



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI**  
**CAMPUS ALTO PARAPEBA**  
**ENGENHARIA CIVIL**

**THAYS VIEIRA ABRANTES**

***DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTES DE RUGOSIDADE***  
***EQUIVALENTES DO RIO DOCE***

**OURO BRANCO**

**MARÇO-2017**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI**  
**CAMPUS ALTO PARAPEBA**  
**ENGENHARIA CIVIL**

**THAYS VIEIRA ABRANTES**

***DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTES DE RUGOSIDADE***  
***EQUIVALENTES DO RIO DOCE***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Engenharia Civil – Ênfase em  
Estruturas Metálicas, da Universidade Federal de São João  
Del Rei, Campus Alto Paraopeba, como requisito parcial  
para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

**Orientador:** Emmanuel K. C. Teixeira

**OURO BRANCO**

**MARÇO-2017**

**THAYS VIEIRA ABRANTES**

***DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTES DE RUGOSIDADE  
EQUIVALENTES DO RIO DOCE***

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à Coordenadoria do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

COMISSÃO EXAMINADORA:

---

Prof. Emmanuel K. C. Teixeira  
Orientador/UFSJ

---

Prof.  
Avaliador/UFSJ

---

Prof.  
Avaliador/UFSJ

## RESUMO

O cálculo do coeficiente de rugosidade de um rio vem sendo estudado por engenheiros há um longo tempo e o uso de um coeficiente incorreto pode acarretar grandes impactos negativos em projetos de obras hidráulicas. Este estudo apresenta o cálculo do coeficiente de rugosidade equivalente do rio Doce. Ao longo do rio, estudou-se nove estações fluviométricas, disponíveis no HidroWeb, site da Agência Nacional de Águas, as quais seis se encontram no estado de Minas Gerais e três no estado de Espírito Santo. Das séries históricas foram analisados todos os anos e perfis disponíveis para o dia de medição, para o período de seca e para o período de chuva. A declividade de cada trecho do rio Doce foi baseada no Diagnóstico Consolidado da Bacia do Rio Doce, que divide suas áreas em alto, médio e baixo Doce. Após a coleta de todos os dados, foi possível o cálculo do coeficiente de rugosidade equivalente de cada seção referente a cada estação utilizando o *software* Canal. A maioria das seções apresentaram coeficientes de rugosidade satisfatórios que variaram de 0,035 a 0,055. Porém encontraram-se casos especiais, também satisfatórios, como o de Governador Valadares, com variação de 0,032 a 0,083, e de Colatina e Linhares, com variação de 0,026 a 0,046.

*Palavras-Chave: coeficiente de rugosidade de Manning, rio Doce.*

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....  | 10 |
| 2. OBJETIVOS.....   | 11 |
| 2.1 Objetivo Geral.....   | 11 |
| 2.2 Objetivos específicos .....   | 11 |
| 3. REFERENCIAL TEÓRICO.....   | 12 |
| 3.1 Introdução .....  | 12 |
| 3.1.1 Patrimônio natural .....  | 12 |
| 3.1.2 Aspectos climáticos .....   | 12 |
| 3.1.3 Pedologia .....   | 14 |
| 3.1.4 Geomorfologia.....  | 15 |
| 3.1.5 Biomas .....  | 16 |
| 3.1.6 Rompimento da Barragem de Mariana.....                                | 17 |
| 3.2 Coeficiente de rugosidade.....  | 20 |
| 3.3 Trabalhos onde o coeficiente de rugosidade de rios foi determinado..... | 25 |
| 4. METODOLOGIA.....   | 33 |
| 4.1 Coleta de dados .....   | 33 |
| 4.2 Traçado dos perfis transversais.....                                    | 35 |
| 4.3 Declividades das estações fluviométricas .....                          | 36 |
| 4.4 Software Canal.....   | 38 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....   | 44 |
| 5.1 Fazenda Cachoeira D’Antas .....   | 44 |
| 5.2 Cachoeira dos Óculos .....  | 47 |
| 5.3 Belo Oriente .....  | 50 |
| 5.4 Governador Valadares .....  | 53 |

