

IV-016 – CARACTERIZAÇÃO DE NÍVEIS HIDROMÉTRICOS DE ALERTA E EMERGÊNCIA DE INUNDAÇÕES COM APLICAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ÁGUAS VERMELHAS, JOINVILLE, SC.

Bianca Michels⁽¹⁾

Graduanda do curso de Engenharia Civil pela Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Virgínia Grace Barros⁽²⁾

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Regional de Blumenau (FURB). Doutora em Ciências Ambientais – Università Ca' Foscari di Venezia. Professora do programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UDESC-Joinville.

Maiko Bindemann Richter⁽³⁾

Engenheiro Ambiental formado pela Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE.

Dieter Klostermann⁽⁴⁾

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agroecossistemas pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

Endereço⁽¹⁾: Rua Paulo Malschitzki, 200 – Zona Industrial Norte – Joinville – SC – CEP: 89219-710 – Brasil – Tel: (47) 9924-5571 - e-mail: bianca.michels@hotmail.com.

RESUMO

A influência das precipitações sobre o ambiente e suas consequências sobre as atividades humanas, de valor socioeconômico, principalmente, apontam para a necessidade do monitoramento regional da incidência das chuvas. Por outro lado, a disponibilidade e a qualidade de dados hidrológicos é uma questão limitante para realização de estudos sobre a ocorrência de inundações e chuvas fortes. Desse modo, este trabalho tem o objetivo de fazer um estudo de níveis hidrométricos de alerta e emergência de inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Águas Vermelhas, na cidade de Joinville, SC, através do levantamento de dados de vazão em uma seção do rio Águas Vermelhas, de modo a estimar, por meio do ajuste de equações teóricas, as vazões e níveis de inundação críticos da bacia. O trabalho tem também o propósito de incentivar a articulação entre instituições municipais, estaduais e federais de modo a estabelecer estratégias de resiliência perante eventos extremos na região estudada. A metodologia deste trabalho seguiu um roteiro elaborado para que, através do estudo da região e coleta de dados de vazão da bacia, fosse possível realizar o ajuste das equações. Os resultados apresentaram equações com pouca confiabilidade, pois necessitariam de maior número de dados para comprovar a eficácia das mesmas, já que, devido a problemas enfrentados nas saídas de campo, foi possível utilizar no trabalho apenas dados de 3 dias de medições. Foram ajustadas diferentes equações em função do perímetro molhado e do coeficiente de manning. O resultado de vazão mais elevado calculado através da equação 2 ajustada durante o período de medições do trabalho foi de 29,214 m³/s, que já caracterizou situação de emergência na região, com uma altura linimétrica de 3,85 metros. O trabalho demonstrou os benefícios do exercício conjunto entre órgãos públicos e privados e apontaram para a importância da gestão de alertas de emergência de inundações, bem como elaboração de estratégias de resiliência para as regiões mais atingidas pelas inundações dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Águas Vermelhas.

PALAVRAS-CHAVE: Inundação, vazão, atenção, alerta, emergência.

INTRODUÇÃO

Desastres naturais tem se tornado cada vez mais frequentes, (UFSC, 2012) e estudos relacionados aos mesmos são de grande importância para a sua prevenção e redução de suas consequências. Dentre eles, as inundações estão entre as que mais causam impactos à população de uma região, e o aumento do número de suas ocorrências com consequências devastadoras tem despertado o interesse de diversos setores da sociedade por medidas que permitam antecipar esses eventos – podendo, assim, reduzir seus impactos em relação a vidas e danos a propriedades.

Por outro lado, a disponibilidade e a qualidade de dados hidrológicos é uma questão limitante para realização de estudos sobre a ocorrência de inundações e chuvas fortes. Como consequência, as ações de prevenção e resposta a eventos de inundações em várias regiões do mundo são prejudicadas, já que existem poucos dados confiáveis registrados para pesquisas, de acordo com Sampaio (2011). Desse modo, o estudo do comportamento de rios em regiões propensas à ocorrência de inundações, análise dos dados de vazão e precipitação, bem como estudo de modelos hidrológicos de bacias hidrográficas, vem ao encontro da necessidade de prevenção de catástrofes que tem como consequência perdas e transtornos socioeconômicos às populações.

No Brasil, por exemplo, as ocorrências de desastres naturais tiveram um aumento de 268% no ano 2000, em comparação com os dez anos anteriores (SCHADECK, 2013) e, segundo o autor, a partir do final dos anos 90, com o aumento das ocorrências de desastres naturais no país, surgiu o conceito de comunidades resilientes.

Dentro desse contexto, este trabalho busca desenvolver uma equação para previsão da vazão de uma seção do Rio Águas Vermelhas (RAV), na região do Jativoca, no bairro Nova Brasília localizado no Município de Joinville (SC), a partir de dados de níveis d'água. O RAV possui carência de dados hidrológicos confiáveis e atualizados e, está localizado numa região onde ocorrem frequentemente inundações quando aumenta o índice de precipitação na cidade, fenômeno que afeta um grande número de pessoas, uma população de 13.787 habitantes no bairro Nova Brasília, segundo a Fundação Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville (IPPUJ, 2011), e traz grandes prejuízos socioeconômicos à população. Por isso, a importância de estudos maiores nessa região.

Para a consecução dos objetivos foi feita uma articulação interinstitucional envolvendo a Defesa Civil do Município de Joinville, a Defesa Civil do Estado de Santa Catarina, o Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres (CEMADEN), a Secretaria do Meio Ambiente (SEMA), através da disponibilização de recursos humanos e materiais (uso de seus equipamentos de medição hidrológicos) e o Corpo de Bombeiros Voluntários de Joinville. Esta articulação está ratificada pela Conferência Intermunicipal de Proteção de Defesa Civil.

MATERIAIS E MÉTODOS

A partir deste item, o trabalho seguiu seis etapas: a primeira descreve a área de estudo, a segunda os métodos e cálculos utilizados no trabalho e, as demais etapas demonstram a sequência da metodologia do trabalho em si e seus resultados correspondentes. Essas etapas estão descritas nos itens que seguem.

