



XIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA REFORMA DO CANAL DO RIO GRANJEIRO NAS CARACTERÍSTICAS DE SEU ESCOAMENTO

Pétrus Eduardo Feliciano de Sá¹; Tatiane Lima Batista²; Paulo Roberto Tavares Lacerda³

RESUMO – A urbanização é um fenômeno que faz parte da realidade da maioria dos grandes centros, o que acarreta uma série de mudanças no perfil de uso e ocupação do solo e de distribuição da população. Esse processo, somado ao crescimento desordenado e a ausência planejamento das cidades, implica a ocupação das áreas marginais dos leitos de rios o que ocasiona mais problemas relacionados às inundações. Dessa forma, este trabalho tem por objetivo analisar o comportamento do escoamento do canal do Rio Granjeiro considerando uma reforma em toda extensão, assim como o seu funcionamento em condições ideais de limpeza. Os resultados oriundos das simulações apontam que o transbordamento do canal é inevitável, observando apenas que há uma alteração da seção de transbordamento, onde esta estará um pouco mais a jusante do canal.

ABSTRACT – Urbanization is a phenomenon that is part of the reality of most major centers, which entails a series of changes in the usage profile and land use and population distribution. This process, coupled with the uncontrolled growth and lack of planning cities is the occupation of the marginal areas of the riverbeds which causes more problems related to flooding. Thus, this work aims to analyze the channel flow behavior of the River Granjeiro considering a reform to the full extent, as well as its operation in optimum cleaning. The results derived from the simulations show that the overflow channel is inevitable, noting only that there is a change in the overflow section, where it will be a little more the channel downstream.

Palavras-Chave – Hidráulica de Canais, HEC-RAS, Drenagem Urbana.

¹ Mestrando em Eng. Civil – Recursos Hídricos (UFC): (88) 96695697, petruscrato@gmail.com

² Mestranda em Eng. Civil – Recursos Hídricos (UFC): (88) 997292911, tatianelima.eng@gmail.com

³ Doutor em Eng. Civil – Recursos Hídricos (UFC), Professor Adjunto III da Universidade Federal do Cariri no curso de Engenharia Civil, (88) 988365768, prltavares@ufc.br

1. INTRODUÇÃO

As diversas alterações de caráter antrópico que ocorrem nas condições naturais dos escoamentos de fluidos acarretam vários desequilíbrios de ordem hidráulica. Essas alterações ocorrem principalmente devido ao processo de urbanização que assola a grande maioria das cidades e que modificam o perfil de distribuição da população. Com isso, problemas de ocupação do solo urbano são cada vez mais frequentes e resultam em um processo de urbanização observado nas bacias dos rios. A ocupação das margens dos córregos e a conseqüente redução de suas calhas causam o aumento da velocidade da água e uma vez não havendo espaços para a acomodação das grandes enchentes provocadas pela ocupação, as águas irão atingir regiões até mesmo antes não alagáveis naturalmente.

As inundações ocorridas nos escoamentos que permeiam as cidades são um problema que acontece com muita frequência e assim como outros desastres naturais, implicam prejuízos socioeconômicos e danos ambientais. Para que se tenha uma real dimensão dos problemas advindos das inundações é indispensável que se façam análises das áreas que possuem maior vulnerabilidade, realizando-se um mapeamento desses locais que se apresentam em situação de maior risco.

Dessa forma se faz necessário que sejam realizadas análises, através da modelagem hidráulica, a fim de se proporcionar um estudo mais profundo de escoamento e que sirvam de base para diagnósticos mais precisos acerca das inundações que ocorrem em canais de leito fixo. Assim O objetivo geral desse trabalho é objetivo analisar o comportamento do escoamento do canal do Rio Granjeiro considerando uma reforma em toda extensão, assim como o seu funcionamento em condições ideais de limpeza.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A modelagem numérica dos cursos de água é definida como a simulação das condições e especificidades do escoamento em análise, tendo por base a formulação e resolução das equações que apresentam os princípios hidráulicos que regem a Modelagem Hidráulica. A partir do avanço do cálculo computacional em meados da década de 1950 foi possível realizar as primeiras aplicações dos princípios hidráulicos às condições reais de um escoamento fluvial, o que foi aumentado consideravelmente durante a década de 70 (CUNGE et al., 1980).

