

Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS
Campus Erechim

Marcos Andrei Parmigiani

**ANÁLISE DAS ÁREAS INUNDADAS E OS RESPECTIVOS IMPACTOS DEVIDO
AOS DIFERENTES VALORES DO COEFICIENTE DE RUGOSIDADE NO
ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE MONJOLINHO**

Erechim - RS

2017

Marcos Andrei Parmigiani

**ANÁLISE DAS ÁREAS INUNDADAS E OS RESPECTIVOS IMPACTOS DEVIDO
AOS DIFERENTES VALORES DO COEFICIENTE DE RUGOSIDADE NO
ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE MONJOLINHO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS
– Campus de Erechim, como parte das
exigências para obtenção do título Engenheiro
Ambiental, com concentração na área de
Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. Roberto Valmir da Silva

Erechim - RS

2017

Marcos Andrei Parmigiani

**ANÁLISE DAS ÁREAS INUNDADAS E OS RESPECTIVOS IMPACTOS DEVIDO
AOS DIFERENTES VALORES DO COEFICIENTE DE RUGOSIDADE NO
ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE MONJOLINHO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS
– Campus de Erechim, como parte das
exigências para obtenção do título Engenheiro
Ambiental, com concentração na área de
Recursos hídricos

Aprovada em ____/____/____

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Roberto Valmir da Silva
UFFS – Erechim

Prof. Dr. Paulo Hartmann
UFFS – Erechim

Prof. Dr. José Mário
UFFS – Erechim

Dedico este trabalho à todas as pessoas que de alguma forma
contribuíram com a minha formação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Dr. Roberto Valmir da Silva pela orientação e apoio para a realização deste trabalho, e por ter me ensinado à prática de iniciação científica.

Agradeço à minha família pelo apoio nos momentos difíceis durante à graduação.

Agradeço a minha namorada Geane Dorneles Casagrande pela paciência, amizade e apoio em alguns momentos.

Agradeço aos meus amigos e colegas por terem me apoiado e ajudado das mais diversas formas.

No meio da dificuldade encontra-se a oportunidade.

Albert Einstein

RESUMO

As barragens são estruturas projetadas, essenciais para diminuir riscos de enchente, promover o armazenamento e abastecimento de água, e gerar energia a partir da energia potencial da água. Os principais motivos que levam para a falha de uma barragem, são: infiltração, galgamento ou liquefação, em alguns casos pode ocorrer o rompimento do corpo da barragem. O rompimento de uma barragem projeta uma grande quantidade de água armazenada acarretando a inundação de grandes áreas à jusante da barragem. Este estudo objetiva avaliar dados como áreas inundadas, e elevação dos níveis da água gerados pelo modelo hidráulico, assim como os respectivos impactos socioambientais, após o rompimento de uma barragem. A barragem de estudo foi a barragem de Monjolinho, localizada no Rio Passo Fundo no Município de Nonoai/RS, e o software HEC-RAS foi o modelo hidráulico utilizado para tais estudos. Os resultados revelam que as modificações nas áreas inundadas foram significantes para todos os trechos dos rios estudados, assim como os para os diferentes valores de rugosidade utilizados.

Palavras-chave: mapas de inundação. coeficiente de rugosidade. HEC-RAS. impactos ambientais.

ABSTRACT

Dams are designed structures, essential to reduce flood risks, promote water storage and water supply, and generate energy from the water potential energy. The main reasons that lead to the failure of a dam are: infiltration, galling or liquefaction, in some cases can occur the rupture of the dam body can occur. The dam breaking projects a large amount of stored water, causing flooding of large areas downstream of the dam. This study aims to evaluate data such as flooded areas, and elevation of water levels generated by the hydraulic model, after a dam breaking and the socioenvironmental impacts. The dam studied was the Monjolinho dam, located in the Passo Fundo River in the municipality of Nonoai/RS, and the hydraulic model used for the analysis was HEC-RAS software. The results reveal that the changes in the flooded areas were significant for all stretches of the studied rivers, as well as for the different roughness values used.

Keywords: flood maps. roughness coefficient. HEC-RAS. environmental impacts.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Trecho do Rio Passo Fundo: Variação das elevações do nível de água, devido aos diferentes coeficientes de rugosidade, após o rompimento da barragem.	20
Figura 2: Trecho 1 do Rio Uruguai: Variação das elevações do nível de água, devido aos diferentes coeficientes de rugosidade, após o rompimento da barragem.	21
Figura 3: Trecho 2 do Rio Uruguai: Variação das elevações do nível de água, devido aos diferentes coeficientes de rugosidade, após o rompimento da barragem.	22
Figura 4: Área inundada após as simulações de rompimento de barragem.	23
Figura 5: Área inundada após as simulações de rompimento de barragem, Rio Passo Fundo.	24
Figura 6: Área inundada após as simulações de rompimento de barragem, Rio Uruguai – Trecho 1.	24
Figura 7: Área inundada após as simulações de rompimento de barragem, Rio Uruguai – Trecho 2.	25
Figura 8: Diferença das áreas inundadas devido aos coeficientes máximo (azul), médio (verde), mínimo (amarelo), e variável (roxo), no entroncamento do Rio Passo Fundo com o Rio Uruguai.	26
Figura 9: Variações das áreas inundadas devido aos coeficientes máximo (azul), médio (verde), mínimo (amarelo), e variável (roxo), próximo aos municípios de Caxambu do Sul/SC e Rio dos Índios/RS.	26
Figura 10: Impactos causados pela inundação das áreas após a simulação do rompimento de Barragem, área do Rio Passo Fundo localizada próxima ao entroncamento com o Rio Uruguai.	27
Figura 11: Impactos causados pela inundação das áreas após a simulação do rompimento de Barragem, área do Rio Passo Fundo localizada próxima ao entroncamento com o Rio Uruguai.	28
Figura 12: Impactos causados pela inundação das áreas após a simulação do rompimento de Barragem, área do Rio Uruguai Trecho 1 localizada próxima à Usina Hidrelétrica de Itá.	28
Figura 13: Impactos causados pela inundação das áreas após a simulação do rompimento de Barragem, área do Rio Uruguai Trecho 1 localizada próxima ao entroncamento com o Rio Passo Fundo.	29
Figura 14: Impactos causados pela inundação das áreas após a simulação do rompimento de Barragem, área do Rio Uruguai Trecho 2 localizada à 32 Km do entroncamento com o Rio Passo Fundo.	29
Figura 15: Impactos causados pela inundação das áreas após a simulação do rompimento de Barragem, área do Rio Uruguai Trecho 2 localizada à aproximadamente 57 Km do entroncamento com o Rio Passo Fundo.	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Áreas inundadas devido à variação dos coeficientes de rugosidade.	25
Tabela 2: Impactos socioambientais após as simulações da quebra da barragem.	30

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
METODOLOGIA.....	18
RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
CONCLUSÕES.....	32
REFERÊNCIAS	34

INTRODUÇÃO

Barragens são estruturas projetadas, que datam do ano de 2600 a.C., suas finalidades são o armazenamento de água, a geração de energia, abastecimento de água, utilização de recursos hídricos, diminuir os riscos de enchentes e modificar o movimento e o tempo em que a água flui para montante (SCHINTER, 1994). A construção de barragens em rios e riachos tem sido importante para o crescimento populacional e de inovação na tecnologia. Entre muitas coisas as barragens servem para reduzir o perigo de enchentes e tem permitido os humanos a plantar em solos ricos em nutrientes em áreas onde já houveram inundações. (SMITH, 1971).

Segundo Xiong (2011), barragens falham segundo causas externas ou internas. Estudos de casos mostram que a falha de uma barragem pode surgir devido a diferentes razões desde a infiltração de água pelo corpo da barragem, provocando erosão interna, galgamento por capacidade insuficiente do vertedor ou comportas e liquefação devido à terremotos. Além disso, pode-se citar, eventos extremos de precipitação, deslizamentos de terra e danos na estrutura. A falha, ou seja, o rompimento de uma barragem causa danos sociais, materiais e ambientais de grande escala.

Estudos do Centro de Engenharia Hidrológica do US Army Corps of Engineering mostram que as principais causas das falhas em barragem, elencadas de 1 até 8 são: Terremotos, deslizamentos de terra, chuvas extremas, erosões internas, falhas de operação, danos na estrutura, falhas nas fundações e sabotagem (U.S. Army Corps of Engineers, 1997).

Um transiente hidráulico é um fluxo onde a velocidade e pressão mudam rapidamente em função do tempo. A ocorrência de transientes pode causar grandes forças de pressão e a aceleração rápida de fluidos em um sistema de distribuição de água. Quando a velocidade desse fluxo muda rapidamente por conta de alguma influência externa, isso causa uma mudança de movimento dentro do sistema na forma de uma onda de pressão. Devido a efeitos devastadores que um transiente hidráulico pode causar, sua análise é muito importante na determinação de valores e transientes de pressão que podem resultar de operações no controle de fluxo e estabelecer normas para sistemas e equipamentos na proteção contra falhas nos sistemas devido a falhas nas tubulações (Elbashir e Amoah, 2007).

Um transiente hidráulico pode ser calculado utilizando vários métodos. Esses métodos podem ser classificados como: Método Aritmético, Método Gráfico, Método das Características, Método Algébrico, Método de Análise de Onda-Plana, Método Implícito, Método Linear e Método de Perturbação.