|      |   |    |
|------|---|----|
| 5.5  | Tumiritinga .....   | 56 |
| 5.6  | Resplendor .....  | 58 |
| 5.7  | UHE Mascarenhas .....   | 59 |
| 5.8  | Colatina.....   | 60 |
| 5.9  | Linhares .....  | 64 |
| 5.10 | Coeficientes de rugosidade equivalentes do rio Doce.....                              | 65 |
| 5.11 | Coeficientes de rugosidade equivalentes após o rompimento da Barragem da Samarco..... | 66 |
| 6.   | CONCLUSÃO.....  | 68 |
| 7.   | REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....   | 69 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - (a) Precipitação total no período chuvoso (b) Precipitação total no período seco (1961 a 1990). Ênfase nas cidades de Ipatinga, Governador Valadares e Colatina. (Fonte: IGAM, 2008)..... | 13 |
| Figura 2 - Evolução do nível ao longo do rio Doce entre os dias 7 e 30 de novembro de 2015. Fonte: Encarte rio Doce (22/03/2016).....  | 17 |
| Figura 3 - Captações superficiais para abastecimento de água na bacia do rio Doce. Fonte: Encarte rio Doce (22/03/2016). ....  | 19 |
| Figura 4 - Seção simples de rugosidade variável. ....  | 24 |
| Figura 5 - Delimitação de áreas em uma seção composta. ....  | 25 |
| Figura 6 - Curvas relacionando o valor de n com a extensão do rio Sapucaí.....   | 29 |
| Figura 7- Comparação entre os coeficientes de rugosidade de Manning (n) observados e estimados pela rede neural.....   | 32 |
| Figura 8 - Fluxograma referente a metodologia. ....  | 33 |
| Figura 9 - Gráfico de dispersão formado através dos dados disponíveis no arquivo “Perfil Transversal” da estação de Colatina (ID05-03/10/1999). ....   | 35 |
| Figura 10 - Dados obtidos no HydroWeb referentes à estação de Tumiritinga. ....  | 37 |
| Figura 11 - Localização das estações fluviométricas ao longo do rio Doce. Fonte: Google Earth Pro.....   | 38 |
| Figura 12 - Incógnitas de entrada do software Canal. ....  | 39 |
| Figura 13 - Perfil transversal lançado no software Canal (valores positivos). ....   | 41 |
| Figura 14- Perfil transversal lançado no software Canal (valores positivos e negativos). ....  | 43 |
| Figura 15 - Seção Transversal nº 3 do rio Doce em Governador Valadares. Fonte: Relatório Técnico Final sobre a Definição da Planície de Inundação da Cidade de Governador Valadares. ....            | 56 |
| Figura 16 - Perfil transversal da estação de Governador Valadares para a data de 17 de junho de 2012. ....   | 56 |
| Figura 17 - Rio Doce trecho de Colatina - ES.....  | 64 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Valores para cálculo do coeficiente de rugosidade pelo Método de Cowan.....  | 22 |
| Tabela 2 - Coeficientes de rugosidade para canais naturais. ....  | 23 |
| Tabela 3 - Coeficientes de rugosidade para canais artificiais.....  | 23 |
| Tabela 4 - Valores de n para a calha principal. ....  | 27 |
| Tabela 5 - Valores de n para calha secundária. ....   | 28 |
| Tabela 6 - Parâmetros calculados a partir dos dados experimentais - Regime permanente uniforme. ....  | 30 |
| Tabela 7 - Parâmetros calculados a partir dos dados experimentais - Regime permanente e variado. ....   | 30 |
| Tabela 8 - Coeficiente de Manning para canais de vidro acrílico. ....   | 30 |
| Tabela 9 - Número de perfis transversais por estação. ....  | 35 |
| Tabela 10 - Estação com cotas apenas positivas. O número em negrito corresponde ao maior valor de cota positivo.....  | 40 |
| Tabela 11 - Estação com cotas positivas e negativas. O número em negrito representa o maior valor negativo. ....  | 41 |
| Tabela 12 - Coeficientes de rugosidade referentes à estação Fazenda Cachoeira D'Antas, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga” e os demais valores do arquivo “Vazões”.....     | 44 |
| Tabela 13 - Coeficientes de rugosidade referentes à estação Cachoeira dos Óculos Montante, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga” e os demais valores do arquivo “Vazões”..... | 48 |
| Tabela 14 - Coeficientes de rugosidade referentes à estação Belo Oriente, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga” e os demais valores do arquivo “Vazões”. ....                 | 50 |
| Tabela 15 - Coeficientes de rugosidade referentes à estação Governador Valadares, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga” e os demais valores do arquivo “Vazões”.....          | 53 |
| Tabela 16 - Características das seções transversais utilizadas no modelo hidráulico. Fonte: Relatório Técnico Final sobre a Definição da Planície de Inundação da Cidade de Governador Valadares. ....        | 55 |



