



ANÁLISE HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA DO CANAL RETIFICADO DA NASCENTE DO RIBEIRÃO BARRA NOVA E PROPOSTAS DE MELHORIA

Lucas Vinicius Dias¹; Isabela da Silva Dério²; Fernando Marcos Weronka³; Jhonathan Yoshiaki Namba⁴; Sandra Mendes Dias⁵ & Paulo Fernando Soares⁶.

RESUMO – No anseio de desenvolvimento dos núcleos urbanos alguns pontos passaram despercebidos e atualmente exigem maiores esforços para correção e mitigação. Neste trabalho uma análise hidrológica e hidráulica foi realizada no canal retificado da nascente do Ribeirão Barra Nova. Os resultados apontaram que existem discrepâncias com seu desempenho hidráulico frente as recomendações da literatura especializada. Sendo assim, um novo desenho de canal e propostas de retificação foram apresentadas, demonstrando um ganho considerável para a região afetada por ele. Por fim, as alterações acabaram por incrementar a velocidade de escoamento médio, superando as condições limites ótimas. Dessa forma, propostas de bacias no canal foram sugeridas para conter esse aumento de velocidade.

ABSTRACT– In the longing for the development of urban centers some points have gone unnoticed and currently require greater efforts for correction and mitigation. In this work a hydrological and hydraulic analysis was carried out in the rectified channel of the source of the Barra Nova Stream. The results showed that there are discrepancies with their hydraulic performance compared to the recommendations of the specialized literature. Thus, a new channel design and rectification proposals were presented, demonstrating a considerable gain for the region affected by it. Finally, the changes eventually increased the average flow rate, exceeding the optimal limit conditions. Thus, proposals of basins in the canal were suggested to contain this increase in speed.

Palavras-Chave – Drenagem Urbana; Otimização Hidráulica;

INTRODUÇÃO

Os problemas de drenagem surgem à medida que as cidades crescem. No ritmo acelerado de aumento dos núcleos urbanos algumas estruturas não se desenvolvem rápido o suficiente para atender esse fim. Arelado a isso, existe todo o impacto humano na transformação de um ambiente natural e em equilíbrio em um local para satisfação de seus anseios.

Tendo em vista este panorama que não se limita ao Brasil, mas se estende em vários pontos do mundo, surgem necessidades locais a serem reavaliadas e propostas novas soluções. Dentre elas,

¹) Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790 - Zona 7, Maringá – PR. E-mail – vinicioslukas_dias@hotmail.com.

²) Universidade Estadual de Maringá, PR. E-mail – isabeladerio@hotmail.com.

³) Faculdade de Engenharia e Inovação Técnico Profissional – FEITEP, Av. Paranaíba, 1164 - Parque Industrial Bandeirantes, Maringá – PR. E-mail – prof.fernandoweronka@feitep.edu.br.

⁴) Universidade Estadual de Maringá, PR. E-mail – jhonathanyn1@gmail.com.

⁵) Faculdade de Engenharia e Inovação Técnico Profissional – FEITEP, Maringá, PR, E-mail – sandradiassml@gmail.com.

⁶) Universidade Estadual de Maringá, PR, E-mail – pfsoares@uem.br.

a drenagem urbana mostra-se de extrema importância pela sua multidimensionalidade. Ao tratar desse tema, observa-se que sistemas de drenagem mal dimensionados ou mal executados, podem gerar prejuízos que perpassam desde a esfera ambiental, financeira até humana.

Considerando isso, este trabalho tem como intuito uma análise hidrológica e hidráulica de um canal retificado no Município de Apucarana – PR. Espera-se que as propostas apresentadas possam ser úteis para a comunidade científica e aos envolvidos com o planejamento de uso e ocupação do solo, com o intuito de favorecer cada vez mais a criação de um ambiente equilibrado e desenvolvido.

METODOLOGIA

Área de estudo

A área de estudo está situada no município de Apucarana localizada no centro norte do estado do Paraná, nas coordenadas 23°31'30"S; 51°24'20"O e uma área total de 558.388 km². O local de investigação consiste no canal retificado da nascente do Ribeirão Barra Nova, de acesso ao lago Jaboti (Figura 1). Em suma, toda área que envolve o lago conta com aproximadamente 230,8 mil m², sendo 150 mil m² de lâmina d'água. (PREFEITURA DE APUCARANA, 2020).