PRIMEIRA ETAPA: DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Rio Águas Vermelhas, localizado na cidade de Joinville (SC), no bairro Nova Brasília, mais precisamente dentro da região do loteamento do Jativoca, é uma área sujeita a inundações frequentes dentro da BHRV (Bacia Hidrográfica do Rio Águas Vermelhas), sendo esse rio considerado um dos principais afluentes da BHRP (Bacia Hidrográfica do Rio Pirai), segundo Uberti (2011).

A BHRV é, na verdade, uma sub bacia da BHRP, sendo o RAV um de seus principais afluentes.

Segundo mapas elaborados pela Defesa Civil da cidade, a área da BHRV é de 88,63 km² e se estende desde a barragem de captação de água do rio Mutucas (um de seus afluentes), próximo ao bairro de Pirabeiraba, até seu desague no rio Pirai, próximo à estação hidrológica instalada pela defesa civil da cidade (Figura 1). Essa região conta com o monitoramento de duas estações meteorológicas e uma estação pluviométrica, representadas também na Figura 1, onde são representadas também, o local das cinco batimetrias realizadas no Rio Águas Vermelhas no Projeto de Dragagem realizado no ano de 2014 pela Secretaria de Infraestrutura Urbana da cidade de Joinville (SEINFRA).

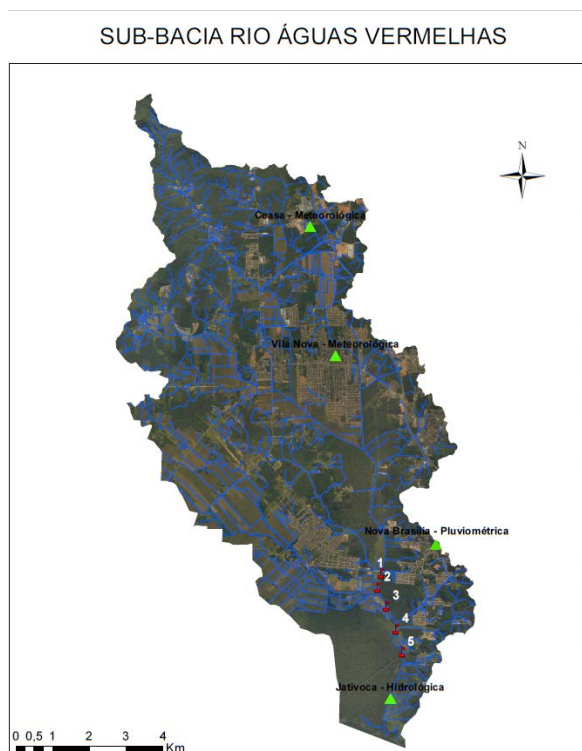


Figura 1 – Delimitação da Sub-bacia do Rio Águas Vermelhas (Joinville – SC).

SEGUNDA ETAPA: MÉTODOS DE CÁLCULO UTILIZADOS

Este item se refere aos métodos de cálculos utilizados para a consecução dos resultados do presente trabalho e estão descritos nos subitens que seguem.

MÉTODO DA MEIA SEÇÃO

Santos *et al.* (2001) descrevem o método da meia seção como o que faz o cálculo das vazões parciais através da multiplicação da velocidade média em cada vertical pelo produto da profundidade média da vertical correspondente pela soma das semi distâncias às verticais adjacentes, desprezando nesse método, o cálculo das parcelas de áreas da seção transversal junto às margens. Segundo Coelho (2011), as vazões são parcialmente calculadas para cada divisão entre as verticais, representada na Figura 2, a partir da média das profundidades e das velocidades entre as verticais envolvidas.

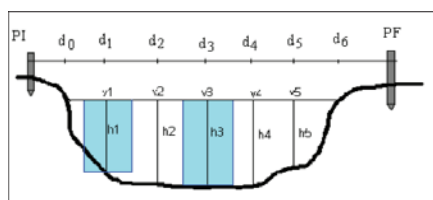


Figura 2 – Representação das verticais pelo método da meia seção

Desse modo, calculam-se as larguras, as áreas e as vazões de cada segmento através das equações:

$$l_n = \frac{d_{n+1} + d_{n-1}}{2} \quad \text{equação (1)}$$

$$a_n = l_n * h_n \quad \text{equação (2)}$$

$$q_n = v_n * a_n \quad \text{equação (3)}$$

Onde:

ln = largura do segmento n (m);
 dn = distâncias entre os segmentos (m);
 an = área do segmento n (m²);
 hn = profundidade do segmento n (m);
 qn = vazão do segmento n (m³/s)
 vn = velocidade do segmento n (m/s).

Após o cálculo dessas variáveis para cada seção, encontram-se, portanto, os valores totais das mesmas, vazão, área e velocidade média, respectivamente, representadas nas equações numeradas de 4 a 8, bem como os valores de largura e profundidade do rio.

$$Q = \sum qi \quad \text{equação (4)}$$

$$A = \sum ai \quad \text{equação (5)}$$

$$V = \frac{Q}{A} \quad \text{equação (6)}$$

$$L = dn - d1 \quad \text{equação (7)}$$

$$P = \frac{A}{L} \quad \text{equação (8)}$$

Onde:

Q = vazão total da seção (m³/s);
 A = área total da seção, conhecida como área molhada (m²);
 V = velocidade média na seção (m/s);
 L = largura da seção (m);
 d = distância entre as verticais (m);
 P = profundidade média do rio (m).

Outro método muito utilizado para cálculo de escoamento de um rio, e, também utilizado nesse trabalho é o método de Manning, descrito no subitem que segue.

