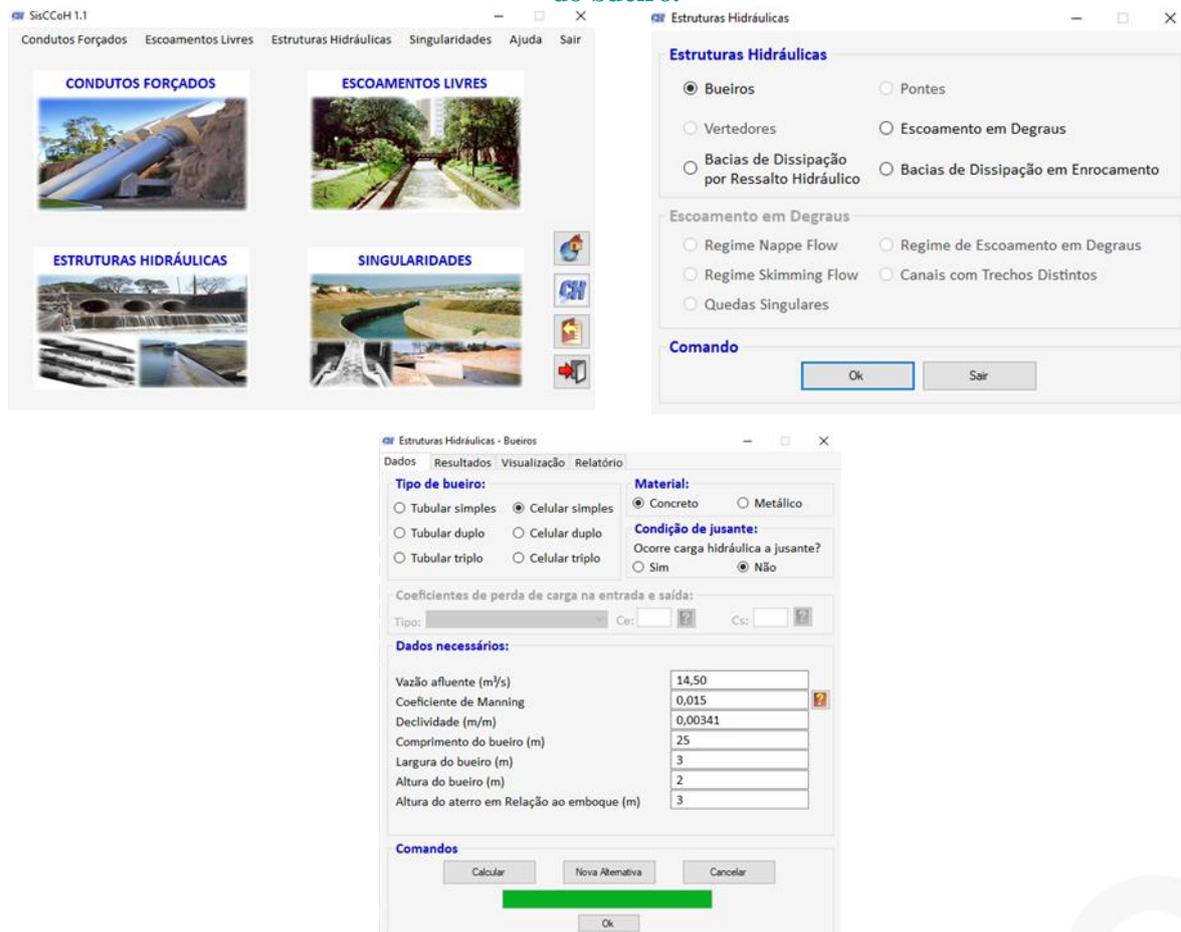
Fonte: os autores

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Verificação hidráulica pelo SisCCoH

A verificação hidráulica pelo SisCCoH consiste em inserir as características do dispositivo de acordo com o que é solicitado. A primeira tela do *software* apresenta as opções de análise de condutos forçados, escoamentos livres, estruturas hidráulicas e singularidades de canais (Figura 06.A). O dispositivo em questão se encaixa em estruturas hidráulicas. Ao selecionar estruturas hidráulicas o *software* redireciona-se para uma aba que solicita a escolha do tipo de estrutura hidráulica (Figura 06.B). Seleciona-se bueiros e segue-se em frente. O programa apresenta outra aba onde deve-se inserir as características da estrutura dimensionada previamente (Figura 06.C).