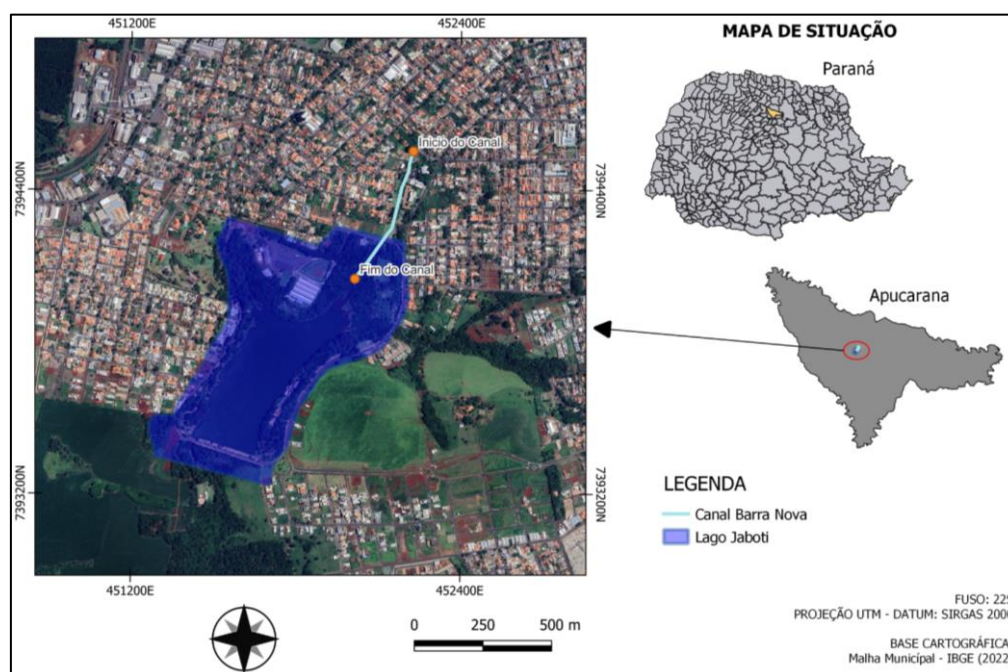


Figura 1 - Delimitação do local do Lago Jaboti no município de Apucarana, PR

O clima predominante da região é o subtropical úmido segundo classificação de Köppen, marcado por verões quentes e chuvosos, invernos sem a frequência de geadas e sem estação de seca definida. Na região a média anual de precipitação é de 1400 a 1800 mm (IAPAR, 2019). A



distribuição da drenagem de Apucarana apresenta 35,1% ao sul pela bacia do rio Ivaí (maior parcela entre as três bacias características da área – Pirapó, Tibagi e Ivaí). Em análise dos aspectos hidrográficos da região, constatou-se que nas proximidades dos rios, a declividade passa a ser de 16 a 29%, chegando até mesmo a 31%. (PREFEITURA DE APUCARANA, 2017; TOPODATA, 2019;).

Estimativa de vazão

Utilizando as sugestões expostas no Plano Municipal de Saneamento Básico - PMSB (2017) do município de Apucarana – PR, que descreve os parâmetros para elaboração de projetos de drenagem para a cidade. Foi delimitada uma área de interesse e confeccionadas plantas topográfica, mapas de declividade e altimetria da região de Apucarana obtidas por meio de *softwares* de sensoriamento remoto orbital, para a delimitação da bacia de contribuição do canal.