A propagação de uma onda de cheia em um rio resultante de um brusco lançamento de água a partir da ruptura de uma barragem tem sido assunto de considerável interesse por várias décadas. Inundações devido a falha de barragens podem causar enormes danos em termos de propriedade e vidas humanas, assim como danos ambientais. A maioria dos modelos matemáticos de rompimento de barragens são derivados ou a partir da forma exata ou aproximada das equações de St. Venant para canais abertos. Uma solução exata analítica para essas equações não existe para a propagação de onda por rompimento quando a resistência do leito é expressa pelas equações de Manning ou Chezy. Portanto, soluções numéricas têm sido derivadas sob condições variáveis, tal como leito seco do canal, canal molhado, falha instantânea, e outros (Singh, 1996).

Um dos modelos mais utilizados para fazer simulações de rupturas de barragem e análises das características hidráulicas de um rio é o Hydrologic Engineering Center's River Analysis System (HEC-RAS) que é um software grátis desenvolvido pelos US Army Corps of Engineers. Ele foi desenvolvido com o intuito de fazer cálculos unidimensionais para uma rede de canais naturais ou construídos. Para realizar as simulações nesses canais deve-se inserir dados no programa, como diâmetro do canal, diagrama de chuvas, coeficientes de rugosidade entre outras tantas variáveis. As modelagens dos dados hidráulicos podem ser simuladas utilizando fluxo permanente ou fluxo não permanente. Ao fim da modelagem dos dados, tabelas, imagens e mapas podem ser gerados no programa e importados para outros softwares assim como pode-se importar dados de outros softwares.

Ao longo dos anos vários trabalhos sobre rupturas de barragens têm sido feitos. Pode-se citar o trabalho de Xiong (2011) utiliza o software HEC-RAS para o estudo do seu trabalho na barragem Foster Joseph Sayers, localizado na Pennsylvania, EUA. Os resultados obtidos no estudo são que quando uma barragem rompe, é um processo complicado que envolve vários princípios. O estudo se realizou por galgamento, que aumenta a duração do risco. Comprova-se no estudo que a quebra de barragem tem um grande impacto nas áreas de jusante que ficam próximas à barragem.

De acordo com o estudo de Collischonn e Tucci (1997), na qual a Barragem de Ernestina é o local de estudo, os resultados mostram que se essa barragem romper haverá danos ambientais e sociais. Com o rompimento, pontes podem ser destruídas assim como inundação de 230 residências atingindo 800 pessoas.

A bacia do Rio Uruguai abrange uma área de aproximadamente 384.000 km², dos quais 176.000 km² situam-se em território nacional, compreendendo 46.000 km² do Estado de Santa Catarina e 130.000 km² no Estado do Rio Grande do Sul. Possui uma vazão média anual

de 3.600m³/s, volume médio anual de 114 km³ (Aneel). A bacia do Rio Uruguai estende-se entre os Paralelos de 27° e 32° latitude Sul e os meridianos de 49° 30' e 58° 15' longitude Oeste, a bacia do Uruguai, em sua porção nacional, encontra-se totalmente na região sul, e delimitada ao norte e nordeste pela Serra Geral, ao sul pela fronteira com a Republica Oriental do Uruguai, a leste pela Depressão Central Rio-grandense e a oeste pelo território argentino.

A barragem de Monjolinho está instalada no Rio Passo Fundo, bacia do Rio Passo Fundo, sendo esta uma subbacia da bacia do Rio Uruguai. Monjolinho possui uma altura de 74 metros e um reservatório com área de 5,46 km². Possui uma capacidade máxima de 74 MW e entrou em funcionamento no ano de 2009.

Este artigo tem como objetivo analisar a diferença entre as áreas inundadas pela simulação de rompimento de barragem, devido aos diferentes valores de rugosidade que compõem os trechos dos rios Passo Fundo e Uruguai, utilizando a barragem de Monjolinho, localizada no Município de Nonoai/RS, para as simulações de rompimento.

METODOLOGIA

Aquisição do modelo digital do terreno

O Modelo Digital do Terreno (MDT) foi adquirido gratuitamente através do Earth Explorer do United States Geologic Survey (USGS), com resolução de 90 metros cada célula. Com o auxílio do software geográfico ArcGIS, um pré-tratamento do MDT foi realizado antes de sua utilização. Este pré-tratamento consiste na remoção de erros e falsas depressões.

Levantamento das seções topobatimétricas

As seções topobatimétricas foram definidas com a utilização do MDT e com os dados já existentes de estudos anteriormente realizados. Estas seções foram delimitadas de forma a identificarem as principais singularidades do rio, ou seja, mudanças nas formas de seção, áreas de inundação, rugosidades, dentre outras.

Estimativa da rugosidade dos trechos dos rios de jusante

Para estimar os valores de rugosidade dos trechos dos Rios Uruguai e Passo Fundo, como referência, serão utilizados valores tabelados de rugosidade contidos na literatura e comparados com imagens de satélites. Esses valores de rugosidade dependem do tipo do uso do solo que está presente nas margens dos rios, da composição do fundo do canal assim como a sua geometria.

Inserção dos dados no modelo hidráulico

Para a modelagem dos dados definidos nos itens anteriores como, rugosidade, geometrias das seções topobatimétricas, dados da barragem, das seções topobatimétricas e o do MDT, foi utilizado o modelo computacional HEC-RAS disponível gratuitamente através do US Army Corps of Engineers. Esse modelo nos permitirá fazer a inserção dos dados de precipitação, simulações de onda de cheia, e analisar as áreas inundadas.

Simulação da ruptura da barragem

O critério escolhido para o rompimento da barragem será por galgamento (quando a água do rio passa por cima do corpo da barragem). Dentro do modelo hidráulico haverá uma propagação de onda de cheia pelos trechos de rio de jusante. Nesta etapa para os dois conjuntos de seções topobatimétricas (levantadas em campo e definidas geomorfologicamente conforme

a literatura utilizada) uma simulação de rompimento das barragens será efetuado. Isto acarretará na obtenção de diferentes níveis de água para cada conjunto de seções.

Para a realização do rompimento da barragem de Monjolinho, utilizou-se hidrogramas de vazão, equivalentes a uma cheia com tempo de retorno de dez mil anos. O hidrograma utilizado para o Rio Passo fundo tem valores extremos de vazão de aproximadamente $18.700 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e o utilizado no Rio Uruguai tem um pico de $2.700 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, aproximadamente. Para o rompimento da barragem, se definiu que o valor final da brecha seria de 90,5 m.

A vazão utilizada para os Rios Passo Fundo e Uruguai, foi definida através da média dos valores encontrados em hidrogramas de séries históricas, disponíveis na Agência Nacional de Águas (ANA).

Determinação do mapa das áreas inundadas

Após realizada a simulação do rompimento da barragem, os dados obtidos no Hec-RAS são exportados para o formato GIS e os mapas de inundações são gerados com o auxílio do Software ArcGIS. No ArcGIS, modelos raster como o MDT, e também os dados gerados pelo software ArcGIS serão utilizados para a confecção dos mapas de inundação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Simulação Barragem de Monjolinho

A Figura 1 demonstra a oscilação da altura de água, após o rompimento da barragem, por conta da onda de cheia, devido aos diferentes valores de rugosidade adotados. Observa-se que há uma grande diferença de aproximadamente 14 metros entre os valores de maior e menor coeficientes de rugosidade. Próximo à barragem, a diferença das alturas, entre os diferentes coeficientes, é pouco visível, mas ao longo que a água vai percorrendo o trecho do Rio Passo Fundo, essa diferença se torna mais significativa. A elevação para os valores de rugosidades mínima e média se comportam de maneira semelhante, chegando à cota de 257,1 m próximos à junção com o Rio Uruguai, havendo uma diferença de 15,1 metros com a elevação da vazão média do rio. Para a simulação onde há um intervalo no valor de rugosidade (0,04 até 0,15), obteve-se a elevação semelhante aos valores de rugosidade máximo e mínimo até aproximadamente 6,7 km da barragem, e após essa distância se obteve uma elevação de 262,7 m próximos à junção do Rio Passo Fundo com o Rio Uruguai, tendo uma altura máxima de 20,6 metros de água. Para o valor onde a rugosidade é a máxima, obteve-se o maior valor de altura da água após a onda de cheia, esse valor é de 271,2 m, chegando a uma altura máxima de aproximadamente 39,1 metros.

Percebe-se que houve uma diferença de 14 metros entre os valores de rugosidade máximo e mínimo. Essa diferença é muito expressiva, pois, se a forma do terreno não for muito acentuada, a área atingida pode ser muito grande para essa diferença de elevação.

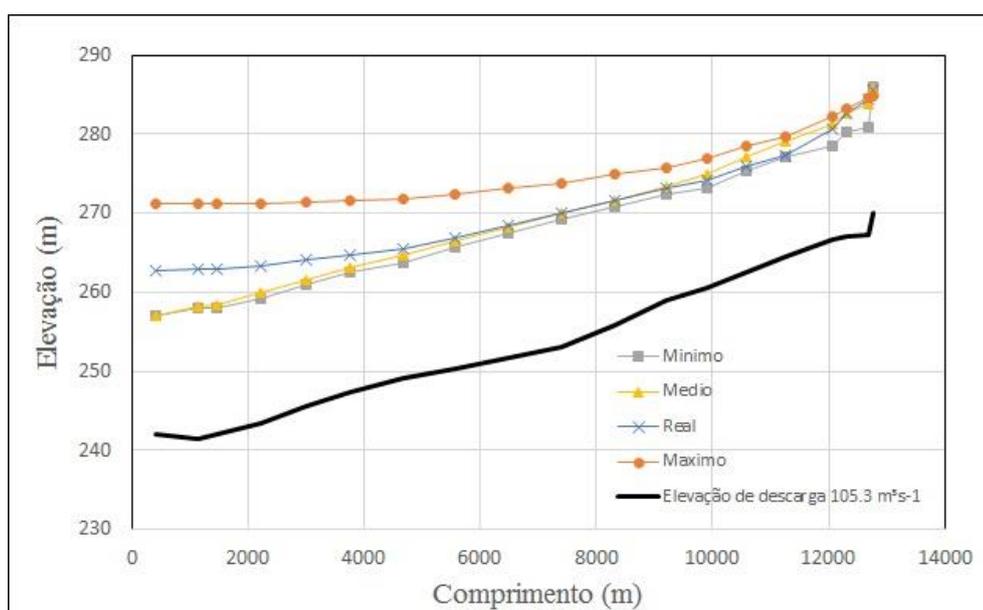


Figura 1: Trecho do Rio Passo Fundo: Variação das elevações do nível de água, devido aos diferentes coeficientes de rugosidade, após o rompimento da barragem.