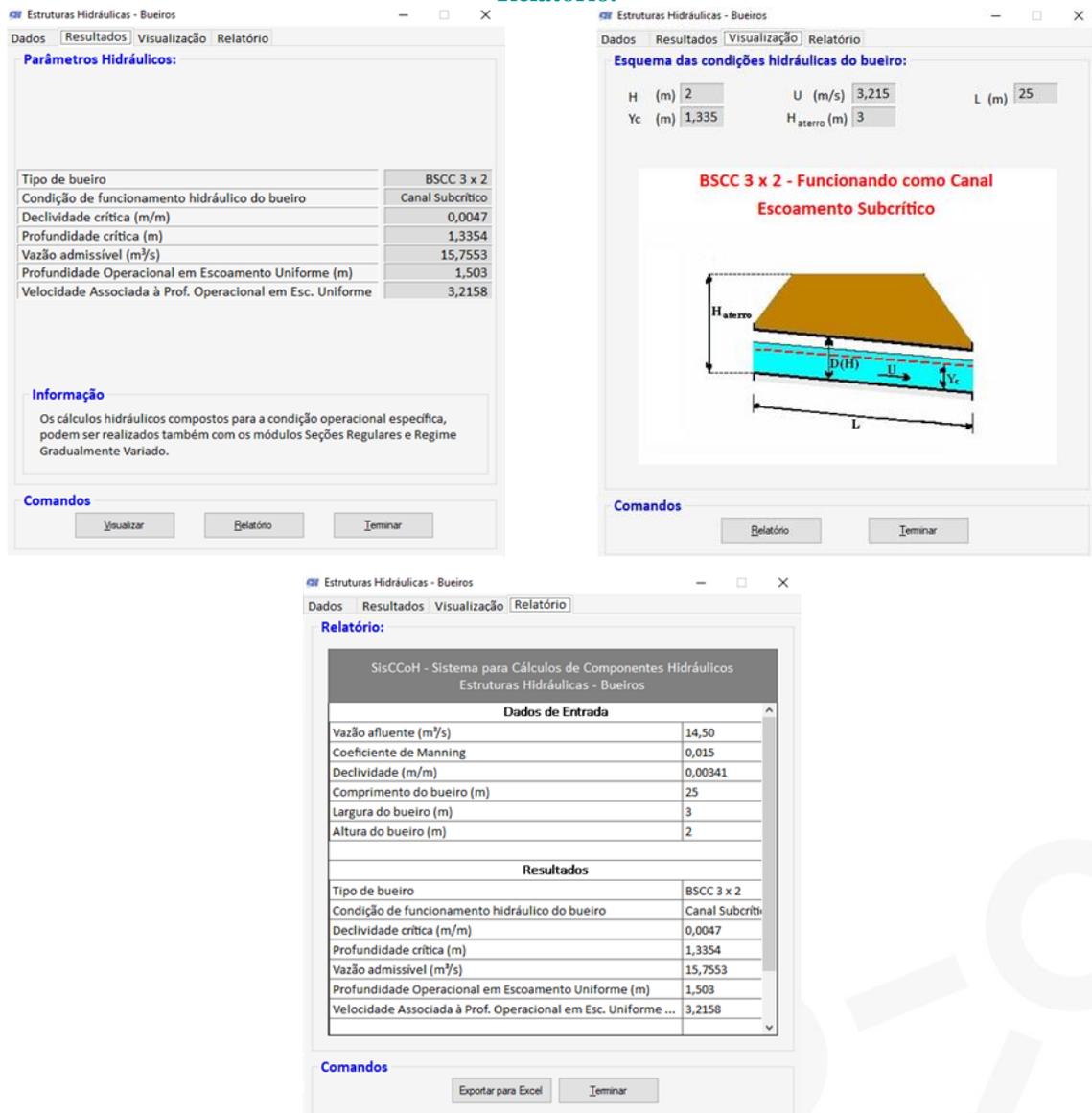
Figura 6: Software SisCCoH. A - Tela inicial; B - Estruturas hidráulicas; C - Inserção de dados do bueiro.



