

IX-773 - PROPOSTA DE PLANO DE MONITORAMENTO QUANTITATIVO EM CANAIS DE MACRODRENAGEM DE BELÉM/PA

André Luiz da Silva Salgado Coelho⁽¹⁾

Professor Associado na UFPA. Doutor em Hidráulica e Saneamento na EESC/USP.

Diogo Oliveira Pereira.

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela UFPA. Mestrando em Engenharia Civil pela UFPA, na área de concentração de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Symon Murilo da Purificação Pamplona.

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UFPA.

Erika Joana Nabiça Borges

Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UFPA. Graduada em Engenharia Ambiental.

Giovanni Chaves Penner

Professor Adjunto na UFPA. Doutor em Hidráulica e Saneamento na EESC/USP.

Endereço⁽¹⁾: ITEC/UFPA Rua Augusto Corrêa, 01 - Guamá. CEP 66075-110. Belém - Pará - Brasil - Tel: (91) 3205-8924 - e-mail: andrecoelho@ufpa.br

RESUMO

Este trabalho teve como principal objetivo propor um plano de monitoramento quantitativo para canais de macrodrenagem com declividade quase nula. Para isso, foi realizada a quantificação das vazões nos três canais de macrodrenagem das sub-bacias 1 e 2 da Bacia Hidrográfica da Estrada Nova (BHEN), em Belém- PA. Foram definidos três pontos, um para cada canal, bem como as definições de suas seções transversais. Assim, diante das medições feitas em cada canal, durante a primeira campanha foram simuladas vazões máximas de 162,47 m³/s para o canal da Quintino Bocaiúva, 19,68 m³/s para o canal da Timbiras e 83,37 m³/s para o canal da Caripunas. Na segunda campanha foram simuladas vazões máximas de 140,29 m³/s para o canal da Quintino Bocaiúva, 49,42 m³/s no canal da Timbiras e 49,07 m³/s para o canal da Caripunas. Diante da validação da metodologia aplicada e dos resultados apurados foi proposto um plano de monitoramento das vazões (quantitativo) de forma a subsidiar possíveis atividades futuras de monitoramento quantitativo das águas nestes canais de macrodrenagem. Foram propostas equações para o cálculo das vazões em função do nível d'água e foi proposto monitoramento ao longo vários anos e durante todos os meses. Diante de um número considerável de dados para a calibração do modelo proposto, foi possível a formação de uma curva chave para cada época do ano, facilitando o monitoramento com uso de régua limimétrica fixas nos canais, e servindo também como auxílio em possíveis monitoramentos qualitativos de cargas poluidoras.

PALAVRAS-CHAVE: Canais de Macrodrenagem, monitoramento de canais, vazões em canais.

INTRODUÇÃO

A drenagem urbana é um dos 4 eixos dos serviços que compõem o chamado Saneamento Básico, ao lado do sistema de esgotamento sanitário, sistema de abastecimento de água e o manejo de resíduos sólidos. Está inserida na Lei 14.026/2020 (Brasil, 2020), que atualizou o Marco Regulatório do Saneamento Básico no Brasil.

A drenagem urbana é formada por dois sistemas, a microdrenagem e a macrodrenagem. Segundo MIGUEZ et al (2021) a microdrenagem é constituída pela drenagem dos loteamentos urbanos e áreas públicas, como praças, parques e ruas. A rede de microdrenagem é responsável pela captação inicial dos escoamentos superficiais. Já a macrodrenagem é formada pela hidrografia natural da bacia e corresponde aos canais naturais ou artificiais responsáveis pela condução de águas concentradas no sistema.

Na cidade de Belém- PA, Os cursos d'água naturais da Bacia Hidrográfica da Estrada Nova (BHEN) sofreram ocupações em suas margens, calhas e planícies de inundação. Estes cursos foram incluídos na macrodrenagem da região. A inexistência de rede coletora e interceptores de esgotos fazem com que os esgotos sanitários

sejam despejados na drenagem urbana da cidade. Este é um dos principais problemas da BHEN (LEÃO, 2014; ENGESOLO, 2007).