Através de dados pluviométricos da cidade de Apucarana disponibilizados no PMSB (2017) foram obtidos os parâmetros característicos da Equação IDF do município (contando com 18 anos de dados) o qual os coeficientes são: $a = 1307,07$; $b = 0,177$; $c = 15$; $d = 0,836$. Para o tempo de retorno (T_r) o PMSB recomenda para canais (macrodrenagem) igual a 10 (dez) anos. Já para o tempo de concentração (t_c) que é o tempo que corresponde a viagem da água da chuva do ponto mais distante até a saída da bacia (SILVEIRA, 2005), foi utilizada a Equação 1 de Kirpich, em que o comprimento do talvegue (L) é dado em quilômetros (km) e o desnível (H) entre a seção e o ponto mais alto em metros (m).

$$t_c = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (1)$$

O coeficiente de deflúvio, levou em consideração o PMSB que pelo zoneamento recomendam um valor de 0,7 por se tratar de uma área com alta e altíssima densidade (PREFEITURA DE APUCARANA, 2017). Portanto, com a adoção de parâmetros característicos e seguindo as recomendações do PMSB e do Manual de Saneamento da FUNASA (2019), a obtenção da vazão de projeto para o canal de drenagem foi determinada por meio do método racional, em que a vazão é obtida pelo produto da intensidade da precipitação, área e o coeficiente de deflúvio (TUCCI, 2000).

Simulação de escoamento

Com a determinação da vazão, foram seguidas as recomendações contidas no Manual de Saneamento da FUNASA (2019), para estabelecer os parâmetros construtivos de um canal de drenagem urbana onde pudesse ser simulado o escoamento obtido.

Primeiramente foram coletadas as informações sobre as dimensões do canal de formato trapezoidal, bem como, declividade, estado físico e revestimento. Desta forma, foram utilizadas as formulações pré-estabelecidas pela Figura 2 para canais trapezoidais, para obtenção de área, perímetro e raio hidráulico.

Seção Transversal	Área (A) (m ²)	Perímetro Molhado (P) (m)	Raio Hidráulico (Rh) (m)	Largura do topo (B) (m)
	$(b + Zy)y$	$b + 2y\sqrt{1 + Z^2}$	$\frac{(b + Zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + Z^2}}$	$b + 2Zy$

Figura 2- Características geométricas de seções de canais trapezoidais - Fonte: Adaptado de Baptista e Coelho (2010)

E utilizada a formula de Manning (Equação 2), que adota parâmetros estabelecidos por Chézy em suas formulações, e apresenta resultados mais precisos, com as condições de escoamento, para a obtenção a velocidade média do escoamento (PORTO, 2006).

$$V_m = \frac{1}{\eta} Rh^{2/3} I_o^{1/2} \quad (2)$$

A vazão de projeto obtida anteriormente, divida pela área molhada, tem como resultado a velocidade média do escoamento. Desta forma, para a máxima vazão a Equação 2 pode utilizar a altura da lâmina d'água como incógnita para simular se o canal atende a demanda de água em máxima precipitação. Já com os valores de lâmina d'água mínimo, se obtém a vazão regular do canal.

Projeto de readequação

O projeto de readequação do canal foi planejado com base no manual da FUNASA e em projetos descritos na literatura nacional e internacional, visando não apenas a eficiência hidráulica, mas também a qualidade hídrica bem como da macro e microbiota existente no local. Outro quesito foi o de buscar meios de dissipação de energia no canal, com o intuito de regular e/ou diminuir a

velocidade do escoamento em períodos de chuva intensa, de tal forma que possa minimizar o desgaste nas paredes dos canais, e o arraste de terra (erosão) (MENEGON, 2018).

RESULTADOS

Estimativa de vazão do recorte geográfico proposto

O canal tem sua nascente na região central da cidade de Apucarana próxima ao ponto (a) por galerias pluviais que percorrem para menores altitudes até o ponto (b), onde o córrego ressurge para uma calha de concreto revestida com pedra argamassada com um comprimento de aproximadamente 552m, até sua foz no lago Jaboti no ponto (c). Após a barragem que sustenta o lago no ponto (d), o córrego continua como o ribeirão Barra Nova em direção ao Ivaí. E ainda com base na carta topográfica da região, foi possível extrair as curvas de nível da mesma e delimitar a bacia de influência do canal de drenagem, como pode ser observado na Figura 3.