MÉTODO DE MANNING

A fórmula mais conhecida para dimensionamento de condutos livres, de acordo com Tomaz (2013), usada no Brasil, Estados Unidos e demais países de língua inglesa, é a fórmula experimental do engenheiro irlandês R. Manning (1816-1897) elaborada em 1891. A fórmula de Manning, segundo o autor, é utilizada para estimar o escoamento de um rio, de modo a calcular a velocidade e, uma vez que já conhecemos o comprimento, obter o tempo de escoamento da água de chuva também chamada tempo de trânsito. A fórmula de Manning, descrita por Chow, Maidment e Mays (1988, tradução nossa), utilizada para qualquer seção de tubulação e canal com regime turbulento é representada na equação 9.

$$V = \left(\frac{1}{n}\right) * R^{2/3} * S^{1/2} \quad \text{equação (9)}$$

Sendo:

V = velocidade média na seção (m/s);
 n = coeficiente de Manning;
 R = raio hidráulico (m). O raio hidráulico é o quociente entre a área molhada e o perímetro molhado;
 S = declividade (m/m).

De acordo com Piza (2013) existem algumas tabelas que determinam o valor do coeficiente de Manning de acordo com o a rugosidade da seção estudada, representados na Tabela 1, por exemplo.

Tabela 1 – Coeficientes de Rugosidade de Manning (elaborada por Chow, 1959)

Material		Coeficiente de rugosidade de Manning
Concreto		0,012
Fundo de cascalho e margens	Concreto	0,020
	pedra argamassada	0,023
	pedras	0,033
Canais de fluxo natural		
Limpos com fluxo retilíneo		0,03
Limpos com fluxo curvilíneo		0,04
Curvilíneos com mata e piscinas		0,05
Com muita vegetação e madeira		0,1
Canais com propensão a inundações		
Região de pastos		0,035
Região de campo		0,04
Região levemente vegetada com presença de madeira		0,05
Densamente vegetados		0,07
Com presença de árvores		0,1

TERCEIRA ETAPA: LEVANTAMENTO DE DADOS DE VAZÃO

O estudo prático hidrológico da BHRAV se iniciou com a realização das saídas de campo até a seção de interesse do rio, onde se localiza a estação hidrométrica do Jativoca, pertencente à Defesa Civil de Joinville, onde foram efetuadas as medições de vazão. Esse local foi escolhido como ponto de interesse de medições por se localizar próximo às áreas de inundação e também por estar próxima a estação hidrométrica da Defesa Civil do Município.

Foram realizadas no total seis saídas de campo: em cinco foram utilizados o equipamento ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) pertencente a Prefeitura Municipal de Joinville, do fabricante *Sontek* e, em uma o Fluxômetro de modelo *Flowatch Swissmade*, do laboratório de hidrologia da UDESC. Porém, devido a problemas de transmissão de dados ocorridos com o ADCP em três medições, só foram possíveis utilizar nesse trabalho os valores relativos a três medições de vazão no total.

As saídas de campo foram realizadas juntamente com a Defesa Civil da cidade de Joinville, com a SEMA, com o Corpo de Bombeiros Voluntários de Joinville, bem como com aluno voluntário da UDESC (Universidade do Estado de Santa Catarina) e professora orientadora.

A descrição das saídas de campo com os dois aparelhos utilizados estão apresentadas nos subitens que seguem.

MEDIÇÕES REALIZADAS COM O ADCP (*ACOUSTIC DOPPLER CURRENT PROFILER*)

O ADCP é um equipamento utilizado para medir vazões através do método acústico (Santos *et. al* 2001). Esse aparelho mede a vazão de uma seção qualquer baseado no efeito Doppler, obtendo informações através da análise do eco de pulsos de ultrassom refletidas pelas partículas em suspensão na água e pela superfície sólida do fundo do rio. Ou seja, consiste em uma característica das ondas de, quando emitidas ou refletidas por um objeto em movimento com relação a um referencial, possibilitarem, dessa forma, a medição da velocidade de algum objeto (Gebara, Honório e Oliveira, s.d.).

De modo geral, Santos *et al.* (2001) afirmam que durante a travessia do aparelho, é feita a batimetria, o levantamento do perfil da trajetória e os perfis e direções de velocidades, que, calculados, resultam num valor de vazão da seção.

Durante as medições realizadas com o ADCP, foram utilizadas cordas, estacas com roldanas, o próprio aparelho, bem como o programa *RiverSurveyor*, instalado em um notebook. Para que fosse possível realizar as medições, as margens dos rios foram estaqueadas com roldanas que, com o uso de uma corda resistente encaixada nas mesmas, guiava o aparelho durante a medição. Esse sistema foi montado com o objetivo de facilitar a locomoção do aparelho entre uma margem e outra, sem a necessidade de haver um operador na margem oposta do rio, que nessa seção, é de difícil acesso (Figura 3).



Figura 3 – Foto da realização da medição de vazão com o ADCP

As medições realizadas com o ADCP transmitiam seus resultados via rádio para o programa computacional *River Surveyor*, também elaborado pela Sontek, que traçava instantaneamente as características da seção do rio, bem como velocidade do barco, do fluxo d'água e vazão.

MEDIÇÕES REALIZADAS COM O FLUXÔMETRO

A medição com o instrumento denominado Fluxômetro apresenta instantaneamente a velocidade média da seção, sem necessidade de calculá-la. Essa medição, de acordo com Rios *et al.* (s.d.), é efetuada com o auxílio de um velocímetro com forma de torpedo que serve para medir a velocidade do fluxo de água, que no caso do Fluxômetro, é mostrada instantaneamente na tela do equipamento (Figura 2). Essa velocidade, segundo o autor, ocorre através da conversão do movimento de translação do fluxo de água em um movimento de rotação da hélice do molinete.

Santos *et al.* (2001) descrevem que a vazão da seção medida, é obtida, portanto, através da determinação da área da seção e a velocidade média do fluxo d'água que passa nessa seção. De acordo com o autor, a área é determinada através da medição da largura do rio e da profundidade em um número significativo de pontos, selecionados ao longo da seção, conhecidos como verticais, onde são realizadas as medições das velocidades com o aparelho, em um número significativo de pontos. A determinação das distâncias entre as verticais varia de acordo com a largura da seção e da regularidade do escoamento, e segue a relação mostrada na Figura 4. A determinação da profundidade de cada vertical é obtida com o auxílio de hastes graduadas.