Informações presentes no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) do Programa de Recuperação Urbano-Ambiental da BHEN e seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) mostram que a sub-bacia 1 e seus respectivos canais de macrodrenagem apresentam declividades muito baixas. Sendo assim, a elevação do nível d'água é regida pelas precipitações intensas e pela oscilação da maré (enchente). Mesmo com a revitalização dos canais de macrodrenagem, estes foram projetados para declividades longitudinais praticamente nula para todos os canais das sub-bacias 1 e 2.

Diante da problemática exposta, este estudo tem como objetivo estabelecer critérios para formação de um plano de monitoramento de vazões para que, com isso, seja possível o controle desta variável hidráulica nos canais de macrodrenagem das sub-bacias 1 e 2 da BHEN, em Belém- PA. Além do controle de vazões, o plano de monitoramento abordado neste artigo, pode ser associado a um plano de monitoramento qualitativo nos mesmos canais (não abordado neste artigo), possibilitando também análises das cargas poluidoras presentes, devido ao lançamento de esgoto sanitário nestes condutos.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Propor um plano de monitoramento quantitativo nos canais de macrodrenagem que escoam águas pluviais das sub-bacias 1 e 2 da BHEN – Belém/PA.

Objetivos Específicos

- Definição dos pontos de monitoramento em 3 canais de macrodrenagem de Belem- PA;
- Realizar o levantamento de informações batimétricas do canal da Quintino Bocaiúva;
- Realizar o levantamento de informações batimétricas do canal da Timbiras;
- Realizar o levantamento de informações batimétricas do canal da Caripunas;
- Apuração das vazões nos canais a partir dos levantamentos batimétricos;
- Elaborar o plano de monitoramento com base na metodologia e informações obtidas das batimetrias e cálculo das vazões.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado considerando os canais de macrodrenagem das sub-bacias 1 e 2 da Bacia Hidrográfica da Estrada Nova (BHEN). A sub-bacia 1 da BHEN é drenada em sua infraestrutura de macrodrenagem por dois canais, Timbiras e Caripunas. A sub-bacia 2 da BHEN é drenada em termos de macrodrenagem pelo canal da Quintino Bocaiúva. A localização dos pontos de monitoramento (C-01, C-02 e C-03) nos canais pode ser visualizada na Figura 2.

O trabalho foi realizado em quatro etapas, conforme ilustrado na Figura 1.