|   |    |
|---|----|
| Tabela 17 - Coeficientes de rugosidade referentes à estação Tumiritinga, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga” e os demais valores do arquivo “Vazões”. | 57 |
| Tabela 18 - Coeficientes de rugosidade referentes à estação Resplendor, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga” e os demais valores do arquivo “Vazões”.  | 58 |
| Tabela 19 - Coeficientes de rugosidade referentes à estação UHE Mascarenhas, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga”.                                     | 60 |
| Tabela 20 - Coeficientes de rugosidade referentes à estação Colatina, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga” e os demais valores do arquivo “Vazões”.    | 60 |
| Tabela 21 - Valores do coeficiente de rugosidade de Manning pelo HEC-RAS (Coutinho, M. 2015).   | 63 |
| Tabela 22 - Coeficientes de rugosidade referentes à estação Linhares, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga” e os demais valores do arquivo “Vazões”.    | 65 |
| Tabela 23 - Coeficientes de rugosidade média ao longo do rio Doce.  | 65 |
| Tabela 24 - Coeficientes de rugosidade média ao longo do rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão - Mariana/MG.   | 67 |

# 1. INTRODUÇÃO

De acordo com o Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (PIRH-Doce, 2010), a bacia do rio Doce abrange um total de 230 municípios, possui uma área de drenagem de aproximadamente 86.715 km<sup>2</sup>, sendo que 86% da bacia encontram-se em Minas Gerais e 14% no estado de Espírito Santo. Situada entre os paralelos 17°45' e 21°15'S e os meridianos 39°30' e 43°45'W, a bacia integra a região hidrográfica do Atlântico Sudeste.

Na bacia do rio Doce, existem dois rios de dominialidade federal: o rio Doce e o rio de José Pedro (afluente do rio Manhuaçu). Se tratando do rio Doce, suas nascentes encontram-se nas serras da Mantiqueira e do Espinhaço, no Estado de Minas Gerais. Sua formação se dá através do encontro do rio Piranga, que nasce no município de Ressaquinha, com o Ribeirão do Carmo. Ele possui 850 km de extensão, desaguando então no oceano Atlântico.

Em canais abertos, a determinação do coeficiente de rugosidade equivalente é um dos principais parâmetros para a descrição da vazão sobre uma superfície. As principais dificuldades no cálculo desse coeficiente é a variação de materiais que se pode encontrar no fundo do canal e também o nível que a lâmina d'água pode atingir durante as vazões máxima e mínima do canal.

É possível encontrar o valor do coeficiente de rugosidade por uma determinação direta, através do cálculo com características da seção, ou por estimativa, que se baseia na granulometria presente no rio ou no método de Chow (1959).

A determinação do coeficiente de rugosidade através da fórmula de Manning é importante para o cálculo de parâmetros hidráulicos de escoamento e elementos geométricos de um canal livre. Além disso, pode ser utilizado para monitoramento de vazões e para o desenvolvimento de projetos que evitem transbordamentos da calha principal.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo desse trabalho é determinar os valores dos coeficientes de rugosidade equivalentes ao longo do rio Doce, mais especificamente, determinar a rugosidade em 9 seções ao longo do rio, nas quais estão instaladas estações fluviométricas.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Levantar as informações disponíveis em estações fluviométricas existentes ao longo do rio Doce sobre perfis transversais de seções do rio; vazões máxima, mínima e diária anual; e profundidade do nível d'água;
- Determinar o coeficiente de rugosidade equivalente para cada seção do rio Doce onde há informações hidráulicas disponíveis em estações fluviométricas, sendo que, para cada estação, será determinada a rugosidade do dia de medição, a referente à menor e a maior vazão anual;
- Avaliar como a lama proveniente do rompimento da barragem de rejeito da Samarco afetou a rugosidade do rio Doce.

### **3. REFERENCIAL TÉORICO**

#### **3.1 Introdução**

##### **3.1.1 *Patrimônio natural***

O patrimônio natural ao longo do rio Doce é extenso, composto por árvores centenárias com madeiras nobres de grande porte. Dados do Instituto Estadual de Florestas (IEF) mostra que o rio possui também um notável sistema lacustre, com destaque para a Lagoa Dom Helvécio, com área de 6,7 km<sup>2</sup> e profundidade de até 32,5 m, que se encontra, especificamente, no Parque Estadual do Rio Doce. Por possuírem grande diversidade de peixes, acabam servindo como um importante meio de pesquisa da fauna aquática nativa, possuindo espécies como bagre, cará, lambari, cumbaca, manjuba, piabinha, traíra, tucunaré, dentre outras.