Largura do canal (m)	Distância entre as verticais (m)
< 3,0	0,30
3,0 a 6,0	0,50
6,0 a 15,0	1,00
15,0 a 30,0	2,00
30,0 a 50,0	3,00
50,0 a 80,0	4,00
80,0 a 150,0	6,00
150 a 250,0	8,00
> 250,0	12,00

Figura 4 – Tabela das Distâncias recomendada entre verticais

A seção escolhida como local de medição se localiza em trecho retilíneo, porém possui alguns obstáculos no fundo, como galhos e bancos de areia, o que pode ocasionar diferenças entre os valores de velocidade do fluxo d'água medido devido a esses obstáculos. Não foi possível evitá-los já que, todo o trecho do RAV possui essa característica.

Depois de medidos os valores de profundidade e velocidade média em cada vertical, pode-se finalmente, calcular o valor de vazão da seção, utilizando os métodos da seção média ou da meia seção. O trabalho utilizou o método da meia seção, já descrito, para cálculo de vazão, pois, o método da meia seção é mais preciso que o método da seção média (YOUNG, 1950), e também, é o mais utilizado segundo Santos *et al.* (2001).

Durante a saída de campo realizada com o Fluxômetro, devido à altura da lâmina d'água da seção, as medições com o aparelho não puderam ser realizadas a vau, sendo necessário o auxílio do bote do corpo de Bombeiros Voluntários de Joinville. Os aparelhos utilizados durante a medição foram cordas, estacas, hastes graduadas, além do próprio aparelho da marca *Flowatch Swissmade*.

Primeiramente foram estaqueadas as margens direita e esquerda da seção, de modo a fixar a corda entre as mesmas para guiar o bote durante as medições (Figura 5). Desse modo, as medições foram realizadas em cada vertical, seguindo o distanciamento previsto na Figura 4, já apresentada, entre cada uma das mesmas. Os valores de velocidade instantânea e velocidade média, registrados pelo aparelho, foram anotados para cada seção e, posteriormente, foram realizados cálculos para determinar a vazão da seção, através do método da meia seção, já descrito no presente trabalho.



Figura 5 – Foto da realização da medição de vazão com o Fluxômetro

RESULTADOS DA TERCEIRA ETAPA

Os resultados médios de vazão, altura linimétrica e valores característicos de cada seção obtidos nas medições realizadas em três saídas a campo bem sucedidas estão representados a seguir.

MEDIÇÕES REALIZADAS COM O ADCP

A Tabela 2 apresenta os resultados de vazões médias e alturas linimétricas registradas pela estação na seção do RAV, localizada na estação hidrométrica do Jativoca, em dois dias de medição utilizando como aparelho ADCP.

Tabela 2 – Resultados das medições realizadas com o ADCP

DIA	ALTURA LINIMÉTRICA (m)	VAZÃO (m³/s)
24/08/2015	0,47	1,27
01/09/2015	0,43	1,45

MEDIÇÕES REALIZADAS COM O FLUXÔMETRO

A tabela 3 apresenta os resultados das velocidades médias medidas para cada vertical da seção do RAV com o aparelho Fluxômetro no dia da medição. A seção do rio possui 9 metros de largura, portanto foi considerada a distância de 1 metro entre as verticais, de acordo com a Figura 4, já apresentada no trabalho.

Tabela 3 – Resultados de velocidades médias para as verticais medidas no RAV com o Fluxômetro

DIA	SEÇÃO	PROFUNDIDADE (m)	VELOCIDADE MÉDIA (m/s)
02/10/2015	1	1,22	0,10
	2	1,42	0,20
	3	1,68	0,35
	4	1,59	0,50
	5	1,60	0,40
	6	1,60	0,30
	7	1,58	0,10
	8	1,33	0,10

A partir da tabela 3, foram calculados através do método da meia seção os resultados de vazão e área molhada obtidos para a seção do RAV. Os resultados correspondentes de velocidade média e profundidade média, calculados através do método da meia seção, foram respectivamente de 0,27 m/s e 1,33 m.

Desse modo, registraram-se através da medição com o Fluxômetro os valores respectivos de vazão e altura linimétrica (registrada pela estação da Defesa Civil) demonstrados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados para a seção do RAV utilizando o aparelho Fluxômetro

DIA	ALTURA LINIMÉTRICA REGISTRADA PELA ESTAÇÃO(m)	VAZÃO MÉDIA (m³/s)
02/10/2015	0,92	3,20

Nota-se que o valor de altura linimétrica registrada pela estação da Defesa Civil, de 0,92 m, e o valor de profundidade média do rio calculado pelo método da meia seção, de 1,33 m, não coincide. Isso se dá pelo fato de a estação registrar esse valor através da medição realizada pela régua linimétrica presente em algum ponto da seção, que não representa a média da profundidade da mesma. Foram apresentados aqui, portanto, o valor registrado pela estação, já que o mesmo será utilizado posteriormente para o ajuste das equações teóricas, com o objetivo de facilitar estudos futuros, criando uma relação entre a vazão do fluxo d'água que atravessa a seção e a altura linimétrica registrada pela estação.

O cálculo realizado para a obtenção do valor do perímetro molhado da seção, utilizado posteriormente para o ajuste da equação, foi feito por meio das medidas de batimetrias realizadas na seção, por estimativa de distância entre figuras geométricas formadas pelas mesmas. O desenho que representa essas figuras e os valores utilizados para o cálculo do perímetro molhado estão representados na Figura 6.

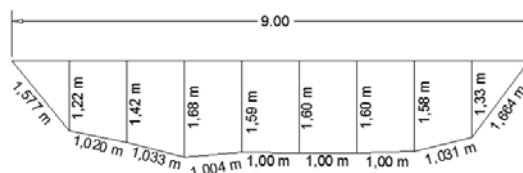


Figura 6 – Batimetria realizada no dia 02/10/2015 e respectivas distâncias utilizadas para o cálculo do Perímetro molhado (m)

Através do somatório das distâncias apresentadas na Figura 6, obteve-se o valor de 10,329 m para o perímetro molhado da seção do RAV medido no dia 02 de outubro de 2015.