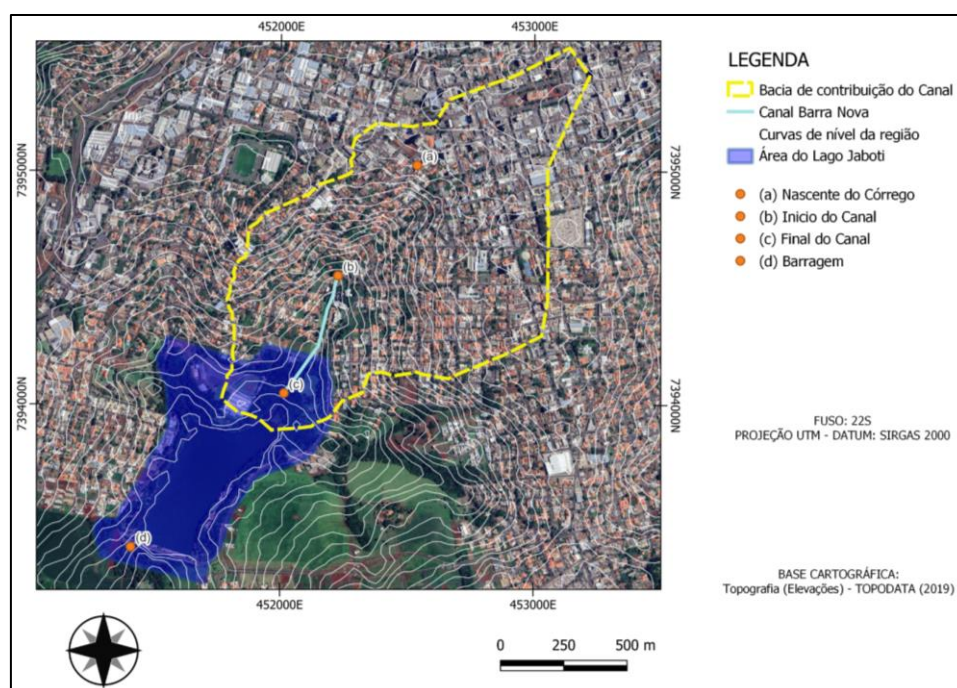


Figura 3 - Delimitação da bacia de contribuição do canal

A área referente à bacia de contribuição do canal foi de aproximadamente 1,36 km², sendo que está abrange parte do centro de Apucarana. Para o desenvolvimento dos cálculos, foram utilizados os parâmetros apresentados pelo PMSB (2017). O tempo de concentração encontrado pela Equação 1 foi de 8,58 minutos e a chuva de projeto encontrada pela equação IDF foi de 139,91 mm/h. Com estes parâmetros foi possível estimar a vazão de águas pluviais ao qual o canal deve suportar pelo método racional, sendo igual a 36,998 m³/s.

Simulação de escoamento

As dimensões do canal, assim como sua declividade apresentam certa variação na extensão de seu comprimento, de forma que as dimensões de maior importância para o trabalho aqueles referentes ao trecho do canal ligado ao lago Jaboti, com aproximadamente **172 m** de comprimento e uma inclinação (declividade) de **0,029 m/m**; já que neste trecho apresentam os maiores problemas estruturais e ambientais. As dimensões (em metros) referentes ao corte longitudinal obtidas podem ser observadas na Figura 4.

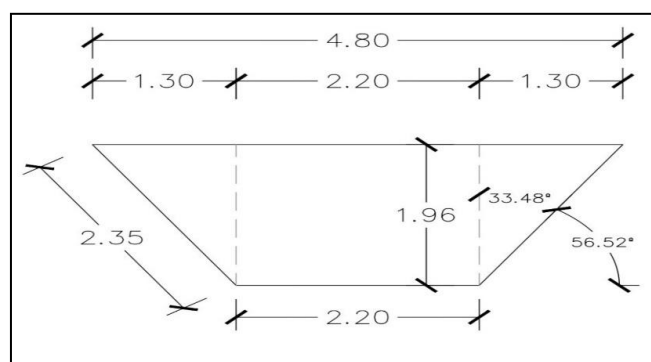


Figura 4 - Dimensões obtidas do canal de interesse

Ainda com uma angulação externa das paredes do canal de 56,52° e adotando um Manning de 0,030 s/m^{1/3} (Alvenaria de pedra argamassada em más condições) foi possível utilizando da Figura 1 e dividindo a velocidade média (Equação 4) pela área olhada, obter um valor de Z de 0,6614; uma altura de lâmina d'água de 1,91 m; área molhada e perímetro molhado de respectivamente 6,61 m² e 6,78 m. E uma velocidade média de 5,59 m/s.