Nota-se que na Figura 2, as elevações da altura da superfície da água foram expressivas. Observa-se que os valores onde ela varia ao longo do trecho dos rios, e ela é mínima, os valores de elevação são similares, eles variam entre si de 0,5 metros até aproximadamente 1,7 metros de diferença na altura da superfície da água entre si e 22,1 metros em relação com a cota para a vazão média do Rio Uruguai. O coeficiente de rugosidade médio obteve uma variação da superfície da água de 241,3 m até 262,4 m obtendo uma diferença máxima de 28,6 m em relação com a cota da vazão média do Rio Uruguai. Para o valor de maior rugosidade, a superfície do trecho 1 do Rio Uruguai teve valores entre 259,4 m a 276,8 m, havendo uma diferença em alguns pontos de aproximadamente 47,5 metros

Observa-se que os valores de elevação da água após as simulações foram elevados quando comparados com a elevação da descarga média do Rio Uruguai. Os valores variaram de 22,1 metros até 47,5 metros. Esses valores são muitos elevados, pois uma altura de 47,5 metros no perfil de água, vai fazer com que a área de inundação seja muito expressiva.

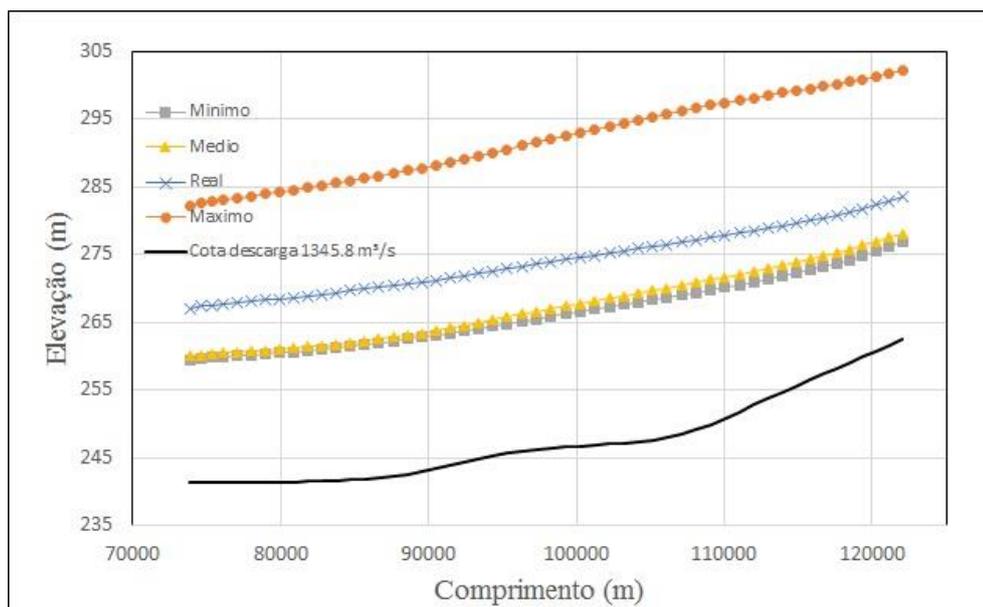


Figura 2: Trecho 1 do Rio Uruguai: Variação das elevações do nível de água, devido aos diferentes coeficientes de rugosidade, após o rompimento da barragem.

Na Figura 3, observa-se a diferença das cotas após as simulações de rompimento da barragem. Para o coeficiente máximo de rugosidade, se encontrou valores que oscilaram entre 234,5 m até 259,4, com uma diferença de 24,9 m entre eles e uma diferença máxima de 42,7 m entre a descarga média do Rio Uruguai. Pode-se perceber que para o coeficiente onde os valores de manning variam ao longo do trecho do rio, as cotas da superfície da água, apresentam elevação entre 227,1 m e 241 m, apresentando uma diferença máxima de 27,6 m quando comparado com a cota da descarga. Para os valores de rugosidade médio e mínimo, houve uma

diferença máxima de altura de 7,6 m. A diferença entre a cota de descarga e a rugosidade média foi de 20,9 m enquanto que a de rugosidade mínima foi de 19,5 m.

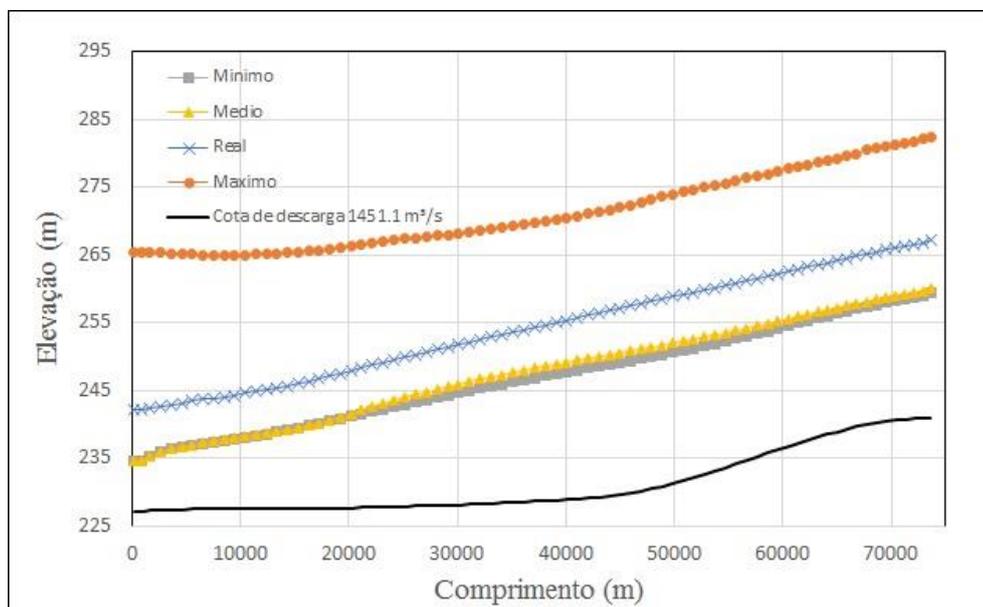


Figura 3: Trecho 2 do Rio Uruguai: Variação das elevações do nível de água, devido aos diferentes coeficientes de rugosidade, após o rompimento da barragem.

Mapa de áreas Inundadas da Barragem Monjolinho

Os mapas de inundação foram gerados a partir dos dados retirados do modelo hidráulico HEC-RAS. Para a confecção dos mapas, utilizou os dados referentes aos coeficientes de rugosidade máximo (0,15), médio (0,08), mínimo (0,04) e com a rugosidade variando ao longo dos trechos dos rios (0,04 a 0,15).

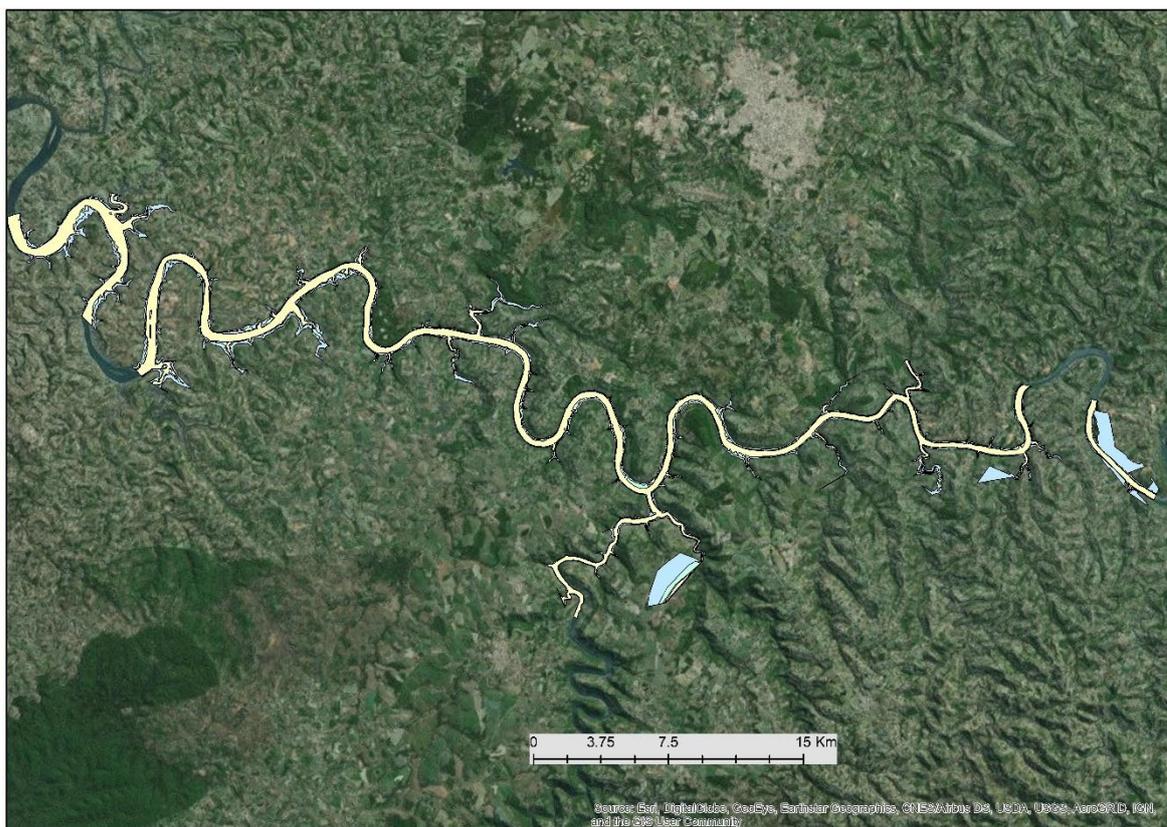


Figura 4: Área inundada após as simulações de rompimento de barragem.