2.1. Drenagem Urbana: Macrodrenagem

De acordo com TUCCI e BERTONI (2003) o crescimento urbano desordenado configura-se como um dos principais fatores associados à ocorrência de inundações. Este fenômeno ocorre

devido à falta de controle do espaço urbano produzindo efeito sobre a infraestrutura de água (abastecimento, esgotamento sanitário, drenagem urbana e resíduos sólidos).

A urbanização implica, forçosamente, alterações significativas no meio ambiente e nos processos hidrológicos através da ação direta nos cursos d'água e nas superfícies das bacias hidrográficas. Observam-se a redução da interceptação, do armazenamento superficial e da infiltração, em função do acréscimo das áreas impermeabilizadas, e o conseqüente aumento dos volumes de escoamento superficial. Além disso, a maior eficiência hidráulica de drenagem associada aos condutos artificiais conduz ao aumento da velocidade de escoamento e, portanto, da magnitude dos picos de cheia. Assim, em um quadro de urbanização crescente, constata-se a obsolescência gradual e inexorável dos sistemas de drenagem implantados segundo a ótica higienista, levando a inundações cada vez mais frequentes em áreas urbanas, com severas implicações sociais, econômicas e políticas decorrentes (BATISTA, 2005).

De acordo com a macrodrenagem urbana, a tendência à urbanização se dá de jusante para a montante, justamente devido às características do relevo que promove esse processo. O fato de o poder público não controlar a urbanização e tampouco aplicar medidas de macrodrenagem potencializa a ocorrência de inundações à jusante, implica perdas sociais e econômicas. Esse processo acontece devido à sobrecarga da drenagem secundária sobre a macrodrenagem (riachos e canais) dos meios urbanos (TUCCI, 2003).

O processo controle das cheias urbanas se dá principalmente por meio da canalização dos trechos críticos. Essa espécie de medida se concentra em um trecho da bacia, de forma que as conseqüências para o restante da mesma não são previstas. Vale ressaltar que a canalização realizada nos pontos críticos tem por objetivo tão somente transferir a inundação para um local mais à jusante bacia (TUCCI, 2003).

2.2. Modelagem computacional de canais: o programa HEC-RAS.

O modelo de simulação hidráulica HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) foi desenvolvido pelo Corpo de Engenharia do Exército dos EUA (US Army Corps of Engineers), e consiste em um software que permite o cálculo hidráulico unidimensional do escoamento permanente e não permanente em canais naturais e artificiais (USACE, 2010).

O módulo RAS (River Analysis System) é um software de simulação hidráulica pertencente à plataforma HEC (Hydrologic Engineering Center). Esse módulo possibilita a simulação unidimensional do escoamento em canais abertos, sob o regime permanente e não-permanente e também na condição de fundo móvel e com transporte de sedimentos. Sua interface gráfica permite a construção de projetos com um único trecho ou com uma rede de canais. São ainda utilizadas informações topográficas das seções para descrever a geometria do canal

O HEC-RAS é um modelo adequado para efetuar os cálculos dos perfis de superfície da água em escoamento permanente e não permanente, em canais com superfície livre. Esses perfis podem ser calculados em regimes subcríticos, supercrítico, e misto, onde poderão ocorrer mudanças do regime supercrítico para subcrítico ou de subcrítico para supercrítico (OLIVEIRA, 2005).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo sobre o Canal do Rio Granjeiro tem como seu escopo a aplicação de modelos computacionais capazes de realizar simulações hidráulicas que sirvam de base para o cálculo da linha d'água, o que possibilita a análise do potencial de transbordamento do canal que atinge a área urbana da cidade de Crato/CE.