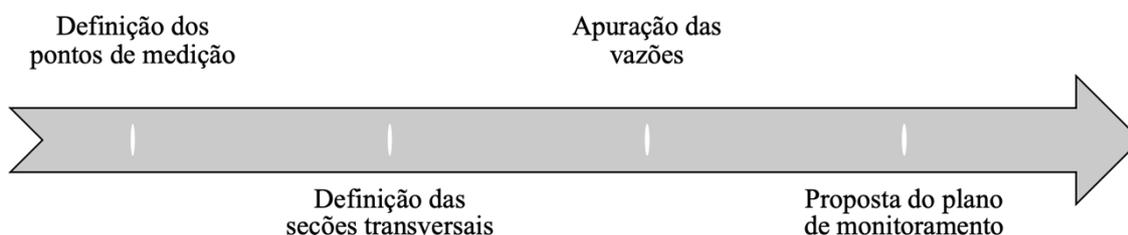


Figura 1: Etapas de realização do trabalho

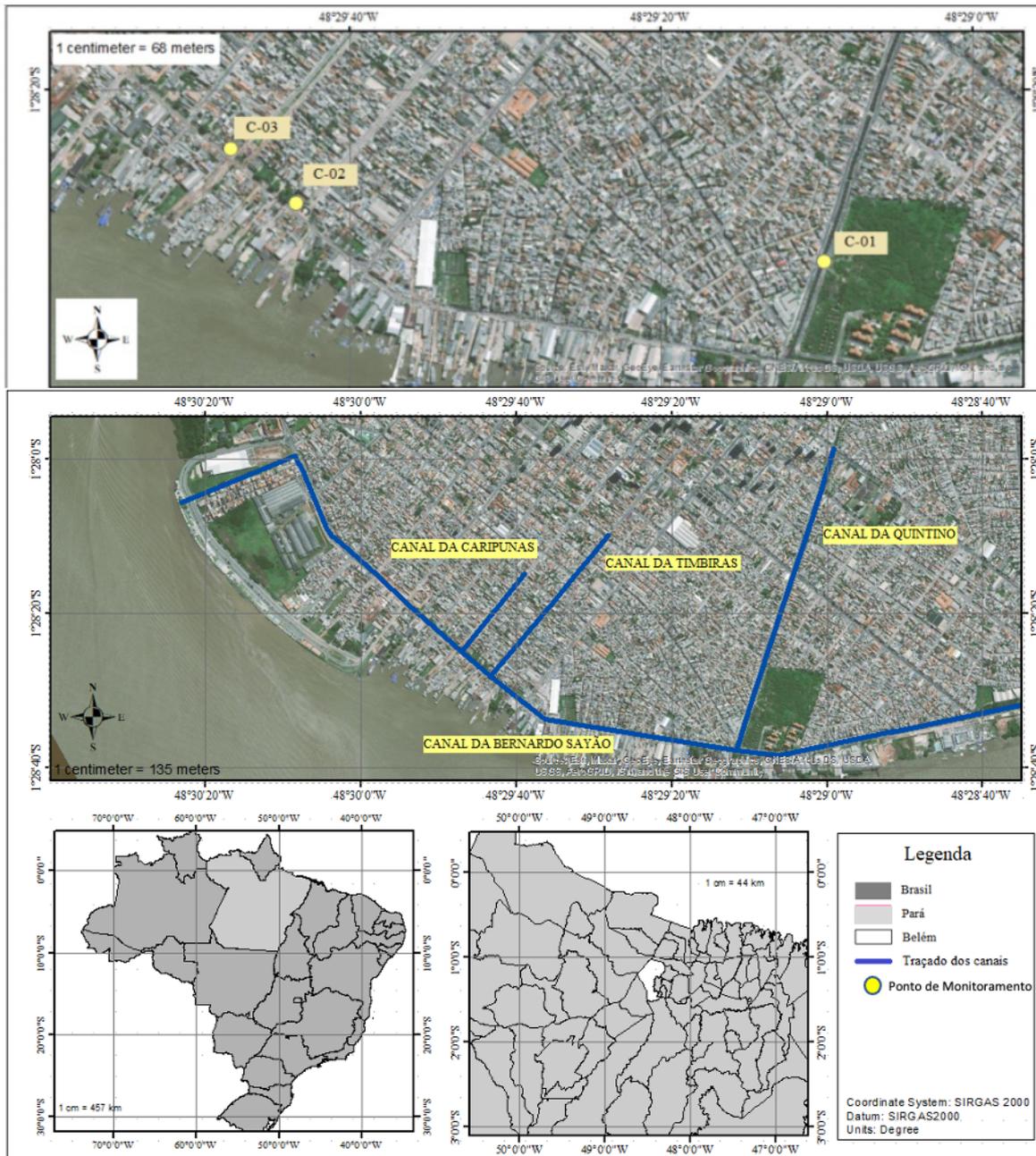


Figura 2: Localização de interesse dos canais responsáveis pela drenagem das sub-bacias 1 e 2 da BHEN

Foi definido que no canal da Quintino Bocaiúva ocorreriam 10 medições de profundidade do leito do canal, nos canais da Timbiras e Caripunas ocorreram 5 medições de profundidade. É possível verificar o esquema de definição dos pontos na Figura 3.