Analisando a medição efetuada e a tabela 3, conclui-se o que já se previa, que a seção do RAV estudada possui seu fundo irregular, tendo maior profundidade e velocidade em seu terço médio e, menores valores mais próximos às margens (onde se formaram bancos de areia e se localizam galhos, etc.). Essa irregularidade da seção faz com que os valores medidos sejam diferentes uns dos outros, influenciando bastante nos resultados final medido de vazão média da seção.

QUARTA ETAPA: AJUSTE DA EQUAÇÃO

Através da análise dos dados de vazão e altura linimétrica do RAV medidos em campo foram realizados ajustes de equações teóricas com o objetivo de relacionar as variáveis envolvidas (vazões, níveis e declividades), com base na fórmula de Manning, descrita por Chow, Maidment e Mays (1988).

Para se obter a melhor relação entre as variáveis que compõe o regime e as características da seção estudada, realizou-se o ajuste de uma equação para cada dia de medição de vazão, com a utilização dos dados medidos para cada dia de saídas de campo (largura da seção, área molhada, perímetro molhado e velocidade média). Esses dados, para os dias de medição com o ADCP foram diretamente obtidos através do cálculo efetuado pelo programa *RiverSurveyor*, no momento da medição e, calculados através do método da meia seção para o dia de medição com o Fluxômetro.

Desse modo, foram ajustadas 3 equações diferentes, de modo a apresentar maiores resultados com o intuito de se escolher futuramente, qual que se adequaria melhor a relação entre vazão e altura linimétrica registrada pela estação.

Um dos obstáculos enfrentados durante a elaboração das equações foi a determinação do coeficiente de Manning. Devido à escassez de dados, que poderiam auxiliar na escolha do coeficiente, e da variedade de tabelas que apresentavam seus valores, houve certa dificuldade na escolha daquele que seria ideal para cada equação ajustada. Portanto foi realizado um cálculo com base na fórmula de Manning, de modo estimar um valor ideal do coeficiente de Manning para cada uma das equações e poder compará-los com os valores da tabela 1 já apresentada.

A equação 10 apresenta o cálculo realizado para se estimar esses coeficientes:

$$n = \frac{(A/P)^{2/3} \cdot S^{1/2}}{V_m} \quad \text{equação (10)}$$

Onde:

n = coeficiente de Manning;
 A = área molhada média (m²);

P = perímetro molhado médio (m);
 S = declividade do rio (m/m);
 V_m = velocidade média (m/s).

Após a determinação do coeficiente, ajustou-se, portanto, uma equação para cada dia de medição baseadas na fórmula de Manning, com o objetivo de poder estimar através das mesmas, valores de velocidade e vazão a partir da leitura dos dados de altura linimétrica registrados pela estação da Defesa Civil.

Todas as equações foram ajustadas utilizando o valor de declividade calculado através das batimetrias realizadas pelo projeto de Dragagem do rio águas Vermelhas, realizado no ano de 2014 pela Secretaria de Infraestrutura Urbana da cidade de Joinville (SEINFRA).

RESULTADOS DA QUARTA ETAPA

Os resultados medidos em campo, calculados pelo programa *RiverSurveyor* (no caso do ADCP) e pelo método da meia seção (no caso do Fluxômetro), utilizados para o ajuste das equações, bem como valores calculados para o coeficiente de Manning (n) respectivo para cada dia de medição através da equação 10 já apresentada, estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores característicos das seções medidas em cada dia de saída de campo e respectivos coeficientes de Manning calculados

Dia	Medição	Largura da seção (m)	Área molhada (m ²)	Perímetro molhado (m)	Velocidade média (m/s)	N
24/08/15	ADCP	8,37	6	11,59	0,213	0,063
01/09/15	ADCP	9,11	5	12	0,292	0,040
02/10/15	Fluxômetro	9,00	12,02	10,329	0,27	0,085

De modo a determinar o valor de declividade do canal (fundo do rio), fez-se a análise se um projeto de dragagem do RAV, já apresentado na Figura 1 deste trabalho.

A partir da batimetria realizada foi possível calcular a declividade de fundo do canal no trecho de 8,10 km. No trecho restante a declividade foi estimada considerando que o RAV possui perfil longitudinal razoavelmente uniforme, assim dividiu-se a diferença entre as cotas máxima e mínima do perfil pelo comprimento do talvegue. Essa declividade, de acordo com Naghettini (2012), denota-se por declividade S_1 .

Assim o cálculo da declividade de Álveo, foi feito pela equação 11.

$$S_1 = \frac{\Delta H}{L} \quad \text{equação (11)}$$

Onde:

ΔH = diferença entre a cota do primeiro e último ponto do leito do rio (m).

L = distância entre o primeiro e último ponto do leito do rio (m).

A Tabela 6 apresenta o cálculo da declividade realizado através do método de Álveo com as respectivas cotas e distâncias entre os cinco pontos medidos na Batimetria.

Tabela 6 – Apresentação das cotas, distâncias e declividade entre as seções do RAV

Seção	Cota (m)	Distância Total H (m)	Distância de Ponto a Ponto (m)
P1	5,48	0	0
P2	5,33	382	382
P3	4,76	958	576
P4	5,14	1638	680
P5	4,85	2278	640
Estação Jativoca	3,87	3703	1425
Diferença de cota entre P1 e a Estação Hidrométrica do Jativoca	1,61	3703	
Declividade (%)	0,043478261		

Este valor de declividade encontrado foi utilizado, posteriormente, para o ajuste da equação elaborada. Para conhecer a cota de fundo do canal no local da medição de vazão foi utilizado o modelo digital de terreno (MDT) gerado pelo ArqGis, visto que não houve realização de batimetria até a seção avaliada.