A Figura 4 mostra as áreas inundadas de todas as simulações realizadas com os diferentes coeficientes de rugosidade adotados. Ao total as áreas inundadas compreendem uma extensão de aproximadamente 135.40 Km. O trecho do Rio Passo fundo, que compreende a barragem até o entroncamento com o Rio Uruguai é de 13.21 Km. O Primeiro segmento do Rio Uruguai tem uma distância de 48.41 Km, e o segundo segmento é de 73.78 Km.

As figuras Figura 5 Figura 6 Figura 7 demonstram as áreas inundadas para cada trecho dos rios analisados.

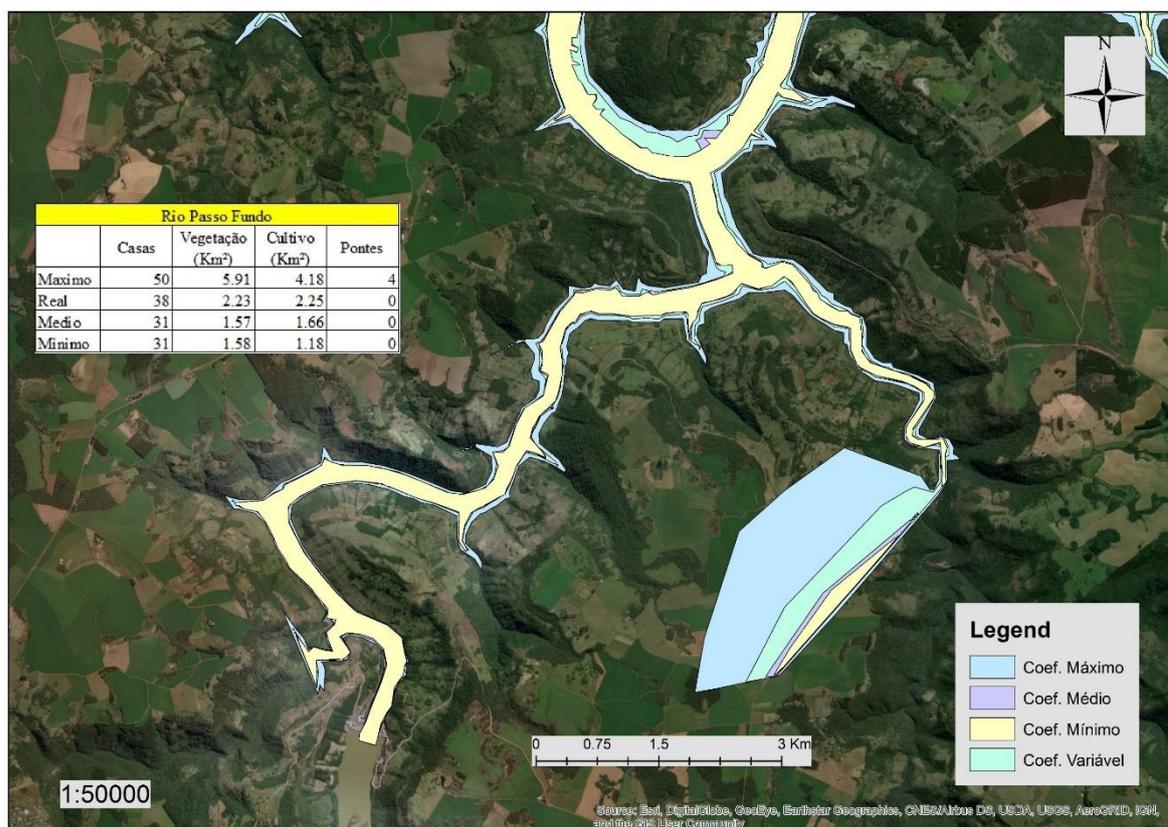


Figura 5: Área inundada após as simulações de rompimento de barragem, Rio Passo Fundo.

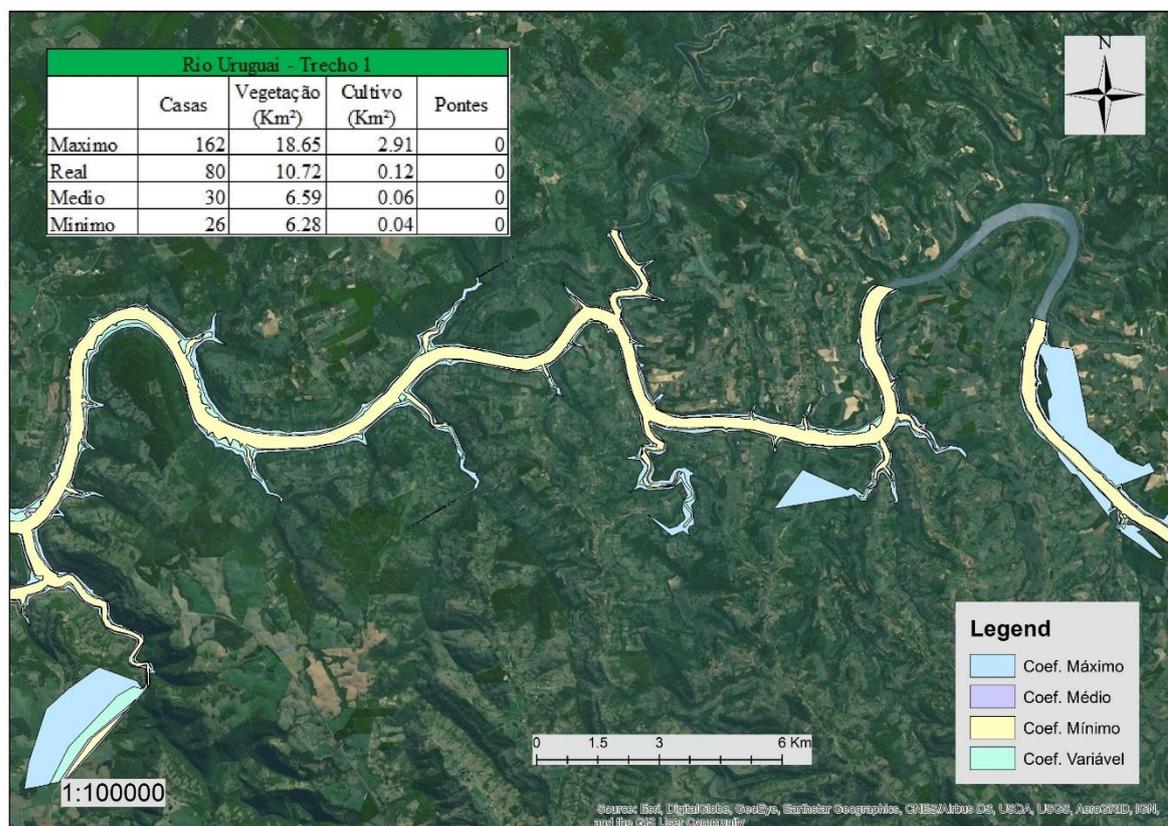


Figura 6: Área inundada após as simulações de rompimento de barragem, Rio Uruguai – Trecho 1.