Além disso, segundo o PIRH-Doce (2010), às margens do rio Doce é possível encontrar espécies da avifauna, como por exemplo beija-flor besourinho, chauá, jacu-açu, saíra, anumará, e também diversos animais que são frequentes na fauna brasileira como capivara, anta, macacos-prego, sauá, paca, cotia, onça pintada, macuco e o mono-carvoeiro.

##### **3.1.2 *Aspectos climáticos***

Segundo o PIRH-Doce (2010), a variação climática está diretamente relacionada com a configuração topográfica do local. Tratando-se do rio Doce, ele encontra-se em meio a serras, acentuando assim as características das massas de ar envolvidas na dinâmica de sua circulação atmosférica.

Levando-se em conta a classificação de Köppen-Geiger é possível identificar três tipos climáticos ao longo do Doce: em sua nascente, clima tropical de altitude com chuvas de verão e verões frescos; nas nascentes de seus afluentes, clima tropical de altitude com chuvas de verão e verões quentes; e nos trechos de baixo e médio Doce o clima quente com chuvas de verão.

Já o período chuvoso da região do rio Doce se estende de outubro a março, com chuvas mais intensas no mês de dezembro, sendo que a precipitação total varia de 800 a 1.300 mm. Enquanto o período de seca se estende de abril a setembro, apresentando maior estiagem de junho a agosto, variando sua precipitação de 150 a 250 mm.

As Figuras 1 (a) e (b) ilustram os períodos chuvoso e de seca, tendo como pontos de referência no mapa as cidades de Ipatinga, Governador Valadares e Colatina, cidades referência por onde o rio Doce percorre.