Esta velocidade obtida excede os padrões limites estipulados pela literatura de Azevedo Netto *et al.* (1998) e Porto (2006), que apresenta um limite máximo de velocidade igual a 5 m/s; em relação a inclinação das paredes do canal o canal está dentro do limite estipulado ($Z < 0$) para paredes de Rocha compactada, alvenaria acabada em concreto, porém não está dentro da geometria ótima para canais trapezoidais ($\theta = 60^\circ$) o que gera uma menor eficiência no padrão dimensionado.

A relação da altura do canal também difere das recomendadas pela literatura uma vez que sendo a altura do canal igual a 1,96 m e a altura da lâmina de 1,91 m; esta tem folga de lâmina d'água de somente 2,55% da superfície do canal, fugindo da recomendada de 20 a 30% de Azevedo Netto *et al.* (1998) e Porto (2006) para evitar possíveis sobre-elevações.

Outra situação que ocorre, é que com as tensões elevadas nas paredes e fundo do canal, ocasionadas pela alta vazão, velocidade e altura de lâmina d'água, esta passa a apresentar fissuras nas



juntas das pedras que compõe a estrutura. Estas aberturas contribuíram para infiltração na estrutura, deslocamento de terra sob a parede, além de possibilitar o crescimento vegetal no local, fazendo com que a situação se agrave ainda mais e possa ocasionar o colapso da estrutura.

Outra análise realizada no canal, foi em relação à mínima vazão que ocorre diariamente, uma vez que o canal é responsável por transportar a água do córrego Barra Nova (que chega ao canal por galerias pluviais) até o lago Jaboti. Com uma altura de lâmina d'água coletada de 10mm (média de vários pontos do canal) referente a mínima vazão do canal. Foi possível encontrar uma área molhada de 0,022 m²; perímetro molhado de 2,22 m; velocidade média de 0,262 m/s; e vazão de 0,0058 m³/s.

Em análise inicial já foi possível identificar que a velocidade média do escoamento se encontra abaixo do mínimo estabelecido na literatura o que pode acarretar em zonas secas caso haja depósito de qualquer material no fundo do canal, uma vez que há uma área superficial muito grande em relação à altura do escoamento.

Pela magnitude do canal, em condições de escoamento mínimas o mesmo está superdimensionado, já que este comporta uma vazão 6389 vezes maior do que a que ocorre diariamente, sendo está 0,016% da máxima.

Proposta de readequação do canal

A readequação do canal proposto aqui leva em consideração o dimensionamento de um canal secundário no centro do canal atual. Mantendo o formato trapezoidal original por ser uma geometria com grande eficiência, e um canal de geometria também trapezoidal em menor escala que transporte o escoamento permanente do canal (vazão mínima) para o lago mantendo uma estabilidade do fluxo.

Para tanto, primeiramente adotou-se um novo revestimento para o canal, sendo este de concreto em muito boas condições (Manning de 0,012 s/m^{1/3}) possibilitando a regularização do leito através da ancoragem de uma estrutura metálica nas rochas existentes e o lançamento de concreto projetado nas mesmas. Garantindo uma maior resistência a compressão, além de uma camada lisa para o escoamento, evitando assim juntas e esmagamento de materiais com as tensões.