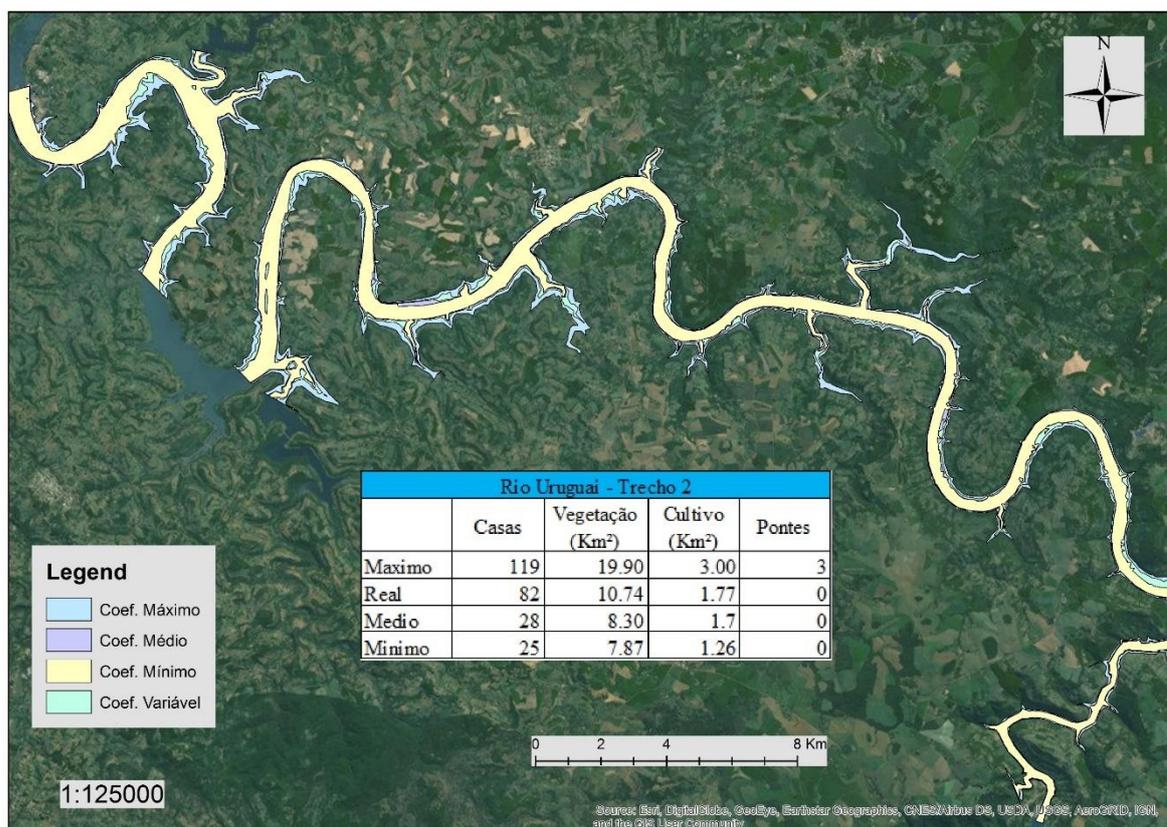


Figura 7: Área inundada após as simulações de rompimento de barragem, Rio Uruguai – Trecho 2.

Os extremos dos rios são definidos com base nas seções topobatimétricas já existentes e o modelo hidráulico HEC-RAS não extrapola os extremos em suas simulações, portanto os mapas de inundações gerados são definidos devido às seções que estão em seus extremos.

Tabela 1: Áreas inundadas devido à variação dos coeficientes de rugosidade.

Coeficiente (Manning)	Área inundada (Km²)
0,15	95,00
0,08	51,79
0,04	49,83
0,04 – 0,15	63,90

Percebe-se (Figura 8 e Figura 9) que para o maior valor de manning, a área inundada é maior, tudo isso se dá por conta de as velocidades de descarga serem menores e com isso a água demora mais tempo para percorrer uma grande distância. Para o valor onde a rugosidade é a mínima, as velocidades de descarga são maiores, fazendo que ocorra menos acúmulo de água resultando em uma menor área inundada.

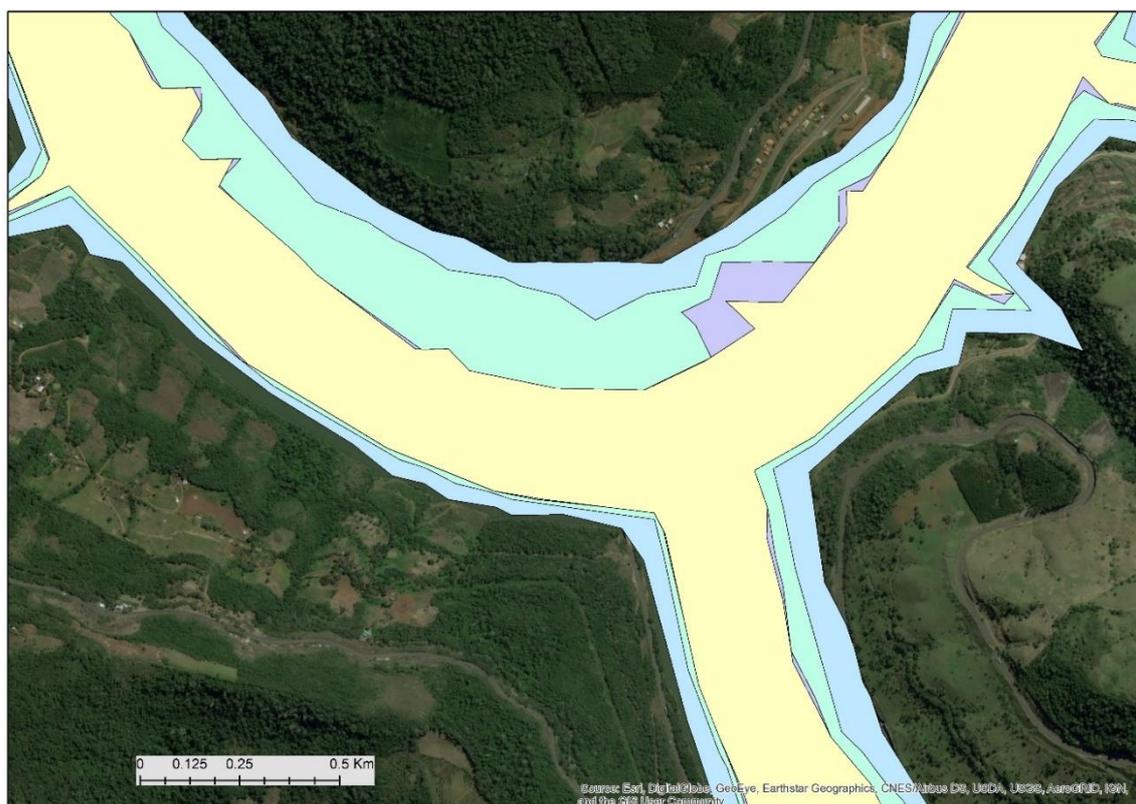


Figura 8: Diferença das áreas inundadas devido aos coeficientes máximo (azul), médio (verde), mínimo (amarelo), e variável (roxo), no entroncamento do Rio Passo Fundo com o Rio Uruguai.

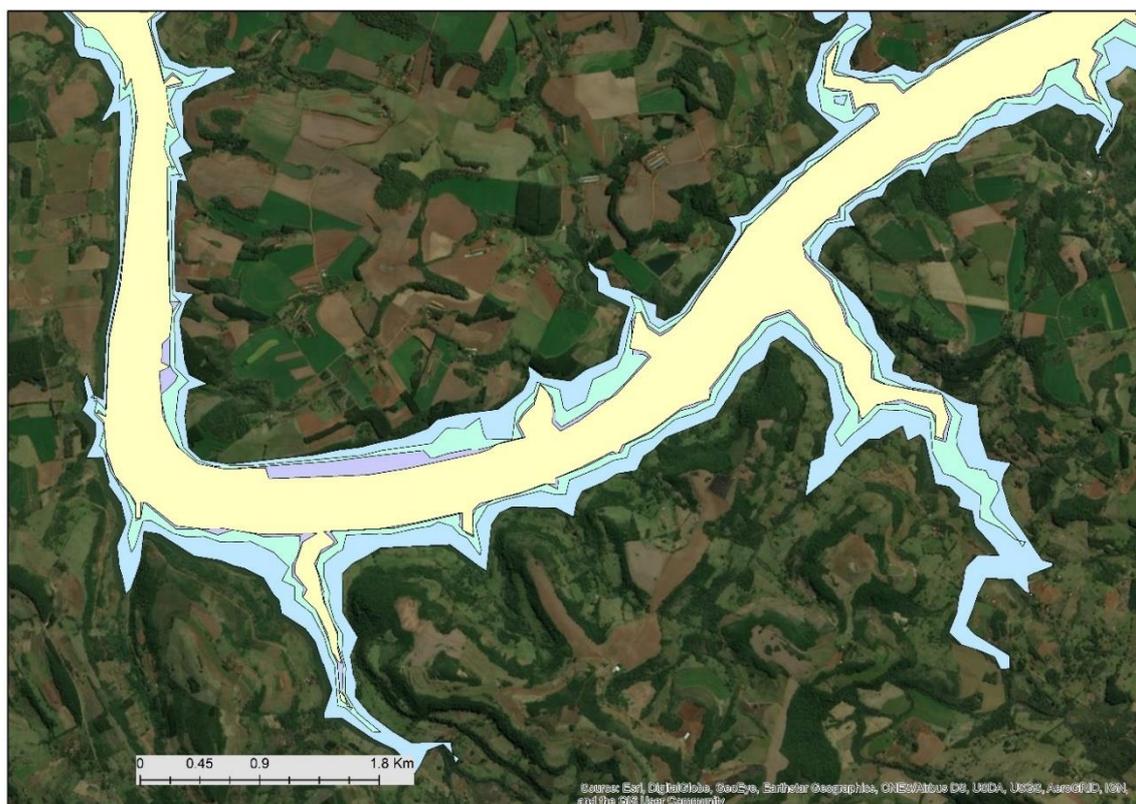


Figura 9: Variações das áreas inundadas devido aos coeficientes máximo (azul), médio (verde), mínimo (amarelo), e variável (roxo), próximo aos municípios de Caxambu do Sul/SC e Rio dos Índios/RS.

Na simulação do rompimento da Barragem Monjolinho, as áreas inundadas variaram entre 49,83 km² e 95,00 Km², essas áreas acabam por inundar rodovias, estradas de acesso às propriedades, destroem residências, áreas de lavouras onde ocorrem plantios anuais indústrias, vegetação, destruição de habitat de animais silvestres, entre outros.

A Figura 10 demonstra alguns dos impactos causados pela onda de cheia. Observa-se que quando ocorrer a inundação o nível da água se elevar  e por consequência irá atingir algumas residências, estradas e pontes situados próximos alguns trechos dos rios.