O software usado para a modelagem hidráulica do canal de concreto do Rio Granjeiro foi o HEC-RAS. As vazões dos períodos de retorno de 20, 50 e 100 anos obtidas do estudo hidrológico da bacia do Rio Granjeiro (MOREIRA, 2013).

3.1. Área de Estudo

A área de estudo se delimita a todo o trecho em que houve a fixação das margens do canal através da concretagem. Esse trecho consiste no trecho em que o Rio Granjeiro passa pelo meio urbano do município de Crato-CE. O município de Crato apresenta uma demografia de 121.428 habitantes sendo distribuídos 100.916 habitantes na zona rural com 20.512 habitantes na zona urbana registrados pelo IBGE no senso demográfico no ano de 2010.

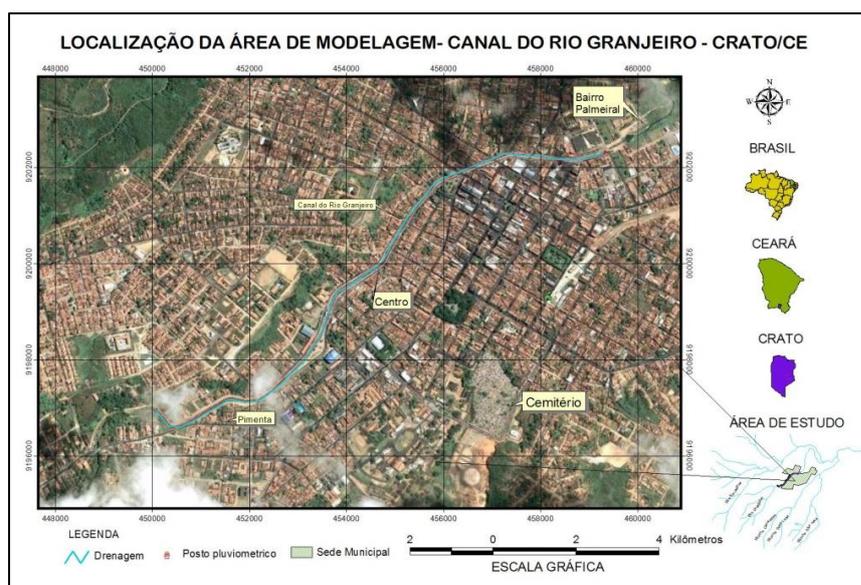


Figura 07: Localização da área de modelagem (Fonte: SILVA, 2013).

3.1.1. Definição da Geometria e Dados da Reforma do Canal

Para inserção dos dados no software HEC-HAS, utilizou-se como base o estudo de título: “Modelagem hidráulica do Canal Do Rio Granjeiro, Crato/CE, utilizando o programa computacional HEC-RAS” (SILVA 2013). Assim executou-se, inicialmente, a composição do modelo.

O primeiro passo após o traçado do rio e do canal realizado no ArcGIS 9.3, integrada com a extensão GEO-RAS e o apoio do software GPS TrackMaker Pro (SILVA, 2013), foi inserir as 136 seções transversais obtidas no levantamento geodésico concedido pelo Departamento de Arquitetura e Engenharia do Ceará (DAE-CE). Em que para além dos dados geométricos dos perfis transversais, determinou-se a distância da seção à jusante.

Em relação à topologia do trecho analisado, o mesmo possui extensão de 2.240 m que foi subdividido em 136 seções transversais até o deságue natural do escoamento. A geometria se estabeleceu através da definição das várias seções transversais; das perdas de carga motivadas pelos fenômenos de contração/expansão e atrito; dos comprimentos dos trechos que se separam as diversas seções consideradas e para finalizar da informação de todas as junções consideradas.