Desta forma, a velocidade média em situação perene pela Equação 4 se torna 0,66 m/s e a vazão com as dimensões originais do canal a uma lâmina d'água de 10 mm, de 0,0145 m³/s. Adotando as geometrias de $Z = (\sqrt{3}/3)$ e $b = ((2y\sqrt{3})/3)$ consideradas ótimas, em que o raio hidráulico é máximo, ocasionando um escoamento mais eficiente (HOUGHTALEN; HWANG; AKAN, 2012). Foi possível determinar através do rearranjo da Equação 4 e da Figura 2, a altura de lâmina d'água

necessária de 8 cm. Desta forma o novo canal foi dimensionado com uma largura de base de 10 cm, e largura de topo de 20 cm. Possibilitando uma velocidade de 1,25 m/s que se encontra dentro dos limites estipulados pela literatura, e transportará de forma mais eficiente a vazão constante.

Para o canal maior, além da troca do revestimento, foi realizando uma leve inclinação no fundo (3%) em direção ao centro para que a vazão a água que caia no canal maior escoe para o menor. Utilizando da máxima vazão calculada anteriormente, agora com os novos parâmetros foi recalculada a altura de lâmina d'água, sendo esta igual a 1,41 m. Como pode ser observado na Figura 5.

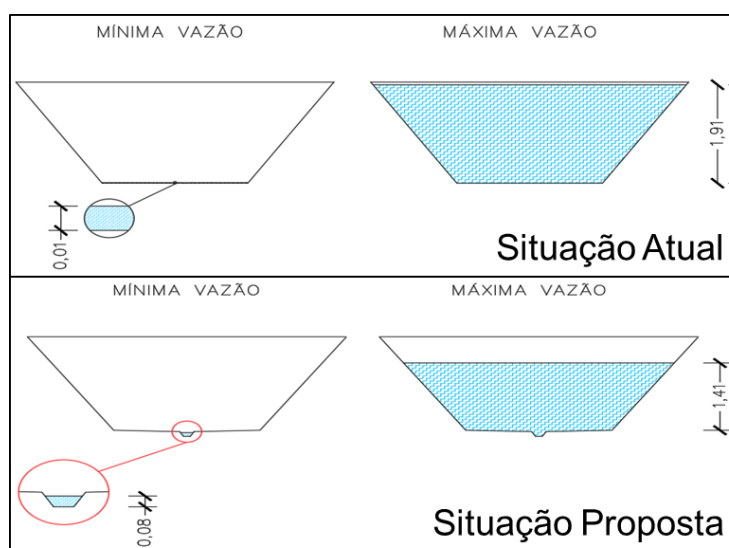


Figura 5 - Novas alturas de lâmina d'água (m) das vazões mínima e máxima

Com estes parâmetros a velocidade do canal (10,98 m/s) ainda está acima do recomendado pela literatura, porém as paredes apresentam maior resistência as tensões e podem manter o escoamento com uma lâmina d'água com uma folga que não ocorra transbordo, evitando assim também erosão nos lados do canal.

A fim de dissipar a energia gerada pela alta velocidade e utilizar de mecanismos já apresentados no canal, são sugeridas lagoas formadas pelo arraste dos materiais, regularizando-as de forma a tornarem-se lagoas artificiais que possam ser controladas por parâmetros hidráulicos. Desta forma, estas apresentariam um diâmetro de 8 m cada, revestidas também de concreto em muito boa qualidade, e com uma profundidade de 1,2 m.

Em máxima vazão, em que a velocidade se apresenta muito acima do recomendado, pela profundidade e extensão das lagoas (volume de 60,32 m³), quando o escoamento passar pelo trecho haverá primeiramente um impacto da água com as paredes circulares da lagoa, já que o canal



apresenta uma abertura de entrada do fluxo menor que a extensão da lagoa, gerando ainda uma rotação da água acima do nível cotidiano da lagoa, e uma estabilidade abaixo deste mesmo.

A manutenção da velocidade dentro dos parâmetros adequados, é um fator essencial para possibilitar a manutenção da vida aquática, pois favorece a oxigenação do meio. Além de evitar a proliferação de vetores que possam propagar doenças.

Como o canal anteriormente finalizava sua extensão em uma área pantanosa constituída com um pequeno córrego que escoava até o lago, propõem-se a extensão do canal menor até o leito do lago, de forma a conecta-los possibilitando um escoamento sem interrupções.

CONCLUSÃO

O presente trabalho propôs uma análise das condições hidráulicas de canal artificial de drenagem urbana na região do lago de Jaboti em Apucarana – PR sendo este o canal Barra Nova.