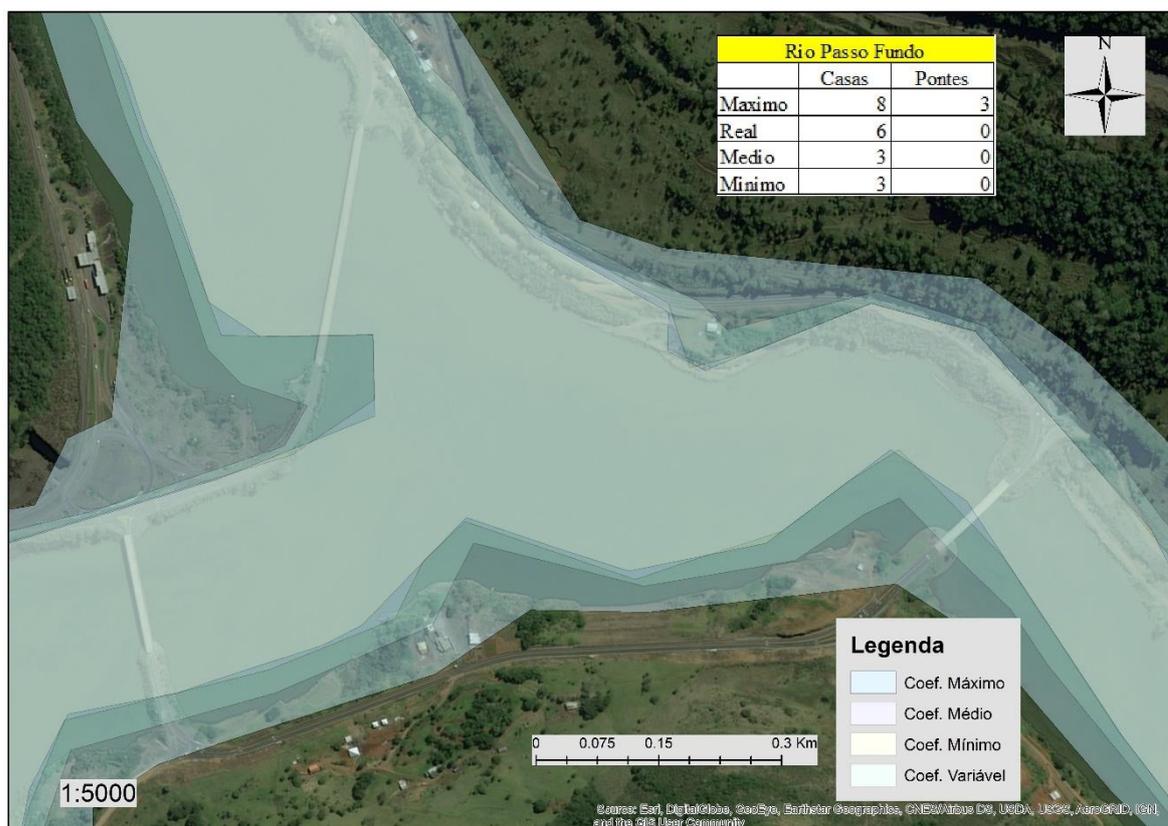


Figura 10: Impactos causados pela inunda o das áreas após a simula o do rompimento de Barragem,  rea do Rio Passo Fundo localizada próxima ao entroncamento com o Rio Uruguai.

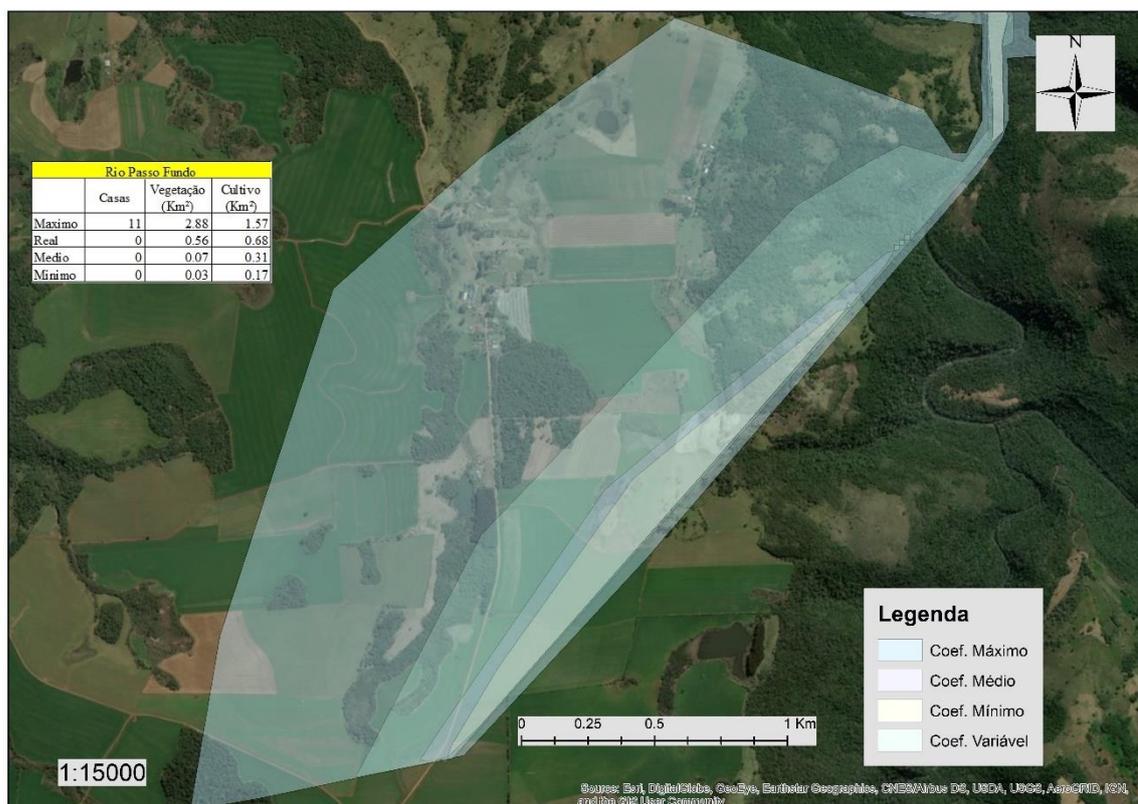


Figura 11: Impactos causados pela inundação das áreas após a simulação do rompimento de Barragem, área do Rio Passo Fundo localizada próxima ao entroncamento com o Rio Uruguai.

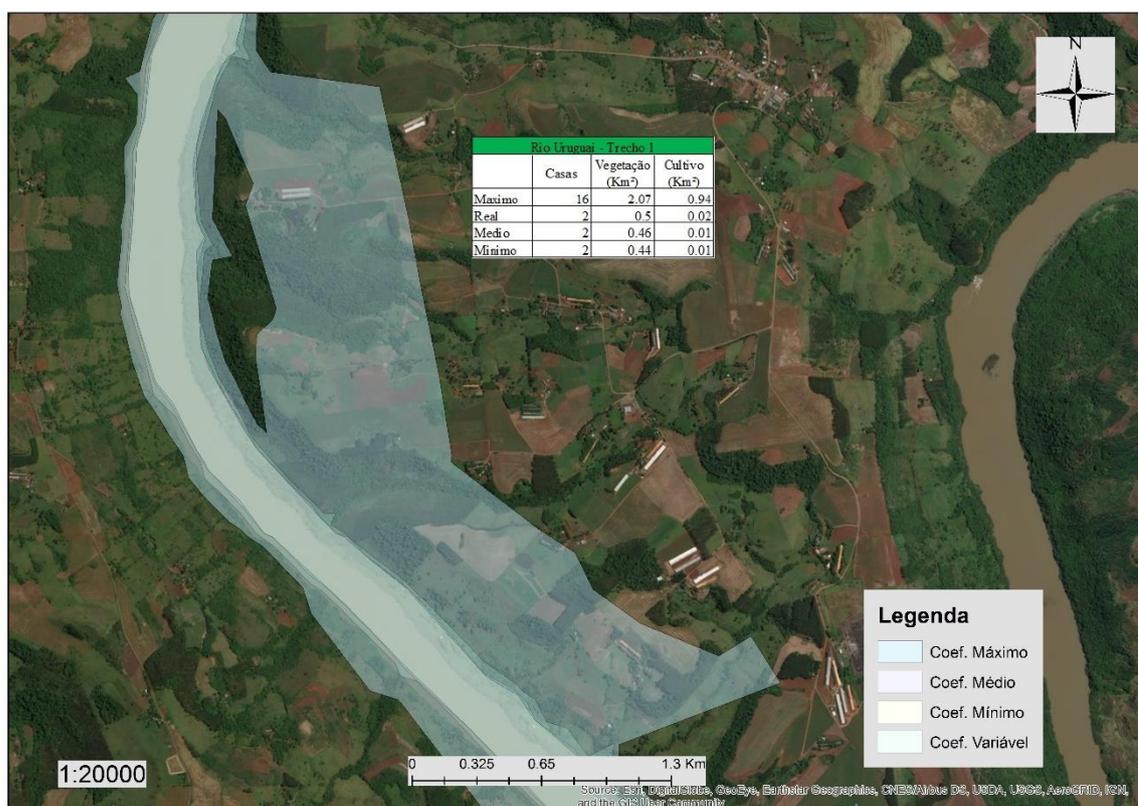


Figura 12: Impactos causados pela inundação das áreas após a simulação do rompimento de Barragem, área do Rio Uruguai Trecho 1 localizada próxima à Usina Hidrelétrica de Itá.