A reestruturação do canal, realizadas entre 2012 e 2013 nos trechos destruídos do canal devido à enchente ocorrida no início do ano de 2010, limitou-se ao seu primeiro quilômetro, onde se concentrou os maiores estragos, nesse trecho foram feitas seções que melhor se adaptassem ao leito do rio, havendo ainda a estabilização do solo nos locais em que se mostrou necessário. Vale ressaltar que as várias formas de seções transversais evidenciam que o canal não é uniforme e apresenta trechos com estreitamento do leito.

3.2. Aplicação da Modelagem Computacional

O HEC-RAS necessita de alguns dados básicos pra a utilização do modelo, dentre esses dados estão os referentes ao escoamento e à geometria. Os dados geométricos básicos consistem (OLIVEIRA 2005): a) Diagrama esquemático do curso d'água (desenho da bacia do trecho estudado, numerado em ordem crescente de jusante para montante); b) Dados das seções transversais (perfis transversais); c) Comprimento dos trechos dos rios; d) Coeficientes de perda de energia (perdas por atrito, contração e expansão); e) Informações sobre as confluências dos cursos d'água. Vale ressaltar que pontes, bueiros, barragens e outros elementos de mesma natureza da estrutura hidráulica, são encarados como dados geométricos.

No que concerne aos dados básicos requeridos pelo modelo para elaboração do perfil da linha d'água em escoamento são (OLIVEIRA 2005): a) Regime de escoamento; b) Condições de Contorno; c) Informações sobre vazões máximas.

3.2.1 Dados hidráulicos de entrada no modelo

A partir do estudo hidrológico de precipitações máximas de precipitações intensas na bacia hidrográfica do Rio Granjeiro obtiveram-se as estimativas de vazões máximas para entrada na modelagem hidrológica.

A vazão advinda a partir do estudo de precipitações máximas de chuvas intensas para o período de retorno de 50 anos possui o valor de 256,3 m³/s (MOREIRA 2013).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Logo após serem inseridos os dados geométricos no programa computacional de modelagem hidrológica HEC-RAS, obteve-se o perfil longitudinal do traçado do canal e sua composição possuindo 136 seções transversais definidas de acordo com a reforma realizada no trecho, assim como mostra a Figura 05.

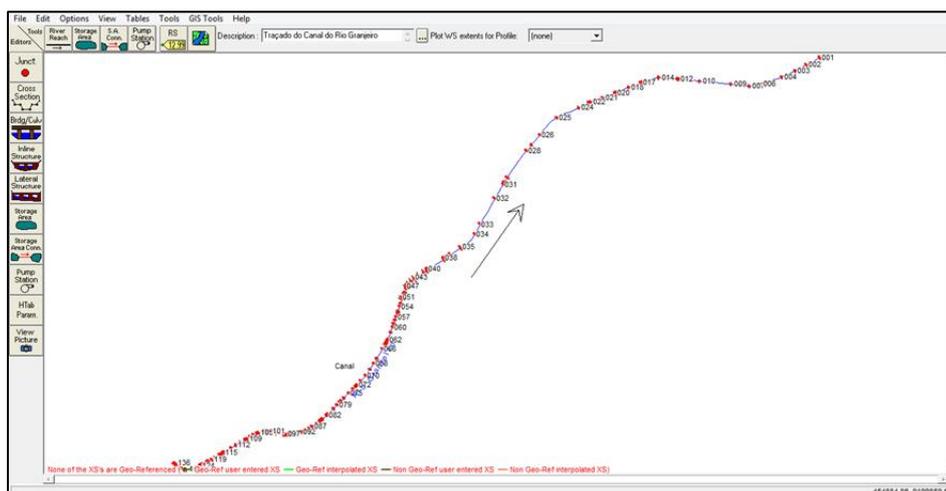


Figura 05: Representação do traçado do canal no modelo HEC-RAS.