Fonte: EHR (c2017, não paginado)

Ao final basta selecionar a opção “calcular” e esperar o *software* processar os dados. Será exibida a barra de carregamento com a cor verde como na Figura 06.C. Avançando em “ok”, muda-se a aba e são mostrados os resultados, explicitando os dados de funcionamento da estrutura Figura 07.A. Na parte inferior tem-se ainda nos comandos as opções de “visualizar” e “relatório”. Na aba “visualizar” é possível verificar um desenho básico de representação do bueiro com a lâmina d’água, sob um aterro (Figura 07.B). Por fim, na última aba “relatório” é onde encontram-se todos os dados da verificação hidráulica do dispositivo, tendo como opção a exportação da mesma para uma planilha no programa Excel.

Figura 7: Resultados SisCCoH. A - Parâmetros hidráulicos; B - Representação gráfica; C – Relatório.



Fonte: EHR (c2017, não paginado)

Mediante ao exposto, finda-se a verificação hidráulica do dispositivo. Logo, é conhecido que o bueiro trabalha como canal em regime subcrítico, tendo uma vazão admissível de, aproximadamente, 15,75 m³/s.

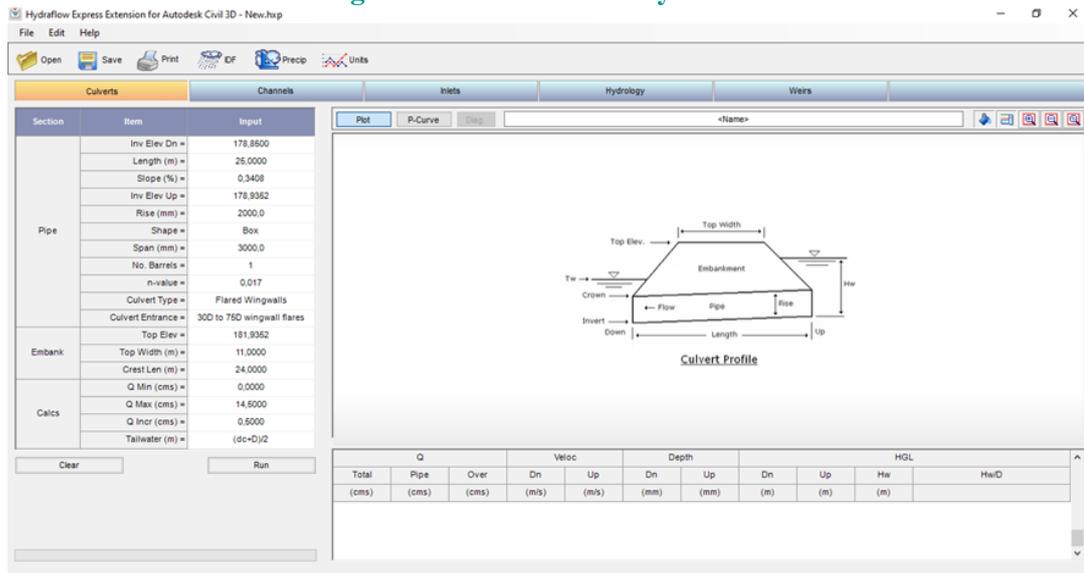
4.2 Verificação hidráulica pelo AutoCAD Civil 3D

O AutoCAD Civil 3D por ser um *software* de plataforma BIM apresenta uma interface mais intimidadora, por assim dizer. Ao se abrir um projeto as possibilidades de edição e estudo são inúmeras. Dentro do *software* é possível se dimensionar redes de drenagem por 3 componentes diferentes.

O *Storm and Sanitary Analyze* se apresenta como o componente de cálculo mais complexo. Pode-se exportar redes de tubulação do AutoCAD Civil 3D e suas áreas de contribuição associadas para uma posterior edição e verificação hidráulica, dentre outras inúmeras utilidades.