Ao simular o escoamento foi possível observar que durante a vazão de cheia do canal a altura da lâmina d'água excede os valores recomendados pela literatura, o que pode ocasionar o transbordo durante o escoamento. Os valores da velocidade se apresentavam elevados o que segundo o revestimento das paredes do canal poderia ocasionar em fissuras e arraste de material pela tensão imposta. Nas condições em mínima vazão (estiagem) foi perceptível o superdimensionamento para este estado, uma vez que ambas as vazões ocorrem no mesmo canal, sendo a mínima vazão 0,0016% da máxima com uma altura do escoamento regular no cotidiano do canal de somente 10 mm.

De forma a tentar restaurar a estrutura, foi elaborado uma proposta de projeto de readequação do canal, utilizando um canal menor no centro para o transporte de uma mínima vazão com uma altura e velocidade compatível com os valores apresentados na literatura. E a recuperação de leito no canal maior, trocando o revestimento das paredes para concreto em muito boas condições, que se mostra mais resistente. Contudo esta alteração acarreta em um aumento da velocidade, e de forma a sanar esta situação, foram utilizadas as lagoas formadas, adaptando-as a lagoas artificiais que pudessem ser controladas e utilizadas como dissipadores de energia cinética.

Com a intervenção do projeto, ainda é possível conectar o canal diretamente com o lago, ampliando o canal menor que é abastecido com um fluxo constante diretamente até o leito. A readequação de projetos em estado de falha é essencial para prevenir que os problemas já apresentados se alastrem, levando o ambiente a seu entorno a receber impactos diretos em períodos de grandes vazões.



REFERÊNCIAS

- AZEVEDO NETTO, J. M. *et al.* **Manual de Hidráulica**. 8. ed. Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1998.
- BAPTISTA, M. B.; COELHO, M. L. P. **Fundamentos da Engenharia Hidráulica**. 3. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.
- FUNASA. **Manual de Saneamento**. 5. ed. 545 p. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. Brasília: Funasa, 2019. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/Mnl_Saneamento.pdf/ae1d4eb7-afe8-4e70-ae9a-0d2ae24b59ea. Acesso em jun. de 2020.
- HOUGHTALEN, R. J.; HWANG, N. H. C; AKAN, A. O. **Engenharia hidráulica**. São Paulo: Pearson Educación do Brasil, 2012.
- IAPAR. **Atlas climáticos do Paraná**. Instituto Agrônomo do Paraná: IAPAR, 2019. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>. Acesso em: jun. de 2020.
- MENEGON, V. A. **Critério de detalhamento para projeto de dissipador de energia de um emissário no município de Campo Mourão, Paraná**. 2018. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Departamento de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/13346/1/projetodissipadorenergiaemissario.pdf>. Acesso em: jun. de 2020.
- PORTO, R. M. **Hidráulica básica**. rev. EESC-USP, São Carlos-SP, 2006.
- PREFEITURA DE APUCARANA. **Plano Municipal de Saneamento Básico – Caderno 2 – Prognóstico**. Apucarana – PR, 2017. Disponível em: http://www.apucarana.pr.gov.br/site/wp-content/uploads/pdf/PMSB_Apucarana_PROGNOSTICO-2017.pdf. Acesso em: jun. de 2020.
- PREFEITURA DE APUCARANA. **Lago Jaboti**. Turismo em Apucarana. 2020. Disponível em: <http://www.visiteapucarana.com.br/tour/lago-jaboti/>. Acesso em: jun. de 2020.
- SILVEIRA, A. L. L. da. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. **Rbrh: revista brasileira de recursos hídricos**. Porto Alegre, RS: ABRH. Vol. 10, n. 1 (jan./mar. 2005), p. 5-23, 2005.
- TOPODATA. **Modelo Digital de Elevações** – Acesso. Banco de dados Geomorfométricos do Brasil: TOPODATA, 2019. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Acesso em: jun. de 2020
- TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **Revista Brasileira de recursos hídricos**, v. 5, n. 1, p. 61-68. 2000, ISSN 2318-0331.