4.1. Análise dos resultados da modelagem hidráulica do HEC-RAS

Depois de inseridos todos os dados, considerando as duas situações de revestimento para o modelo, foi possível modelar dois cenários de escoamento. Onde para o primeiro cenário foi considerada a situação atual do canal em que ocorre um revestimento total de concreto no trecho reformado, o qual se limita ao primeiro quilômetro do canal, e para o segundo cenário foi adotada a situação em que haveria uma suposta reforma completa do canal, onde o canal seria revestido por concreto em sua totalidade e se encontraria completamente limpo.

A partir da análise dos valores máximos de precipitações para o conjunto de vazões do estudo hidrológico da bacia do Rio Granjeiro e dos dados geométricos, foi possível observar os diversos resultados fornecidos pelo programa HEC-RAS para as variáveis do escoamento de acordo

com as duas situações distintas, sendo realizado o estudo com base na energia, na velocidade e no perfil do escoamento. Os resultados estão dispostos os dados para o período de retorno de 50 anos.

Para análise da energia tomou-se como base o número de Froude, o qual propicia a observação da mudança de regime de escoamento torrencial para fluvial ou vice e versa. Assim de acordo com o número de Froude a mudança na situação atual do canal ocorre na seção 32 que se encontra a 1220m do início do canal Figura 29, já na segunda situação a alteração de regime acontece na seção 24 que está 1560m do início do canal Figura 30. Dessa forma verifica-se que na primeira situação tem-se 54,46% do regime do canal torrencial e no segundo cenário 69,64% do canal sob a mesma característica. Observa-se então que a grande maioria do regime de escoamento do canal é supercrítico apresentando uma elevada energia em ambos os casos.

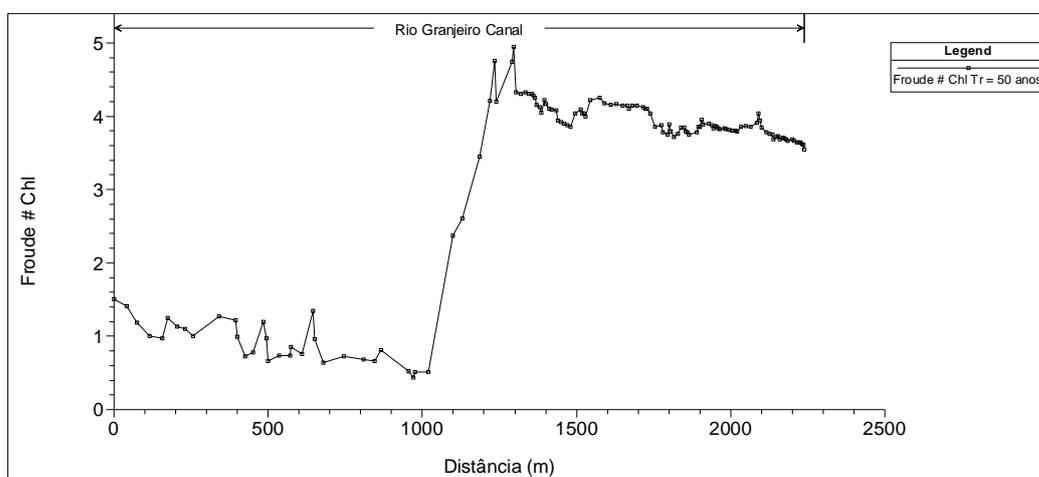


Figura 29: Representação do n° de Froude do canal para os Tr de 50 anos de acordo com a situação atual.