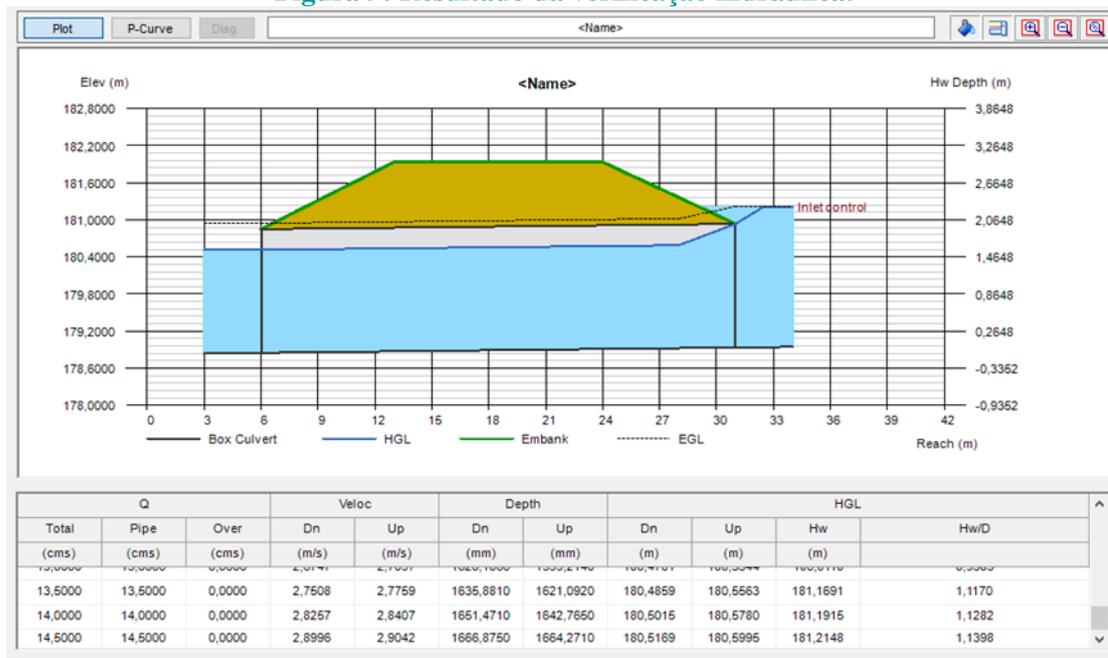
O *Analyze Gravity Network* é um componente que se baseia nas normas da HEC-22 do Manual de Projeto de Drenagem Urbana da FHWA (BROWN *et al.*, 2009). É possível utilizar o comando para redimensionar as tubulações e redefinir as geratrizes e para calcular as linhas de declividade de energia e hidráulica. Ambos os componentes citados necessitam de um projeto em andamento dentro do AutoCAD Civil 3D, a partir daí a análise será iniciada ao se exportar o trabalho para eles.

Por fim, apresenta-se o *Hydraflow Express Extension*, que será o alvo de estudo neste tópico. O *Hydraflow* é um componente para solucionar problemas típicos de hidráulica e hidrologia. Ele aborda uma ampla variedade de tarefas, incluindo bueiros, canais abertos, entradas d'água, hidrologia de bacias e pequenos canais, como vertedouros e calhas Parshall. Possui uma interface bem intuitiva, que entrega um rápido entendimento. O componente pode ser acessado por meio da linha de comando do AutoCAD Civil 3D simplesmente digitando "Start Express" e dando *Enter*. A segunda opção de abertura é selecionando a aba "Analyze", em sequência abrindo a opção "Design" e por último selecionando "Launch Express". Ao executar o comando uma nova janela é aberta e é carregado o programa fora do ambiente AutoCAD. A tela inicial do programa oferece na parte superior as opções de dispositivos a serem estudados. Seleciona-se "Culverts", e em sequência é apresentado no canto esquerdo da tela uma grade de entrada simples, onde deverá ser preenchida com as características do dispositivo, características do aterro e as especificações de cálculo. À direita é apresentado um guia ilustrativo da composição aterro/estrutura com as respectivas especificações de cada item a ser preenchido na grade à esquerda. Na parte inferior dessa representação possui uma tabela contendo informações de vazão, velocidade, altura e linha de classificação hidráulica (HGL). É possível verificar tudo isso a partir da Figura 08 apresentada abaixo.

Figura 8: Tela inicial do Hydraflow.