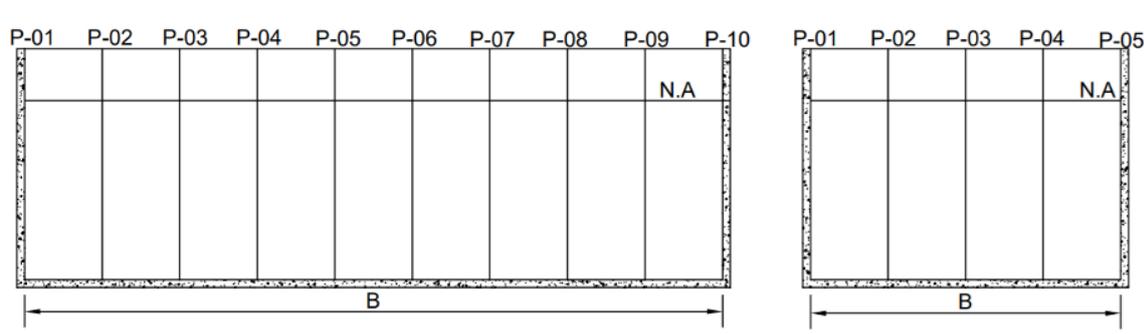


Figura 3: Esquemas dos pontos de profundidade (P-XX), na Quintino (esquerda); Timbiras e Caripunas (direita).

O levantamento batimétrico foi realizado com o auxílio de trena, régua linimétrica e prumo. A partir do levantamento batimétrico, foi possível definir as seções transversais de cada ponto.

As seções transversais foram desenhadas com auxílio do software AutoCAD 2019, considerando as medições de profundidades realizadas. De posse da área molhada e a partir do conceito de profundidade crítica descrita por GRIBBIN (2014) para declividades nulas ou quase nulas, através das Equações 1 e 2 foram definidas as vazões.

$$\frac{A^3}{B} = \frac{Q^2}{g} \quad (1)$$

$$Q = \sqrt{\frac{A^3 \cdot g}{B}} \quad (2)$$

Nas Equações acima “Q” representa a vazão em m³/s, “A” representa a área molhada do canal em m², “g” representa a aceleração da gravidade próxima a latitude de 0° (9,81 m/s²) e “B” representa a largura do canal em metros.

A partir da medição da altura da lâmina d’água (Y) e sua respectiva área molhada, foram obtidas as vazões, em intervalos de 5 cm, para obtenção da curva vazão-nível d’água, com uso do software Microsoft Excel. Para cada curva foi feita regressão para obtenção de equações de vazão em função do nível da lâmina d’água.

Com base na metodologia e resultados obtidos foi formulado plano de monitoramento para medição de vazões. Foi proposta a periodicidade entre as medições para traçado da seção transversal, materiais a serem utilizados, procedimentos de segurança e modelo de cronograma para o planejamento. O plano de monitoramento ainda propôs a realização de estudos mais específicos abrangendo as vazões simuladas e calculadas nos canais.

RESULTADOS

Batimetria

Os levantamentos de batimetria realizados nos pontos C-01, C-02 e C-03 podem ser observados na Tabela 1. Com os resultados da batimetria foram então definidas as seções transversais (Figuras 4, 5 e 6) para estes pontos nos canais da Quintino Bocaiúva, Timbiras e Caripunas, respectivamente.

Medidas de turbidez, cor aparente, cor verdadeira, pH, alcalinidade total, dureza total, condutância específica, temperatura, foram feitas para caracterizar as águas em estudo.

A Tabela 1 contém as principais características das águas bruta estudadas. A água tipo A, coletada em época de seca e tipo B, em época de chuva.