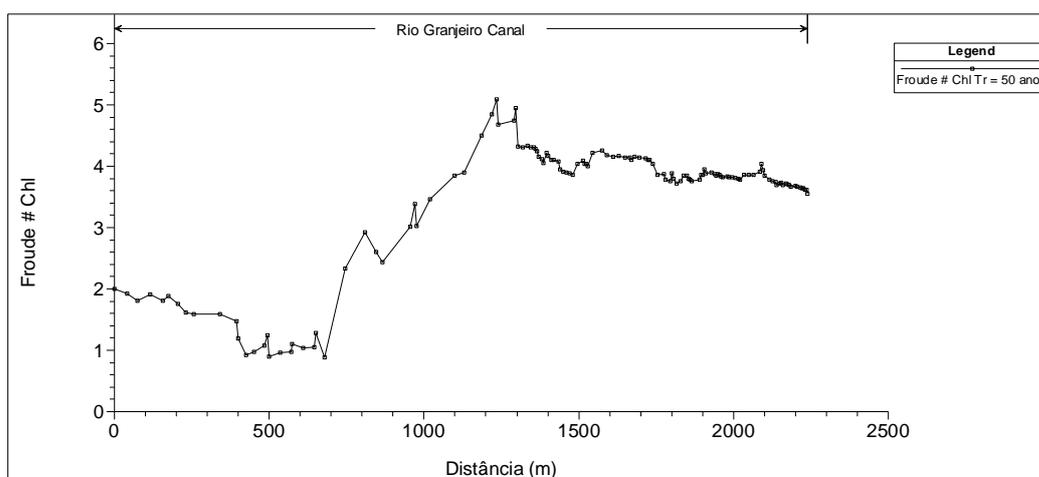
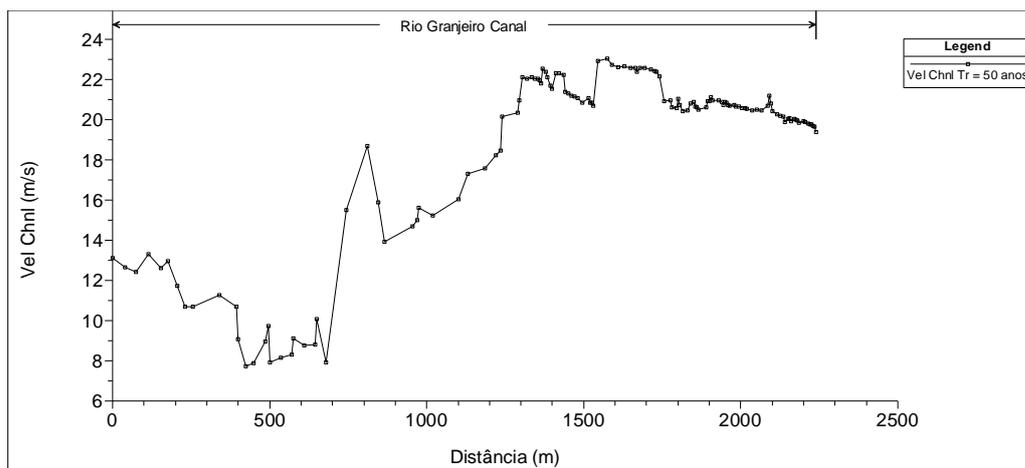
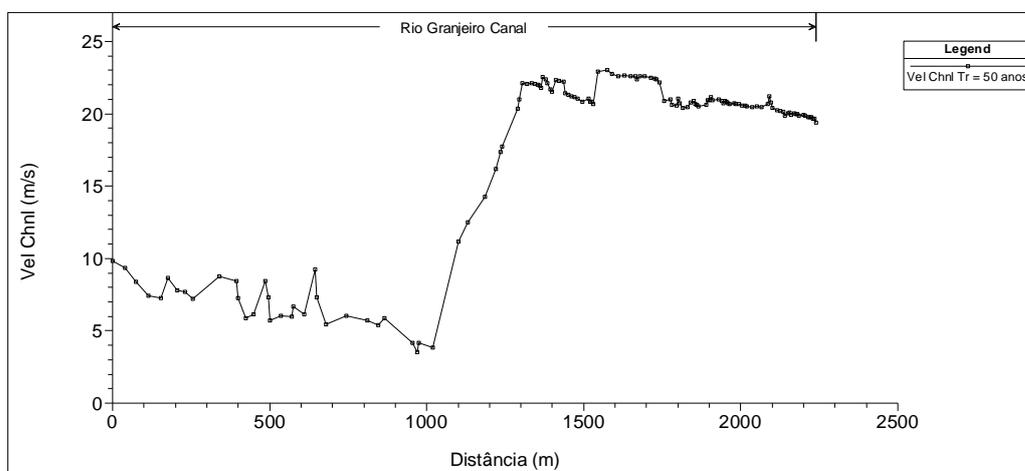


Figura 30: Representação do n° de Froude do canal para os Tr de 50 anos de acordo com a situação de completa concretagem do canal.