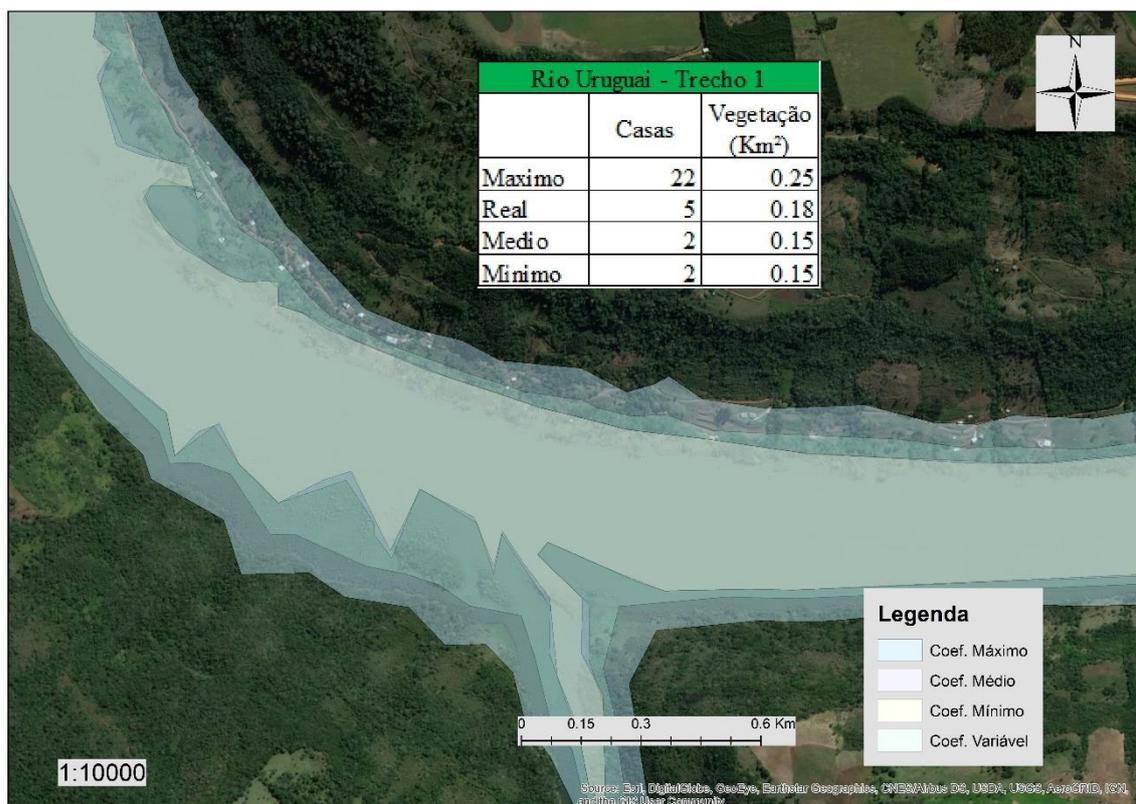


Figura 13: Impactos causados pela inundação das áreas após a simulação do rompimento de Barragem, área do Rio Uruguai Trecho 1 localizada próxima ao entroncamento com o Rio Passo Fundo.

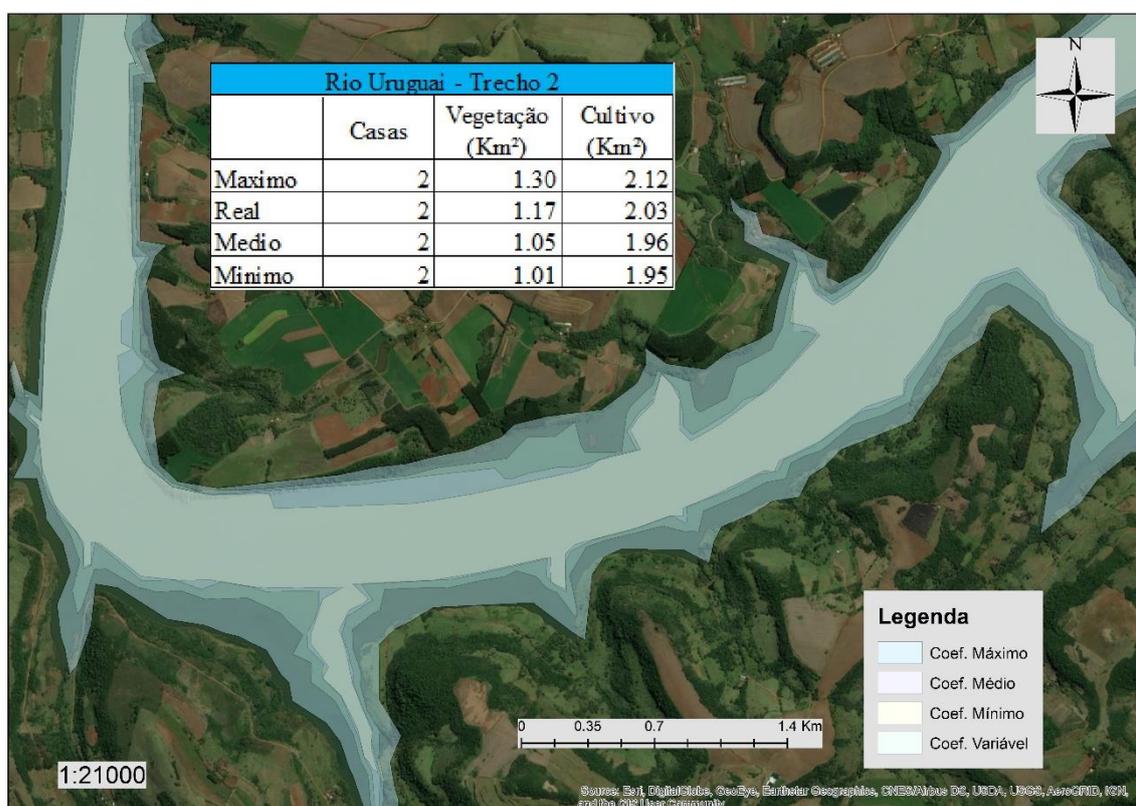


Figura 14: Impactos causados pela inundação das áreas após a simulação do rompimento de Barragem, área do Rio Uruguai Trecho 2 localizada à 32 Km do entroncamento com o Rio Passo Fundo.

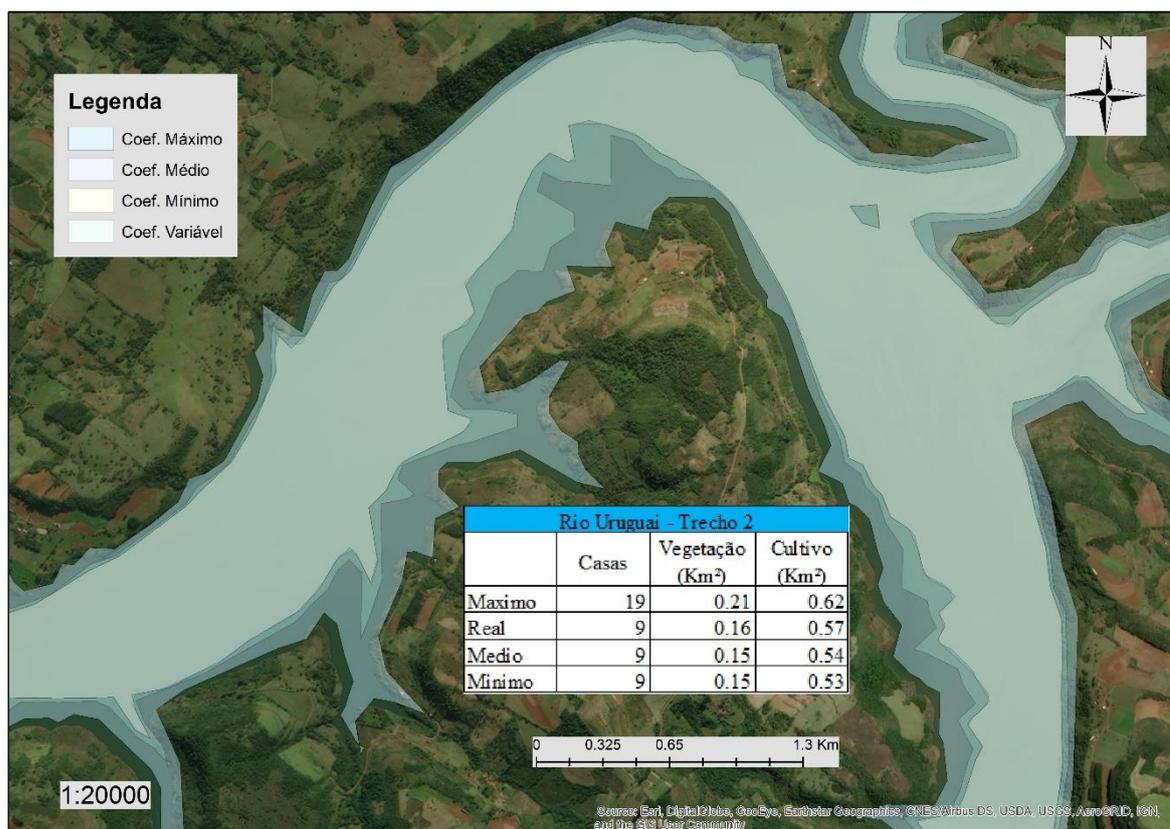


Figura 15: Impactos causados pela inundação das áreas após a simulação do rompimento de Barragem, área do Rio Uruguai Trecho 2 localizada à aproximadamente 57 Km do entroncamento com o Rio Passo Fundo.