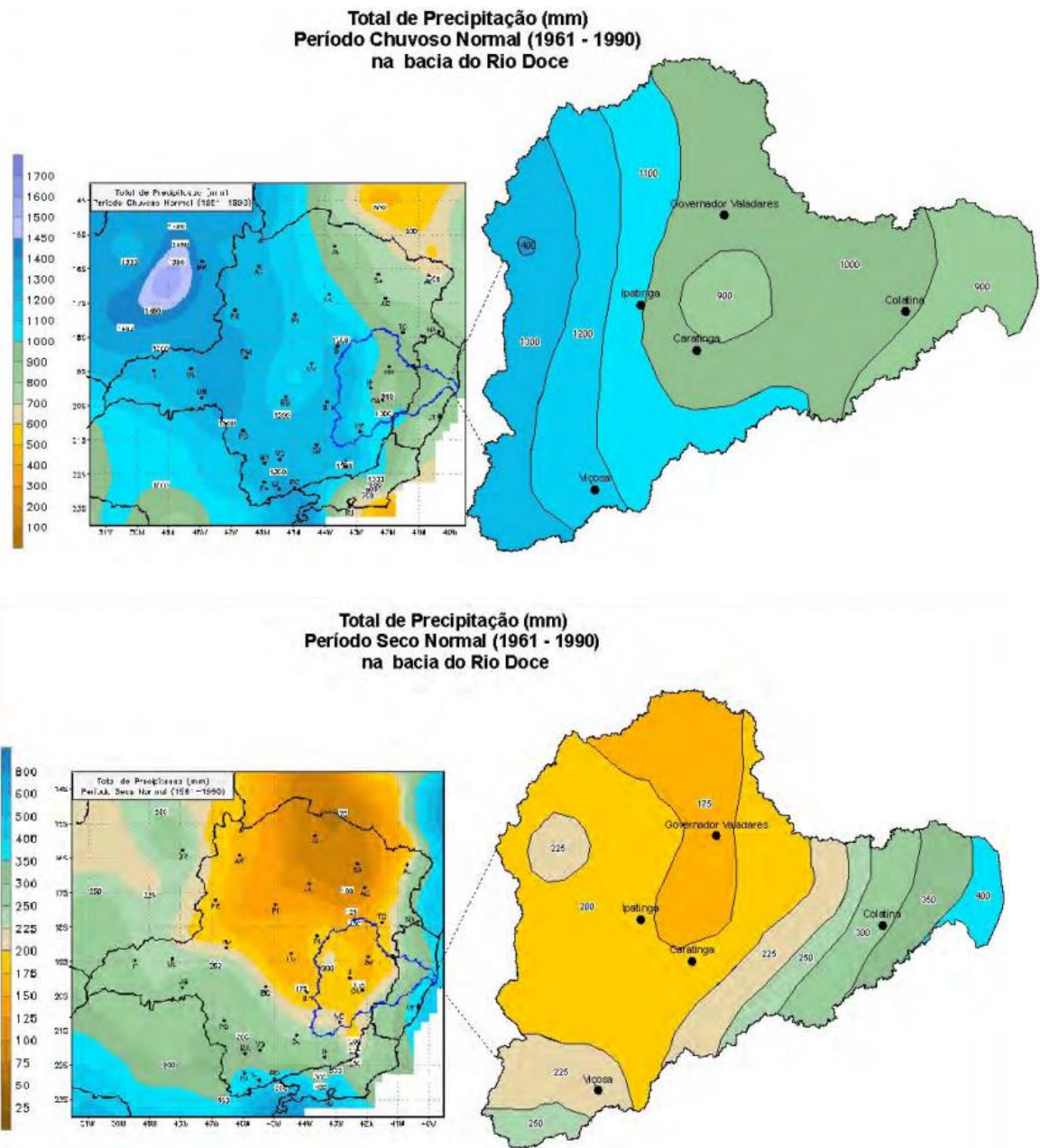


Figura 1 - (a) Precipitação total no período chuvoso (b) Precipitação total no período seco (1961 a 1990). Ênfase nas cidades de Ipatinga, Governador Valadares e Colatina. (Fonte: IGAM, 2008).

Segundo o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), através do estudo das estações climatológicas existentes no percurso do rio Doce, foi possível obter temperaturas médias mensais para as cidades referências. Em Governador Valadares, observou-se uma variação de mínima de 22,5°C e máxima de 27°C, e em Linhares, uma variação de mínima de 21,5°C e máxima de 26,5°C, ambas medições referentes ao período base de 1961 a 1990.

### **3.1.3 Pedologia**

Os tipos predominantes de solos encontrados ao longo do curso do rio Doce, segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA), são: latossolos vermelho-amarelos, argissolos vermelhos, latossolos amarelos, argissolos amarelos e gleissolos háplicos.

Os Latossolos Vermelhos Amarelos, segundo a Agência Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC), ocorrem em lugares bem drenados, profundos e com características de cor e textura bem uniformes e encontram-se associados aos relevos, plano, suave ondulado ou ondulado.

Maior parte da área ocupada por Argissolo Vermelho situa-se em relevo forte ondulado e/ou montanhoso, e esse possui grande susceptibilidade à erosão. De acordo com a AGEITEC, esses solos possuem cores avermelhadas devido a teores mais altos e à natureza dos óxidos de ferro presentes no material originário.

O Latossolo Amarelo segundo a Embrapa (2013), trata-se de um solo em geral profundo e bem estruturado, de relevo plano, textura média/argilosa. É formado por sedimentos arenoargiloso com a frações de quartzo e caulinita, tendo baixos teores de óxidos de ferro.

O Argissolo Amarelo ocorre próximo ao litoral do estado do Espírito Santo, são solos profundos que apresentam alto nível de coesão das partículas. O relevo onde encontram-se varia de plano e suave ondulado a ondulado, com ligeira a moderada suscetibilidade à erosão (MMA, 2008).

Os Gleissolos Háplicos, de acordo com a Embrapa, são solos minerais e hidromórficos, que podem ser acinzentados, esverdeados ou azulados. São mal drenados e em condições de encharcamento, resultam de modificações sofridas pelos óxidos de ferro existentes no solo.

### 3.1.4 Geomorfologia

Faz-se necessário ressaltar que o rio Doce percorre direções distintas, primeiramente seguindo de su-sudoeste para nor-nordeste, percorrendo de Governador Valadares até Aimorés a direção de noroeste para sudeste, onde se encontra o desenvolvimento espacial da depressão do rio Doce, que se trata de uma região rebaixada com altitude variando de 250 a 500 m, seguindo até a foz a direção oeste para leste.