A partir dos resultados demonstrados nas tabelas 5 e 6 ajustou-se, portanto, uma equação para cada dia de medição, apresentadas na Tabela 7, que demonstra as equações de velocidade e vazão ajustadas para cada um dos dias de medição, H representa a variável de altura linimétrica registrada pela estação da Defesa Civil em metros.

Tabela 7 – Equações de velocidade e vazão ajustadas para cada dia de medição

Dia	Equação	Velocidade (m/s)	Vazão (m³/s)
24/08/15	1	$V = \frac{1}{0,063} * \left\{ \frac{6,00 + [8,37 * (H - 0,47)]}{11,59 + 2 * (H - 0,47)} \right\}^{2/3} * 0,000435^{1/2}$	$Q = V * \{6 + [8,37 * (H - 0,47)]\}$
01/09/15	2	$V = \frac{1}{0,040} * \left\{ \frac{5,00 + [9,11 * (H - 0,43)]}{12,00 + 2 * (H - 0,43)} \right\}^{2/3} * 0,000435^{1/2}$	$Q = V * \{5 + [9,11 * (H - 0,43)]\}$
02/10/15	3	$V = \frac{1}{0,085} * \left\{ \frac{12,02 + [9,00 * (H - 0,92)]}{10,329 + 2 * (H - 0,92)} \right\}^{2/3} * 0,000435^{1/2}$	$Q = V * \{12,02 + [9 * (H - 0,92)]\}$

A tabela 8 apresenta os resultados referentes ao uso das equações ajustadas para os cálculos das velocidades e vazões, utilizando as respectivas equações apresentadas na tabela 7 para cada dia de medição.

Tabela 8 – Resultados de velocidades e vazões calculadas através das equações ajustadas para cada dia de medição

Dia	Equação 1		Equação 2		Equação 3	
	Velocidade (m/s)	Vazão (m³/s)	Velocidade (m/s)	Vazão (m³/s)	Velocidade (m/s)	Vazão (m³/s)
24/08/15	0,213	1,281	0,303	1,628	0,219	1,748
01/09/15	0,206	1,169	0,291	1,454	0,214	1,628
02/10/15	0,281	2,744	0,422	3,997	0,271	3,263

A relação obtida entre os valores de vazão medidas em campo e de vazões calculadas, para cada equação ajustada, estão representadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Relação entre vazões calculadas e medidas em campo

Dia	Q medida (m³/s)	Equação 1	Equação 2	Equação 3
		Q calculada (m³/s)	Q calculada (m³/s)	Q calculada (m³/s)
24/08/2015	1,270	1,281	1,628	1,748
01/09/2015	1,450	1,169	1,454	1,628
02/10/2015	3,200	2,744	3,997	3,263

As Figuras 7, 8 e 9 apresentam o gráfico que relaciona essas medidas de vazão calculadas e medidas, para cada uma das três equações ajustadas, tendo todas elas um coeficiente de determinação $R^2=1$ que, não deve ser considerado de boa precisão, pois representa a relação de três medições apenas.

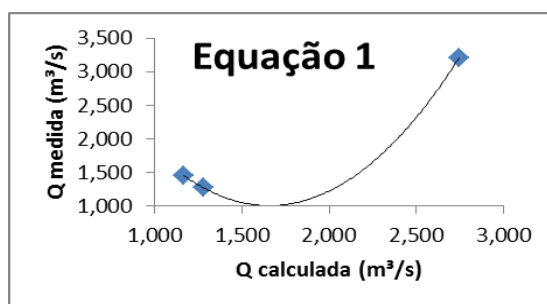


Figura 7 – Gráfico relacionando vazões calculadas pela equação 1 e vazões medidas em campo

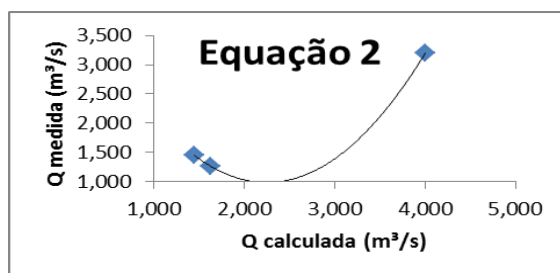


Figura 8 – Gráfico relacionando vazões calculadas pela equação 2 e vazões medidas em campo

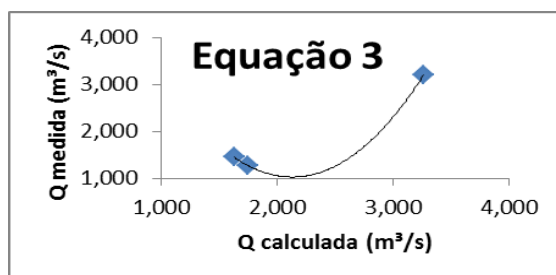


Figura 9 – Gráfico relacionando vazões calculadas pela equação 3 e vazões medidas em campo

As equações 12, 13 e 14 apresentam respectivamente, para as equações 1, 2 e 3 ajustadas, a relação entre a vazão medida em campo e a vazão calculada pelas respectivas equações.

$$Q_{med} = 1,8622 \cdot Q_{cal}^2 - 6,1767 \cdot Q_{cal} + 6,1261 \quad \text{equação (12)}$$

$$Q_{med} = 0,7278 \cdot Q_{cal}^2 - 3,2798 \cdot Q_{cal} + 4,6806 \quad \text{equação (13)}$$

$$Q_{med} = 1,6934 \cdot Q_{cal}^2 - 7,2123 \cdot Q_{cal} + 8,7032 \quad \text{equação (14)}$$

QUINTA ETAPA: ESTIMATIVA DE VALORES DE VAZÃO E NÍVEIS DE INUNDAÇÃO CRÍTICOS

Através do uso das equações teóricas ajustadas e das características apresentadas pelo fluxo d'água na seção do rio, foi possível, portanto, estimar valores de vazão e níveis de inundação críticos para a região afetada pelas inundações durante o período de execução do trabalho e também, para os dias em que as saídas de campo não produziram resultados.