Para os coeficientes onde os valores de rugosidade adotados, foram o mínimo e o médio, os impactos causados após a simulação foram semelhantes.

Tabela 2: Impactos socioambientais após as simulações da quebra da barragem.

Tipo	Coeficientes de Rugosidade			
	0,15	0,08	0,04	0,04-0,15
Edificações	331	89	82	200
Estradas (Km)	39,62	11,79	9,43	16,28
Área de Lavouras (Km²)	10,09	3,42	2,48	4,14
Área de Vegetação (Km²)	44,46	16,46	15,73	23,69
Pontes	7	0	0	4

Após análise para o coeficiente mínimo, se constatou que ao longo da área inundada houve um total de 82 estruturas atingidas, totalizando aproximadamente 0,01 km² de área, 2,48

Km² de culturas temporárias e permanentes, 9,43 Km de extensão de estradas e uma área de 15,73 Km² referentes a áreas de vegetação natural sendo de pequeno, médio e grande porte.

Para o coeficiente médio, obteve-se 89 estruturas atingidas, as áreas de culturas temporárias e permanentes foram de 0,30 km², 11,78 Km de estradas e 16,46 Km² de vegetação.

A análise, para os coeficientes que variam ao longo do trecho dos rios, revelou que houve aproximadamente 200 estruturas atingidas pelo nível da água, 4 pontes localizadas no Rio Passo Fundo ficaram submersas e um total de 16,28 Km de estradas foram atingidas. As áreas de culturas temporárias e permanentes foram de aproximadamente 4,14 Km² e um total de 23,69 Km² de vegetação natural foram alagadas.

O coeficiente máximo, por ter a maior área inundada, obteve os mais relevantes impactos ambientais. Ao total, observou que 331 estruturas acabaram por ser atingidas pelo nível da água. As estradas totalizaram 39,62 Km de extenso e 7 pontes ficaram submersas. As áreas de culturas temporárias e anuais obtiveram um total de 10,09 Km² impactados e locais de vegetação natural totalizaram 44,46 Km² de área.

Quando uma barragem rompe, ocorre um grande lançamento repentino da água armazenada no reservatório da barragem. A vazão média do Rio Passo Fundo é de 105,14 m³s⁻¹, após a simulação do rompimento, obteve-se que o coeficiente máximo foi o mais impactante dentre todos os simulados. Para esse coeficiente teve-se que a vazão máxima de descarga é de 2.371,28 m³s⁻¹, isso é aproximadamente 22,6 vezes maior que a vazão média para este trecho de rio e 6,78 vezes maior para a maior vazão já observada que é de 349,97 m³s⁻¹. Com a vazão muito elevada, se tem um grande deslocamento de volume de água. Esse volume elevado, somado com a velocidade elevada do fluxo de água, acaba por exercer uma força muito grande, ocorrendo o desprendimento e o carreamento da vegetação nos pontos onde a onda de cheia se desloca.

Observa-se na Tabela 2, que as maiores áreas atingida compreendem áreas de vegetação natural de médio e grande porte, a maior parcela dessa vegetação se encontra nas margens dos rios, pois segundo a Lei 12.651/2012, se exige o mínimo de 30 metros de mata ciliar em cada margem dos rios. Essa mata ciliar serve para minimizar os impactos devidos às erosões e manter constante o fluxo do rio. Como a onda de cheia arrasta a vegetação do entorno do rio, acaba que essa área vai ficar exposta quando a vazão do rio voltar ao seu normal. As áreas afetadas pela onda de cheia ficam sem vegetação e com isso ocorre o processo de erosão.

CONCLUSÕES

O presente estudo teve por objetivo avaliar e quantificar as áreas inundadas na simulação de rompimento da Barragem de Monjolinho, assim como velocidade, fluxo e elevação dos níveis de água após a simulação de rompimento.

Para a realização da sistemática proposta se utilizou o modelo hidráulico HEC-RAS, analisou-se toda a área de estudo e os valores de rugosidade definidos se utilizou para as simulações que tinha por fim o rompimento de barragem e o tratamento dos dados obtidos. Os valores de rugosidade adotados foram: máximo (0,15), mínimo (0,04), médio (0,08) e coeficiente variável (0,04 até 0,15).

Para os diferentes valores de rugosidade nas simulações, houve diferentes alturas da superfície da água nos trechos dos rios. Para os trechos onde a rugosidade é a maior, as elevações da superfície da água foram as maiores, chegando a uma diferença máxima de 30.8 m quando comparadas com o valor de menor rugosidade. Esses valores são significativos, pois, infere que maior for o coeficiente de rugosidade, maior será a altura da lâmina da água.

O valor máximo de rugosidade apresentou uma área de inundação de 95,00 Km², um valor muito expressivo se comparar aos 48,83 km² para o valor de menor rugosidade, sendo 90% maior quando a rugosidade é maior.

Os impactos ambientais chegaram a diferentes níveis entre as simulações que foram feitas. Para onde a área de inundação é maior, aproximadamente metade da área inundada é de vegetação de pequeno, médio e grande porte, pois a topografia dos Rios Passo Fundo e Uruguai apresentam vales bem definidos com valores de declividades elevados.

Para o valor onde a rugosidade é maior, a superfície da água é maior, pois, a água tem maior dificuldade de fluir por conta do atrito com a vegetação.

As áreas mais afetadas são referentes à vegetação nativa devido à exigência do Código Florestal Brasileiro. Para os coeficientes de maior rugosidade, 44,46 km² de vegetação seriam atingidas caso ocorresse o rompimento. O impacto nessas áreas é grande por conta do nível elevado de água e da força com que a água escoar. Onde se observou que o coeficiente de manning era variável, obteve-se uma área de 23,69 km² de vegetação atingida.

As áreas de lavouras afetadas, correspondem a aproximadamente 10% da área total impactada. Os impactos observados nessas áreas não foram tanto expressivos como nas áreas de vegetação assim como as áreas de rodovias.

As estruturas afetadas, tiveram um grande impacto onde o valor de manning era o máximo. Ao total 331 estruturas seriam afetadas caso a barragem se rompesse. Essas estruturas são, sua maioria, residências e galpões próximos as residências.

O coeficiente de rugosidade leva em conta o tipo do terreno e a composição desse terreno. Para locais que tenham uma vegetação mais densa e de maior altura, esses valores de rugosidade serão maiores. Tendo valores elevados de rugosidade infere em um valor maior de elevação da água e uma maior área inundada após o rompimento de uma barragem ou até mesmo um valor elevado de precipitação.

REFERÊNCIAS

- A.C.E., **U. S. HEC-RAS River Analysis System User's Manual**, Version 4.1, 2010.
- CHOW, V. T. **Open-Channel Hydraulics**. New Jersey: The Blackburn Press, 1951, 680 p.
- COLLISCHONN, W., TUCCI, C.E.M. **Análise do rompimento hipotético da barragem de Ernestina**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 2, n.2 p. 191-206, jul. /dez. 1997.
- DAM SAFETY OFFICE. **Predicting embankment dam breach parameters – A literature review and needs assessment**. Water Resources Research Laboratory, San Francisco, August 1997.
- EBASHIR, M. A. M., AMOAH, S. O. K., **Hydraulic transient in a Pipeline-Using computer model to calculate and simulate transient**, Division of Water Resources Engineering, Department of Building and Environmental Technology, Lund University, Master Thesis, TVVR 07/5002, Jan. 2007.
- LANGENDOEN, E. J. **Discretization diffusion wave model. Center for computational hydroscience and engineering**. School of Engineering, The University of Mississippi, Technical Report, n. CCHE-RT-96-1, 1996.
- LEOPOLD, L. B., MADDOCK, T. **The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications**, U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 252, 1953.
- LYRA, G. B., et al. **Coefficiente de rugosidade de Manning para o rio Paracatu**. Rev. bras. eng. agríc. ambient. [online]. 2010, vol.14, n.4, pp. 343-350. ISSN 1807-1929.
- NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. **River flow forecasting through conceptual models part I - A discussion of principles**. Journal of Hydrology, v. 10, p. 282–290, 1970.
- ORLANDINI, S., ROSSO, R. **Parameterization of stream channel geometry in the distributed modeling of catchment dynamics**. Water Resource Research, v. 34, n. 8, p. 1971 – 1985, 1998.
- PACHECO, C. A. K. **Levantamento Hidrográfico: Topobatimetria do canal entre as ilhas do lino e do laje**. 2010. 101 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- PAPPENBERGER, F. et al. **Uncertainty in the calibration of effective roughness parameters in HEC-RAS using inundation and downstream level observations**. Journal of Hydrology, v. 302, n. 1-4, p. 46–69, fev. 2005.
- PARHI, P. K.; SANKHUA, R. N.; ROY, G. P. **Calibration of Channel Roughness for Mahanadi River, (India) Using HEC-RAS Model**. Journal of Water Resource and Protection, 2012.
- SCHNITZER, N. **A History of Dams: The Useful Pyramids**. Rotterdam. A.A. Balkema. 1994.
- SINGH, v. P. **Kinematic wave modeling in water resources – Surface-Water Hydrology**. John Wiley & Sons, Inc. New York. 1399 p. 1996.
- SMITH, N. **A History of Dams**. London: Peter Davies, 1997.
- U.S. Army Corps of Engineers, **Engineering and Design–Hydrologic Engineering Requirements for Reservoirs**, EM 1110-2-1420, 31 Oct. 1997.

XIONG, Y. **A dam break analysis using HEC-RAS**. Journal of Water Resource and Protection, v. 3, p. 370-379, 2011.

Roberto Valmir da Silva
Orientador