O rio Doce passa a ser assim chamado após a confluência dos rios Piranga e Carmo e, portanto, deve-se considerar suas diferenças fisiográficas, pois enquanto o Piranga possui grandes extensões de corredeiras e fundo rochoso, o Alto Doce apresenta a maior parte do seu leito com substrato arenoso e menor velocidade de corrente. Tal divisão fisiográfica ocorre no local onde foi construída a barragem da Usina Hidrelétrica de Risoleta Neves (PIRH-Doce, 2010).

Em estudos do Quaternário no Médio Vale do rio Doce (1977), observa-se uma densa rede de lagos, que está ligada a um condicionamento tectônico, e encontra-se ao longo de toda a região do médio rio Doce – no baixo curso o rio Piracicaba e no alto curso do rio Norete. Ainda no médio curso do rio é possível observar padrões diferentes com segmentos de meandros, retilíneo e anastomosado e também a presença de ilhas.

A Serra do Espinhaço, segundo Allaoua Saadi (1995), possui seu maior volume topográfico em um planalto de aspecto maciço, cujo a altitude média é de 1.300 m na região do município de Diamantina e suas extremidades declinam para cotas médias de 900 m, ao norte, e 1.200 m, ao sul. Da história sedimentar e metamórfica, resultaram quatro grandes unidades litoestratigráficas que, controlam a formação do relevo através do seu comportamento frente ao intemperismo e à erosão, tendo como unidade predominante a de quartzítica do Supergrupo Espinhaço.

Entre os picos e relevos uniformes, citados anteriormente, é comum encontrar áreas aplainadas que apresentam uma fina cobertura dedrítica.

O trecho do Baixo Doce, que se encontra entre a área jusante da UHE Mascarenhas até a foz do Oceano Atlântico, possui características bem diferentes dos trechos Alto e Médio, uma vez que apresenta declividade pouco acentuada, favorável aos processos de sedimentação

tornando o substrato praticamente todo constituído por areia e sedimento orgânico (PIRH-Doce, 2010).

### **3.1.5 *Biomias***

Segundo o IBGE (2002), a Mata Atlântica, suas formações e ecossistemas ocupam uma área de aproximadamente 1.110.182 km<sup>2</sup> no Brasil, o que equivale a 13% do território. E de acordo com estudos da CI/ SOS Mata Atlântica/ Biodiversitas/ IPE/ SEMAD – SP/IEF 2000, em torno de 90% da área da Bacia era coberta por florestas pertencentes à Mata Atlântica, sendo o restante coberto por outras particularidades vegetais associadas como campos, mangues e restingas.

O Rio Doce está localizado na Mata Atlântica que além ser um bioma considerado como o maior conjunto de biodiversidade do mundo, também é considerado um dos biomas mais importantes e ameaçados atualmente de acordo com o Instituto de Permacultura e Ecovilas da Mata Atlântica (2005).

A partir de determinações estabelecidas na Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), firmada durante a Conferência da Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, foram delimitadas áreas para a conservação da biodiversidade em Minas Gerais e no Espírito Santo a partir de um levantamento e cruzamento de informações sobre questões biológicas, formando assim cinco critérios como base de classificação. É importante ressaltar que o rio Doce, na altura das cidades de Governador Valadares, Tumiritinga e Resplendor, foi classificado como de categoria IV “Importância biológica alta” (CI/ SOS Mata Atlântica/ Biodiversitas / IPE/ SEMAD – SP/IEF 2000), que se trata de áreas com alta riqueza de espécies em geral, com presença de espécies raras ou ameaçadas e que representem remanescentes de vegetação significativos.



### 3.1.6 Rompimento da Barragem de Mariana

Conforme o registro do Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD), no Brasil existiram outros registros de acidentes com barragens envolvendo também pilhas de rejeitos de mineração, nenhum deles, porém, atingiu as proporções do desastre ocorrido em 2015 no município de Mariana.

Em uma breve descrição sobre o evento e de acordo com informações do Relatório Anual de Sustentabilidade da Samarco (2014), a Samarco é uma empresa de grande porte que possuía três reservatórios na mina de Mariana para estocagem de seus rejeitos: Santarém, Fundão e Germano. Em 5 de novembro de 2015, com o galgamento da barragem de Santarém e o rompimento da barragem de Fundão, houve a liberação de um volume estimado de 34 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos de mineração, água e materiais utilizados em sua construção segundo o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), causando impactos socioeconômicos e principalmente ambientais de grande repercussão.