Tabela 1: Resultados dos levantamentos batimétricos (em metros)

Código	B	P-01	P-02	P-03	P-04	P-05	P-06	P-07	P-08	P-09	P-10
C-01	9,00	2,77	2,95	3,26	3,02	3,14	3,37	3,38	3,16	3,00	2,83
C-02	5,80	1,59	2,63	2,80	2,60	1,54	-	-	-	-	-
C-03	6,00	1,93	2,20	2,45	1,95	1,64	-	-	-	-	-

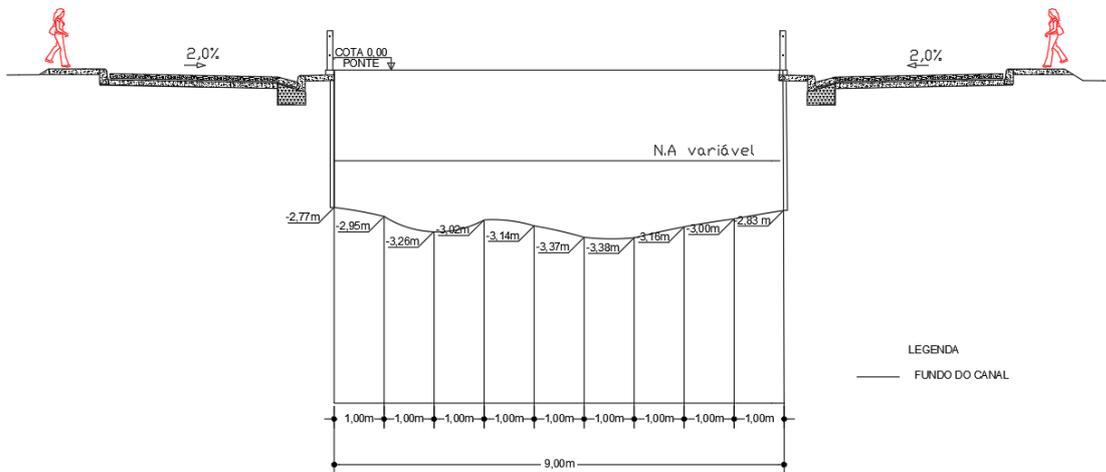


Figura 4: Seção transversal do canal da Quintino Bocaiúva (C-01).

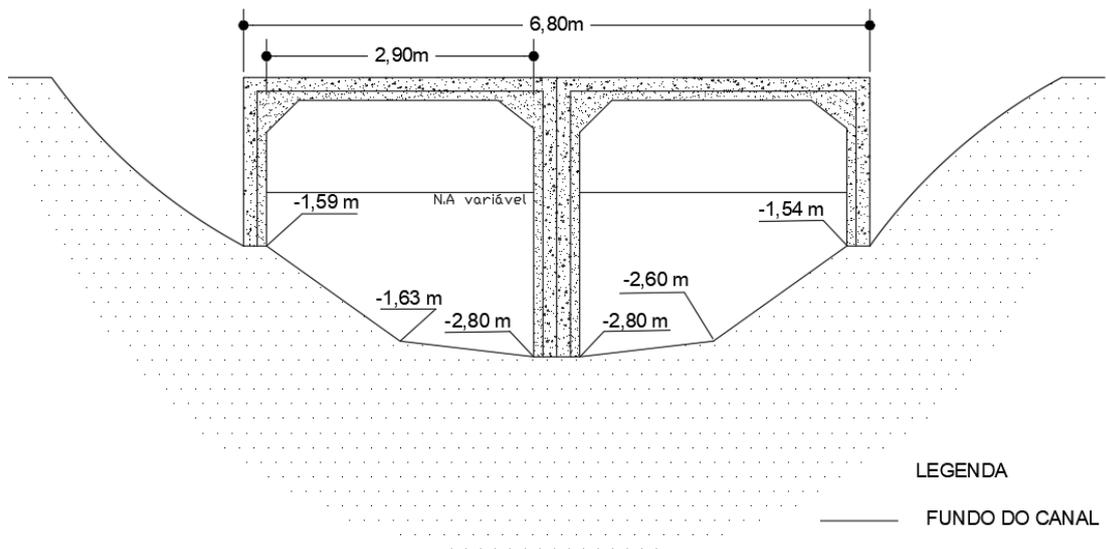


Figura 5: Seção transversal do canal da Timbiras (C-02).