RESULTADOS DA QUINTA ETAPA

Através do monitoramento da Defesa Civil na região estudada, que foi atingida por eventos de inundação ocorridos durante a execução desse trabalho, observou-se no dia 23 de outubro de 2015 o maior valor de altura linimétrica marcado pela estação da Defesa Civil de 3,85 metros.

Portanto, considerando esse valor como o mais crítico durante o período de realização desse trabalho, a Tabela 10 apresenta os valores estimados de vazão ocorrida nesse dia, através do uso das três equações ajustadas.

Tabela 10 – Estimativa de valores de vazão para o dia 23 de outubro de 2015 utilizando as equações 1,2 e 3 ajustadas

Dia	Altura Linimétrica registrada pela estação da Defesa Civil (m)	Vazão calculada pela equação 1 (m³/s)	Vazão calculada pela equação 2 (m³/s)	Vazão calculada pela equação 3 (m³/s)
23/10/2015	3,85	17,223	29,114	16,751

Ressalta-se o fato de que as equações, além de terem sido ajustadas com um reduzido número de dados medidos em campo, possuem características hidráulicas que variam com o tempo, como o raio hidráulico da seção estudada, o que torna seus resultados não confiáveis, embora essas variações já tenham sido consideradas nos ajustes, já que foram efetuados baseados na fórmula de Manning.

SEXTA ETAPA: PARÂMETROS RELACIONADOS AO SISTEMA DE ALERTA E EMERGÊNCIA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ÁGUAS VERMELHAS

Juntamente com a Defesa Civil Municipal, realizou-se um levantamento com relação aos níveis hidrométricos da bacia de modo a serem considerados como níveis de atenção, alerta e de emergência.

Esses estudos foram efetuados baseados nas informações pertencentes à Defesa Civil que, relacionavam as datas, ocorrências com os níveis hidrométricos e as consequências ocorridas na região da bacia afetada pela inundação.

Desse modo, foi possível caracterizar níveis de atenção, alerta e emergência para a BHRV de modo a trabalhar com maior atenção na sua gestão, quando da ocorrência desses níveis e, propiciar a resiliência local na região.

RESULTADOS DA SEXTA ETAPA

Foram elaborados, juntamente com a Defesa Civil Municipal, com base em relatórios deste órgão, as cotas limites referentes às situações de atenção, alerta e emergência para a ocorrência de inundações na região do Jativoca, representadas na Tabela 11 com as respectivas cores que caracterizam cada situação.

Tabela 11 – Cotas relacionadas às situações de atenção, alerta e emergência

Situação	Cota (m)
Atenção	3,00
Alerta	3,30
Emergência	3,80

Segundo a Defesa Civil Municipal, a medida tomada com relação à ocorrência de alturas linimétricas do rio superiores a 3,00 - quando o nível do rio atinge a cota de nível máximo de sua calha principal, caracterizando situação de atenção - é o acionamento do plano de contingência municipal, que tem o objetivo de deixar as equipes de resposta à ocorrência de inundações de prontidão.

Com relação ao estado de alerta - que ocorre quando o rio extravasa para a planície de inundação e atinge as áreas mais baixas da bacia - a partir do momento em que a altura linimétrica registrada pela estação atinge o valor de 3,30 metros, deve-se iniciar o trabalho de comunicação local, informando a comunidade localizada nas áreas mais vulneráveis à incidência de inundação, para que a mesma possa tomar as primeiras providências de modo a se prevenir, através da elevação dos móveis domésticos e, em casos de continuidade de chuvas, se prepararem para deixar as áreas de risco.

Quando a estação registrar níveis superiores a 3,80 metros - quando a inundação extravasa para as áreas marginais da bacia, atingindo residências e vias - caracterizando alerta de emergência, deve-se iniciar o trabalho de retirada de famílias das áreas atingidas ou de risco e, promover a abertura de abrigos que possam receber esses moradores.

Além do levantamento de níveis de situações de atenção, alerta e emergência, foi realizado um estudo com os dados de altura linimétrica registrados pela estação hidrométrica da Defesa Civil desde o dia 19 de abril de 2012 até o dia 05 de novembro de 2015, de modo a levantar o número de ocorrências dessas situações nesse período.

A tabela 12 apresenta os resultados desse estudo obtidos para os dias que houve necessidade de atenção, alerta, ou emergência na região da BHRV, aonde se encontra a estação hidrométrica.

Tabela 12 – Cotas registradas que caracterizaram situações de atenção, alerta e emergência para o período de abril de 2012 até novembro de 2015.

Dia	Nível máximo atingido (m)	Dia e hora de ocorrência do nível máximo	Nível mínimo atingido (m)	Dia e hora de ocorrência do nível mínimo
28/04/2012 00:00	3,584	27/04/2012 07:03	3,4701	27/04/2012 23:31
29/04/2012 00:00	3,475	28/04/2012 00:01	3,112	28/04/2012 21:21
30/04/2012 00:00	3,234	29/04/2012 09:43	3,103	29/04/2012 23:59
06/06/2012 00:00	3,698	05/06/2012 14:12	3,427	05/06/2012 00:03
07/06/2012 00:00	3,651	06/06/2012 00:01	3,253	06/06/2012 23:59
23/06/2013 00:00	3,565	22/06/2013 05:52	3,399	22/06/2013 23:27
23/07/2013 00:00	3,244	22/07/2013 22:59	3,043	22/07/2013 00:14
23/09/2013 00:00	3,436	22/09/2013 23:46	3,075	22/09/2013 02:03
24/09/2013 00:00	3,497	23/09/2013 06:12	3,344	23/09/2013 23:56
13/12/2013 00:00	3,336	12/12/2013 08:07	3,223	12/12/2013 23:59
06/01/2014 00:00	3,391	05/01/2014 02:13	3,230	05/01/2014 23:57
09/06/2014 00:00	4,211	08/06/2014 23:54	3,572	08/06/2014 00:00
10/06/2014 00:00	4,213	09/06/2014 00:12	4,072	09/06/2014 23:55
11/06/2014 00:00	4,074	10/06/2014 00:03	3,805	10/06/2014 23:59
12/06/2014 00:00	3,805	11/06/2014 00:01	3,484	12/06/2014 00:00
13/06/2014 00:00	3,485	12/06/2014 00:01	3,286	12/06/2014 23:59
24/10/2015 00:00	3,855	23/10/2015 06:01	3,639	23/10/2015 23:46
25/10/2015 00:00	3,643	24/10/2015 00:02	3,146	24/10/2015 23:58
04/11/2015 00:00	3,327	03/11/2015 09:44	3,151	03/11/2015 23:57
05/11/2015 00:00	3,602	05/11/2015 00:00	3,081	04/11/2015 06:14