Ao tratar dos perfis de velocidade observou-se que para o primeiro cenário do escoamento em análise o valor da velocidade média é de 17,44 m/s e no segundo cenário é de 18,69 m/s, ressaltando-se que 42,41% do escoamento do canal na primeira situação se encontra com valores de velocidade acima de 20 m/s (Figura 31) e 44,64% na segunda situação (Figura 32), a velocidade permanece alta até a seção de mudança do regime do fluido em ambas as situações. Essas verificações corroboram os dados anteriores referentes à alta energia envolvida no escoamento do canal. O fato de o fluxo possuir altas velocidades e elevadas energias favorece a desestabilização dos taludes e consequente desmoronamento das margens, dessa forma qualquer obstrução ao longo do canal oferece uma grande risco para a integridade do leito.



Na situação atual do canal o transbordamento das margens ocorre na seção 32 com altura de lâmina de água de 5,87m, já na situação de completo revestimento de concreto do canal o transbordamento acontece na seção 28 com altura de lâmina do fluido de 3,35m e continua até o final do canal nas duas situações. Dessa forma tem-se que para o primeiro cenário ocorre cheia em 45,54% do canal com altura máxima de lâmina de água de 7,52m referente à seção 17 (Figura 35), para o segundo cenário observa-se que há cheia em 38,62% do escoamento com altura máxima de lâmina de água de 8,22m referente à seção 24 (Figura 36).

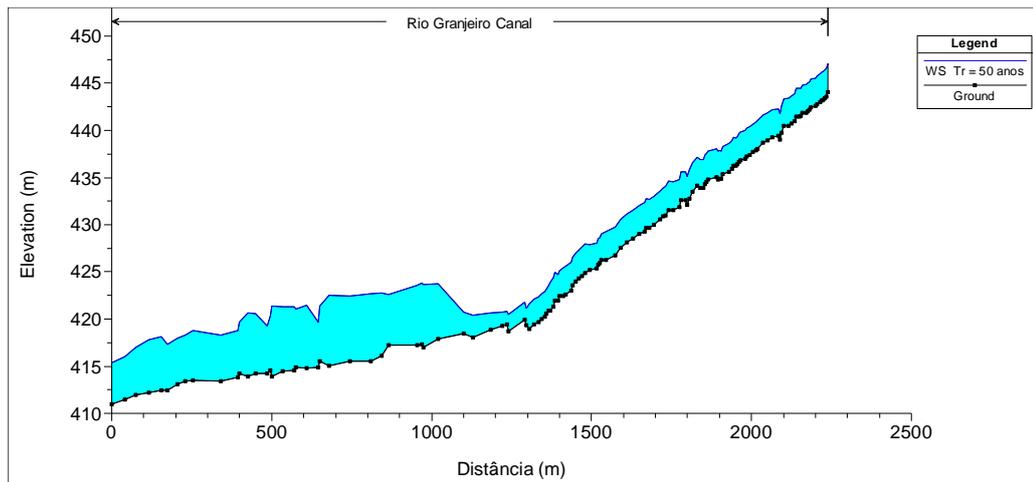


Figura 35: Representação do perfil longitudinal do canal para o Tr 50 anos de acordo com a situação atual.