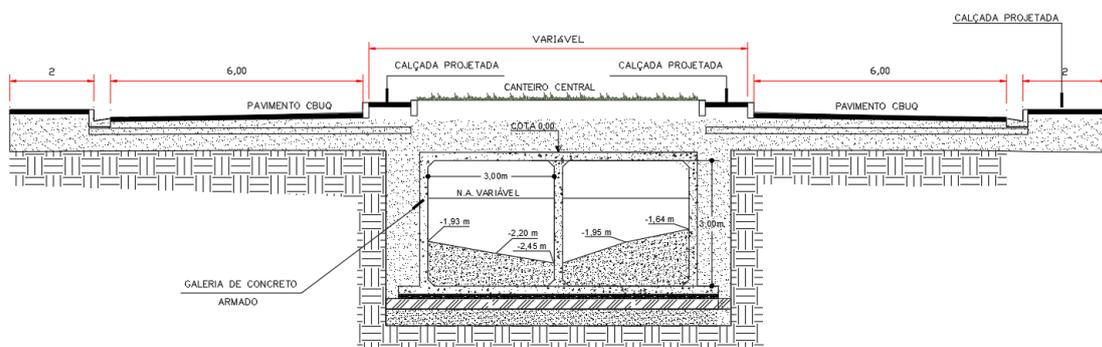


Figura 6: Seção transversal do canal da Caripunas (C-03).

Vazões

Com relação as possíveis vazões para cada ponto de monitoramento, variando os níveis em intervalos de 5 cm, as curvas vazão-nível d'água obtidas podem ser observadas na Figura 7. As vazões mínimas correspondem ao nível de 0,05m e as vazões máximas correspondem à 90% da altura do conduto (aduelas) e do greide da rua (calhas).