Fonte: AUTODESK INC (c2020, não paginado)

O programa tem a opção de trabalhar com duas unidades, a do SI e a usada no Estados Unidos. Para trocar basta clicar na parte superior da tela em “Units” e selecionar a que desejar. Inicia-se a verificação preenchendo a grade de acordo com a sequência: cota de assentamento a jusante; comprimento da estrutura; inclinação; cota de assentamento a montante; altura do bueiro (em caso de bueiro circular ao se inserir o valor da altura, o valor de largura será automaticamente preenchido com o mesmo valor), forma da seção transversal; largura; número de linhas de bueiro; coeficiente de *Manning*; tipo de bueiro de acordo com a forma selecionada acima; tipo de boca; cota da superfície da rodovia acima do bueiro; largura da parte superior do aterro; largura da parte inferior do aterro; vazão mínima afluente; vazão máxima afluente; vazão de incremento (um valor igual a 1 significa que será gerada uma verificação de 1 em 1 m³/s); e o método de cálculo da geratriz. Após preencher todos esses dados basta em clique em “Run” para o programa rapidamente realizar a análise hidráulica do dispositivo. A Figura 09 apresenta o resultado da análise hidráulica.

Figura 9: Resultado da verificação hidráulica.


Fonte: AUTODESK INC (c2020, não paginado)

De acordo com a ilustração da seção, percebe-se que o bueiro trabalha como orifício, possuindo um controle de entrada. A linha tracejada representa a linha de energia. Nota-se que, ela supera a altura do bueiro, logo o bueiro tem seu montante em estado de inundação. Na parte inferior da Figura 09 é apresentada a tabela com os resultados. A parte de vazão (Q) total significa a vazão afluente, a vazão da tubulação significa a vazão que o tubo suporta e “over” significa a vazão que ultrapassa a altura máxima do aterro. Em velocidade (Veloc) é mostrada a velocidade de entrada e de saída. Em altura (Delph) é apresentada à altura da linha d’água de entrada e de saída. Em HGL são apresentados os valores referentes as linhas de energia do bueiro. Por fim, no canto esquerdo superior em “File” tem-se a opção “Export” onde pode-se exportar os resultados em forma de texto, para posteriormente ser importado para o Excel (MICROSOFT, c2016).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há algum tempo já se sabe a eficácia de *softwares* que tem por objetivo a economia de tempo ao se realizar tarefas de verificações de parâmetros, qual seja a área. No que se refere a drenagem de rodovias, tem-se uma enorme quantidade de verificações hidráulicas a se fazer, para entrega do melhor dimensionamento possível. De acordo com os estudos realizados não sobra dúvidas sobre a questão economia de tempo, tendo como resultado a certificação dela.

O dimensionamento prévio teve como resultado um bueiro celular simples de concreto com dimensões de 3 metros de largura por 2 metros de altura.

A análise usando o *software* SisCCoH, apresentou um bueiro trabalhando como canal em regime subcrítico. Porém, o AutoCAD Civil 3D usando o componente *Hydraflow*, retorna os resultados explicitando um bueiro trabalhando com carga hidráulica à montante, ou seja, como orifício. Tal divergência é verificada pelos métodos de cálculo usado por cada programa. O SisCCoH, como já mencionado, trabalha com o dimensionamento a partir das equações apresentadas pelo IPR-724 (DNIT, 2006). Por ser um *software* desenvolvido no Brasil é completamente compreensível a escolha do método de cálculo. O componente *Hydraflow* é desenvolvido pela Autodesk, empresa americana. Logo a metodologia de cálculo é a mesma usada pelo FHWA no *Hydraulic Design of Highway Culverts*.

O método americano admite que uma vazão superior a suportada pelo dispositivo pode passar pela seção transversal utilizada, a carga hidráulica a montante contribui para o aumento da velocidade de escoamento do fluxo. Enquanto, a metodologia usada pelo DNIT permite que o bueiro trabalhe como orifício até que a carga hidráulica a montante equivalha a 2 vezes a altura do dispositivo.

Não é mencionado na Circular nº 5 a velocidade máxima admitida dentro do bueiro, entretanto é preconizado que se tenha dispositivos de amortecimento hidráulicos quando a velocidade do fluxo for causar erosão no terreno a jusante. Cita-se também a ampla metodologia demonstrada no manual para os tipos de controle de entrada, fator que possibilita a capacidade de carga a montante do bueiro sem que o aterro da estrada seja prejudicado pela inundação.