Através da análise da tabela observa-se que a última vez que a região sofreu com as inundações e necessitou de alerta de emergência local foi no mês de junho de 2014, onde foram registrados níveis superiores a 3,80 metros durante quatro dias.

É importante frisar que a região passou por situação de emergência durante o período de execução do presente trabalho, registrando nível máximo de 3,85 metros durante o período.

CONCLUSÕES

A BHRAV, localizada na cidade de Joinville, apresenta características que favorecem eventos de inundação que devem ser levadas em consideração para estudos e acompanhamento da Defesa Civil de modo a alertar e preparar a população residente na região a ocorrência desses eventos.

A partir da aplicação da equação de Manning, a vazão máxima que pode ter ocorrido durante o período de medições do trabalho foi de 29,114 m³/s, através da utilização da equação 2 ajustada, referente a uma altura linimétrica registrada de 3,85 metros, que indicou a necessidade de alerta de emergência de inundação.

Pelo fato de não se ter como comprovar a confiabilidade da equação, devido à dificuldade de ajustá-la com o uso de poucos dados relacionados às características da seção, espera-se que, a partir das mesmas, sejam conduzidas ulteriores medições de modo a se aprimorar a equação para a bacia hidrográfica e obter uma curva-chave confiável a partir dos dados levantados em campo. Além disso, se poderia conduzir uma análise para localização de outras estações a montante da atual e das áreas de inundação para cálculo e simulação do tempo de propagação da vazão no RAV, tornando mais efetiva a resiliência local.

O trabalho demonstrou os benefícios do exercício em equipe entre órgãos públicos e privados de diferentes esferas na defesa e segurança da população. Notou-se a importância da interação entre os órgãos envolvidos na gestão dos desastres, enfatizada por vários autores citados neste trabalho.

A partir das informações geradas será possível estimular e criar ações com relação à gestão de alertas de inundação, além de informar a população suscetível à ocorrência das mesmas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHOW, Ven Te; MAIDMENT, David R.; MAYS, Larry W. **Applied Hidrology**. United States of America: McGraw-Hill, 1988.
2. COELHO, Bruno Zanon. **Avaliação de Técnicas e Métodos de Hidrometria na Estação Fluviométrica São Ludgero, SC**. Criciúma, 2011. Monografia (Graduação em Engenharia ambiental). Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2011.
3. FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE JOINVILLE – IPPUJ. Joinville Cidade em Dados 2010/2011. Joinville: Prefeitura Municipal, 2011.
4. GEBARA, Dib Neto; HONÓRIO, Celina Maria Alves; OLIVEIRA, Jefferson Nascimento. **Vantagens na medição de vazões utilizando o equipamento ADCP - Acoustic Doppler Current Profile**. Disponível em: < <http://200.145.241.31/dec/lh2/documentos/CICDib.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2015.
5. PIZA, Francisco. **Hidráulica: Condutos Livres**. 2013. Disponível em: <<https://engenhariacivilfsc.files.wordpress.com/2013/09/apostila-de-hidraulica.pdf>>. Acesso em: 26 set. 2015.
6. RIOS, Fernanda Posch; FORMIGA, Klebber Teodoro Martins; ALVES, Patricia Layne; OLIVEIRA, Victor Tomaz. **Estudo Comparativo Entre Métodos de Medição de Vazão em Cursos d'água**. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/d0fe51e7fbaef404b5015bd7334c56d2_69089e705434e1fda121fed6c820fd99.pdf>. Acesso em: 16 set. 2015.
7. SAMPAIO, Marcela Vilar. **Determinação e Espacialização das Equações de Chuvas Intensas em Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul**. 2011. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.
8. SANTOS, I. ; FILL, H.D.A. ; SUGAI, M.R.B. ; BUBA, H. ; KISHI, R.T. ; MARONE, E. ; LAUTERT, L.F.C. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: Latec, 2001. v. 1. 372 p.
9. SCHADECK, Rafael. Mudanças Climáticas, Extremos e Desastres Naturais. 1ª Conferência Nacional de Mudanças Climáticas Globais. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.fapesp.br/eventos/2013/09/conclima/10/Rafael.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2015.
10. TOMAZ, Plínio. **Curso de Manejo de águas pluviais: Fórmula de Manning e canais**. 2013. 70 p. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_canais/capitulo50.pdf> Acesso em: 24 set. 2015.
11. UBERTI, Antônio Ayrton Auzani. Boletim Técnico do Levantamento da Cobertura Pedológica e da Aptidão Agrícola das Terras da Bacia Hidrográfica do Rio Piraí. Joinville, Santa Catarina, 2011. Disponível em: <http://sistemaspmj.joinville.sc.gov.br/documentos_vivacidade/Mapa%20de%20Fragilidade%20Ambienta%20de%20Joinville/Boletins/BT%20da%20BH%20Rio%20Pira%C3%AD%20-%20RF.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2015.
12. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Brasil. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis: CEPED UFSC, 94 p, 2012.
13. YOUNG, Kenneth B. **A comparative Study of Mean-Section and Mid-Section Methods For Computation of Discharge Measurements**. United States: Department of The Interior Geological Survey, 1950.