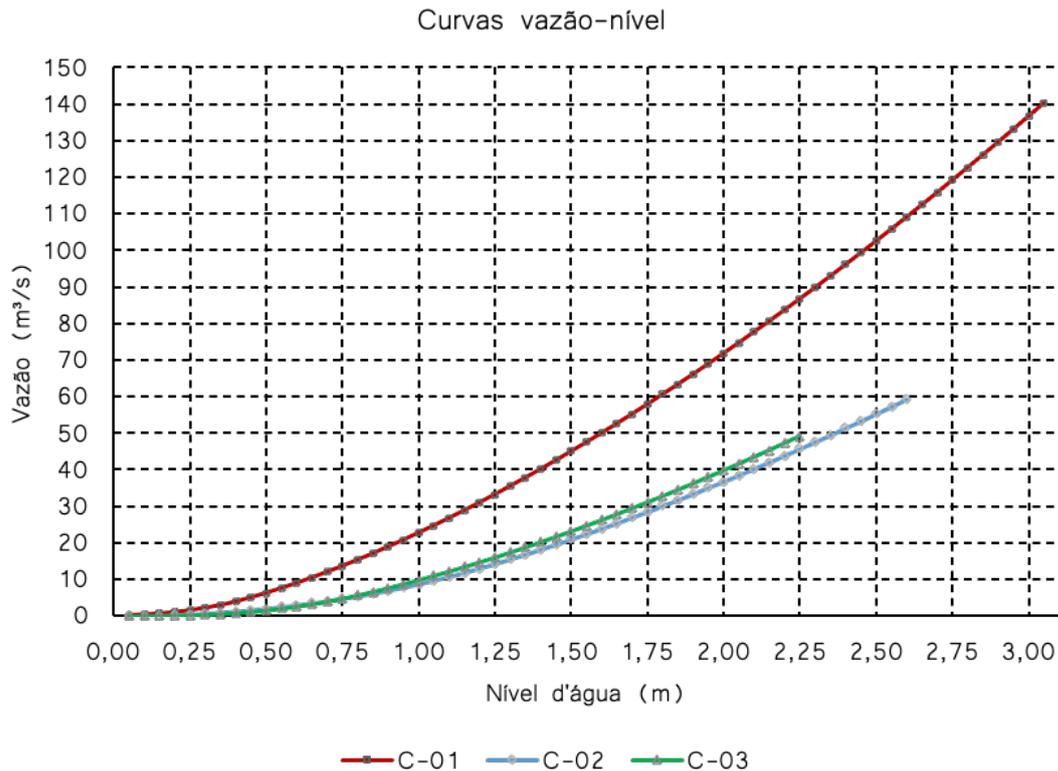


Figura7: Curvas vazão-nível para os pontos monitorados

Foram observadas vazões máximas de 140,29 m³/s no canal da Quintino, 28,29 m³/s para o canal da Timbiras e 49,07 m³/s para o canal da Caripunas. Com estas vazões máximas é possível perceber que, se somadas as vazões dos canais da Timbiras (C-02) e Caripunas (C-03), a soma é inferior à vazão do canal da Quintino (C-01), por conta da área de drenagem da sub-bacia 2 (4,04 km²) ser consideravelmente maior em comparação à área de drenagem da sub-bacia 1 (1,85 km²).

Com as curvas vazão-nível foi possível através de regressão elaborar equações que tornassem possível o cálculo da vazão em qualquer nível do canal. Assim, na Tabela 2 é possível verificar as equações para os pontos de monitoramento, onde a variável “h” representa o nível d'água em metros para obter a vazão em m³/s.

Tabela2: Equações de vazão para os canais, considerando o nível d'água.

Ponto	Equação Q (h)	r ²
C- 01	$Q = 9,8875h^2 + 17,698h - 4,0237$	0,9995
C-02	$Q = 8,892h^2 + 0,7062h + 0,4999$	0,9995
C- 03	$Q = 9,3505h^2 + 1,6991h - 1,0906$	0,9983

Plano de Monitoramento

A fim de servir de ferramenta de apoio em levantamentos quantitativos, por deferentes setores de saneamento interessados, foi formulado plano de monitoramento quantitativo que possa oferecer informações suficientes para o levantamento de vazões em canais com características hidráulicas semelhantes ao estudados neste artigo.

É recomendado programação com base nos objetivos que se pretende alcançar (operação ou controle), com uso da metodologia proposta neste artigo. Recomenda-se que as campanhas sejam realizadas em intervalos de tempo previamente definidos.. Estima-se que cada levantamento batimétrico dure aproximadamente duas horas, podendo este tempo variar, caso haja mais componentes de equipe disponíveis. Recomenda-se também que as campanhas de campo ocorram durante o regime de vazante.

É recomendado também que inspeções prévias no local definido a fim de identificar situações que possam prejudicar as atividades. Desta forma, é importante que um componente da equipe preencha formulário de inspeção e formulário de batimetria. A inspeção deve contemplar os seguintes questionamentos.

- Há problemas estruturais nos canais que possam dificultar a execução das campanhas de batimetria e coleta de amostras para análise laboratorial?
- Há problemas estruturais que possam colocar os membros da equipe em risco físico?
- Há resíduos sólidos na seção transversal que dificultem a realização dos levantamentos batimétricos e/ou prejudiquem as medições de nível?
- As condições logísticas permitirão a realização da campanha com pontualidade?
- Quais as condições climáticas previstas para o dia da campanha?

Preferencialmente, caso seja possível, a equipe sempre deve verificar a presença de resíduos sólidos na seção transversal.

Os equipamentos a serem usados podem ser os identificados na metodologia deste trabalho, havendo liberdade para os componentes da equipe inserirem novos equipamentos que aumentem a eficiência das medições, diminua o tempo das campanhas e/ou melhore o conforto durante as medições.

Os formulários de informações de campanha, que podem ser impressos ou digitais, contribuem para que a equipe consiga organizar os dados e garantir uma melhor precisão do registro destas informações, evitando erros. A largura nos pontos só deve ser medida novamente se for detectada interferência (como acúmulo de resíduos sólidos) ou outro fenômeno que altere esta dimensão. No caso da batimetria o número de pontos “P-XX” depende do porte de cada canal. É possível verificar na Tabela 3 um modelo para preenchimento de formulário de batimetria. Os códigos C-XX se referem a cada ponto de monitoramento definido em cada canal.