Os manuais se diferem em inúmeros pontos, apesar do DNIT usar e recomendar a utilização de algumas metodologias na versão americana. No Brasil, por exemplo, é considerada uma falha de dimensionamento quando ocorre um transbordo da água à montante de um bueiro, entretanto, esse fenômeno é ponderado no método de cálculo americano. A cobertura de água no aterro é aceita quando se têm um trecho de rodovia que cruze uma várzea. Em rodovias que se encaixam no Sistema de Rodovias Nacional é pouco frequente o acontecimento (FHWA, HIF-12-026). Porém, se a cobertura for medida de mitigação pouco frequente e exagerada não é utilizada e os danos das inundações são reparados após eventos de inundação, sendo acionadas cartilhas de contramedida do HEC-23.

Em síntese, na Figura 10 apresenta-se um infográfico com a comparação de alguns parâmetros encontrados nos resultados dos dois *softwares* estudados. Cada ponto em

comparação possui uma pontuação que varia de 1 a 10, tendo como critério aspectos baseados na experiência como usuário. Ao final da comparação é mostrado o somatório de pontos de cada *software*, deixando evidenciado de forma clara as características de cada um, facilitando aos usuários a escolha de qual *software* usar em cada situação específica.

Figura 10: Comparação de parâmetros.



Fonte: os autores

REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, G. *et al.* Software Siscoh – Sistema para cálculos de componentes hidráulicos. **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, não paginado, 2013. Trabalho apresentado no XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, [Rio Grande do Sul, RS].

ALVES, T. S. *et al.* Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola**, [S.l.], v. 30, n. 1, p. 46-57, 2010.

AUTODESK INC. **Infraworks**. 2019. [S.L.]: AUTODESK INC, 2019.

AUTODESK INC. **Civil 3D**. 2022. [S.L.]: AUTODESK INC, 2022.

BROWN, S. A. *et al.* **Urban drainage design manual–hydraulic engineering circular 22 (HEC-22)**. Virginia: FHWA-NHI-10-009, US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, DC and National Highway Institute, 2009.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS. (UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS). **Sistemas para Cálculos de Componentes Hidráulicos (SisCCoH)**. Versão 1.1. 2017. Minas Gerais: EHR, c2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **IPR-724: Manual de drenagem de rodovias**. 2. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem**. Rio de Janeiro: DNIT, 2005.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Hydraulic design of highway culverts**. Fort Collins: FHWA, 2012.

FREITAS-RUSCHEL, R. C.; FREITAS, M. R de. CAD na cabeça: Pesquisa aponta perfil do estúdio digital. **Arquitetura & Urbanismo**, São Paulo, v. 16, n. 90, p. 94-95, 2000.

MICROSOFT. **Excel**. Versão 2016. [S.L.]: Microsoft, c2016.

MORALES, C. P. R. D. **Curso de drenagem urbana e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2003.

RAJI, S. A. *et al.* Geometric Design of a Highway Using Autocad Civil 3d. **Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST)**, [S.L.], v. 4, n. 6, 2017.

SANTIAGO, C. L. *et al.* **Análise dos métodos de dimensionamento de bueiros**. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2018. Disponível em: <http://transportes.ime.eb.br/etfc/monografias/MON101.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2020.

COMO CITAR ESTE ARTIGO

ABNT: SILVA, G. C. *et al.* Softwares AutoCAD civil 3D e Sisccoh: uma comparação metodológica de verificação hidráulica de drenagem de rodovias. **Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico**, Itaperuna, v. 06, n. 2, p. 1-25. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.20951/2446-6778/v6n2a2>.

AUTORES CORRESPONDENTES

Nome completo: Gean Carlos Gonzaga da Silva

e-mail: gean.gonzaga99@gmail.com

Nome completo: Elisiane de Cássia da Silva Viana

e-mail: gean.gonzaga99@gmail.com

Nome completo: Taiane do Carmo Natalino Moraes

e-mail: gean.gonzaga99@gmail.com

Nome completo: Matheus Dellatorre da Silva Freitas

e-mail: gean.gonzaga99@gmail.com

Nome completo: Maysa Pontes Rangel

e-mail: gean.gonzaga99@gmail.com

Nome completo: Amanda Camerini Lima

e-mail: gean.gonzaga99@gmail.com

RECEBIDO

20. dezembro. 2020.

ACEITO

21. junho. 2020.

PUBLICADO

30. junho. 2021.

TIPO DE DOCUMENTO

Artigo Original