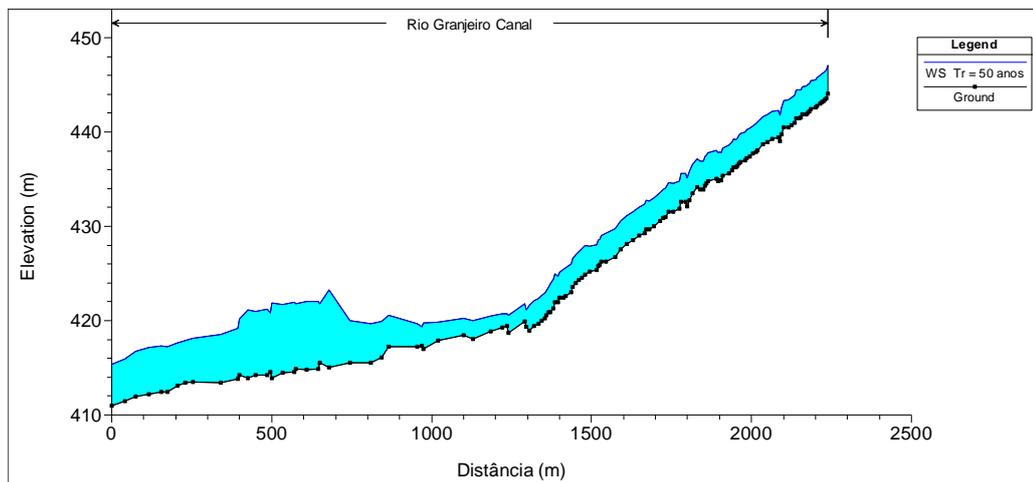


Figura 36: Representação do perfil longitudinal do canal para o Tr 50 anos de acordo com a situação de completa concretagem do canal.

5. CONCLUSÃO

Os resultados mostram que o escoamento possui elevadas velocidades e altos valores de energias o que proporciona a desestabilização dos taludes e posterior desmoronamento das margens, devendo-se, portanto manter o canal sem nenhuma obstrução. O fato de o fluxo possuir valores de energia e velocidade acima da média deve ser um parâmetro bastante importante ao se intervir de qualquer forma no canal. A análise também evidenciou que em vários trechos do canal ocorrem transbordamentos o que é preocupante em relação à segurança dos moradores que residem nas áreas marginais do canal.

Dessa forma, pode-se observar que tanto na condição atual do canal como em um cenário de completo revestimento de concreto e uma limpeza total do leito ocorrem os problemas recorrentes do canal, o que sugere que devem ser realizados estudos mais aprofundados de intervenção no canal a fim de evitar os danos causados pelos eventos de enchentes.

BIBLIOGRAFIA

BAPTISTA, M.B.; NASCIEMNTO N.O.; BARRAUND, S. (2005) – **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**, Porto Alegre: ABRH, 318p.

CUNGE, J.A., HOLLY, Jr, F.M., VERWEY, A., 1980, **Practical Aspects of Computational River Hydraulics**, Vol. 3, Chapter 4, Pitman, London.

MOREIRA, A.A.C. **Modelagem Hidrológica da Bacia do Rio Granjeiro – Crato –CE Composição do Cenário Atual e Simulações de Uso e Ocupação do Solo**. Dissertação - Msc. Engenharia Civil, Universidade Federal do Cariri, 2013.

OLIVEIRA, R.A.F. **Propagação de Ondas de Despacho e Controle de Inundações da bacia do Paraíba do Sul**. Dissertação - Msc. Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2005

SILVA, T A. **Modelagem Hidráulica Do Canal Do Rio Granjeiro, Crato/Ce, Utilizando O Programa Computacional Hec-Ras**. Dissertação - Msc. Engenharia Civil, Universidade Federal do Cariri, 2013.

TUCCI, C. E. M. e BERTONI, J. C. (2003). **Inundações Urbanas na América do Sul**. ABRH, Ed. UFRGS, Porto Alegre – RS, 471 p.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. (2010). **HEC-RAS River Analysis System: User's Manual**, version 4.1. Hydrologic Engineering Center, 790 p.