Tabela 3: Modelo de formulário para informações de campo

Código	B	Y	P-01	P-02	P-03	P-XXn
C-01	-	-	-	-	-	-
C-02	-	-	-	-	-	-
C-03	-	-	-	-	-	-
C-XXn	-	-	-	-	-	-

B: largura da superfície líquida (m); Y: altura da lâmina d'água (m).

Através das figuras 1 e 2 fica claro que a eficiência de remoção com a utilização do cloreto férrico é maior do que a de sulfato de alumínio para ambas as águas.

Em relação aos ensaios da serie 2, constatou-se que os resultados obtidos, com qualquer um dos amidos, em conjunto com cada coagulante nas velocidades de sedimentação investigadas, eram bem parecidos entre si, apresentando assim a mesma eficiência. Verificou-se também que a dosagem mais econômica dos amidos ficou em torno de 1 mg/L.

A associação do coagulante mais eficiente (cloreto férrico) a qualquer amido como auxiliar aumentou a eficiência de remoção para velocidades de sedimentação maiores. Nos ensaios de laboratório ficou constatado que a utilização conjunta de amido e cloreto férrico pode permitir um aumento na taxa de escoamento superficial dos decantadores. Porém a utilização do amido na ETA-Morrinhos não pareceu prioritária devido aos bons resultados conseguidos apenas com o cloreto férrico.

A utilização dos amidos, em conjunto com o sulfato de alumínio, não apresentou a mesma eficiência de remoção, obtida com a utilização dos mesmos com o cloreto férrico.

Nos ensaios da série 3 foi constatado que o tempo de floculação poderia ser reduzido em até 15 minutos. Os gradientes de velocidade foram mantidos fixos uma vez que um dos floculadores existente era do tipo hidráulico.

CONCLUSÕES

Diante dos procedimentos, dados apurados e avaliações feitas neste artigo foi possível a obtenção das seguintes conclusões:

- Os levantamentos batimétricos devem ocorrer com frequência e periodicidade ideais para obter melhores resultados;
- Deve ser realizado um estudo minucioso de verificação da declividade nos canais para o uso de outros modelos hidráulicos mais adequados;
- A simulação das vazões, com a criação de equações características é uma ferramenta útil para obtenção rápida dos valores de vazão em função apenas do nível d'água;
- O plano de monitoramento quantitativo proposto pode servir como ferramenta útil para procedimentos de planejamento, execução e tratamento de dados de vazões, por todos os setores de saneamento interessados.

RECOMENDAÇÕES

A fim de tornar possível a avaliação de cargas poluidoras, recomenda-se a tomada de um plano de monitoramento qualitativo para que, junto com o monitoramento quantitativo, esta avaliação se torne viável. Para o caso deste trabalho, com os planos de monitoramento qualitativo e quantitativo, sugere-se a formação de um estudo completo considerando as condições hidráulicas e de poluentes para uma melhor noção das condições ambientais dos canais das sub-bacias 1 e 2 da BHEN, ou semelhantes hidraulicamente (declividade quase nula).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Lei nº. 9.433, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 09 de jan. de 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 11 dez. 2022.
2. ENGESOLO ENGENHARIA. Relatório de Impacto Ambiental do Programa de Reabilitação Urbana e Ambiental da Bacia da Estrada Nova. Belém: Engesolo Engenharia, 2007.
3. GRIBBIN, JOHN E. Introdução à hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais. 4ª edição. 525 f. São Paulo: Cengage Learning, 2014.
4. LEÃO, Monique Bentes Machado Sardo. MACRODRENAGEM E URBANIZAÇÃO NA BACIA DA ESTRADA NOVA: Conflitos entre app urbana e ressentamento de baixadas em Belém/PA. III Seminário Nacional sobre Tratamento de Áreas de Preservação Permanente em Meio Urbano e Restrições Ambientais ao Parcelamento do Solo, 2014.