A partir do rompimento da barragem, a onda de cheia percorreu aproximadamente 650 km até a sua chegada à foz do rio Doce em Linhares, localizado no litoral do estado do Espírito Santo. Ao longo do rio Doce a onda de rejeitos, água e detritos perdeu parte de sua força, ficando grande parte dos materiais carreados, retidos no reservatório da hidrelétrica de Candonga - UHE Baguari.

Os impactos causados ao longo do rio Doce podem ser analisados através da cronologia da passagem da onda de cheia apresentada na Figura 2 a seguir.

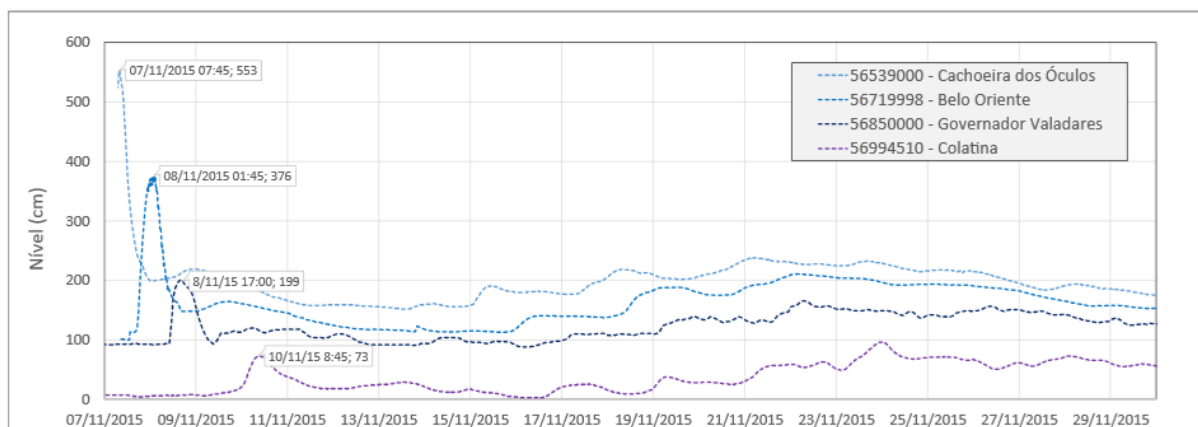


Figura 2 - Evolução do nível ao longo do rio Doce entre os dias 7 e 30 de novembro de 2015. Fonte: Encarte rio Doce (22/03/2016).

A partir da UHE Risoleta Neves – antiga Usina Candonga, próxima ao município de Rio Doce/MG, observou-se uma onda de cheia com menor concentração de sedimentos e maior velocidade, entretanto ainda com uma pluma de sedimentos de alta turbidez e menor velocidade. Em relação ao trecho entre UHE Candonga e a UHE Baguari, ele teve sua qualidade da água afetada com níveis elevados de turbidez, porém não ocorrendo deposição de rejeitos nas planícies de inundação.

Segundo o relatório da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), a onda de cheia alcançou a foz do rio Doce em 11 de novembro de 2015, e sua pluma de águas turvas chegou após 16 dias do rompimento da barragem, em 21 de novembro. E de acordo com dados do IBAMA e do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, a mancha de coloração alaranjada, com lama, rejeitos e detritos, atingiu uma área de cerca de sete mil quilômetros quadrados no Oceano Atlântico.

O documento Encarte do rio Doce (2016) lista os principais impactos sobre os corpos hídricos e os usos da água, como: a interrupção do abastecimento de água em função da degradação da qualidade da água nos rios afetados; prejuízos à agricultura, à indústria e à produção de energia nas hidrelétricas; comprometimento da pesca e turismo; destruição de áreas de preservação permanente nos trechos de cabeceira; assoreamento e alterações morfológicas dos corpos hídricos atingidos; mortalidade de peixes e perturbações do equilíbrio dos ecossistemas aquáticos.

Apresentados os impactos gerados pelo rompimento da barragem, começou-se o monitoramento da qualidade da água e por fim adotou-se medidas com foco na gestão de recursos hídricos.

A alteração da qualidade da água elevou os custos de captação e tratamento de água, exigindo o emprego de floculantes especiais e cloro, maior frequência de limpeza dos filtros e a ocorrência de paralisações imprevisíveis (Encarte do rio Doce, 2016). A Figura 3, apresentada a seguir, indica as captações superficiais para abastecimento e as cidades que dependem de captação de água do rio Doce. Além disso, indica também, o trecho de drenagem que foi afetado pelo rompimento da barragem.

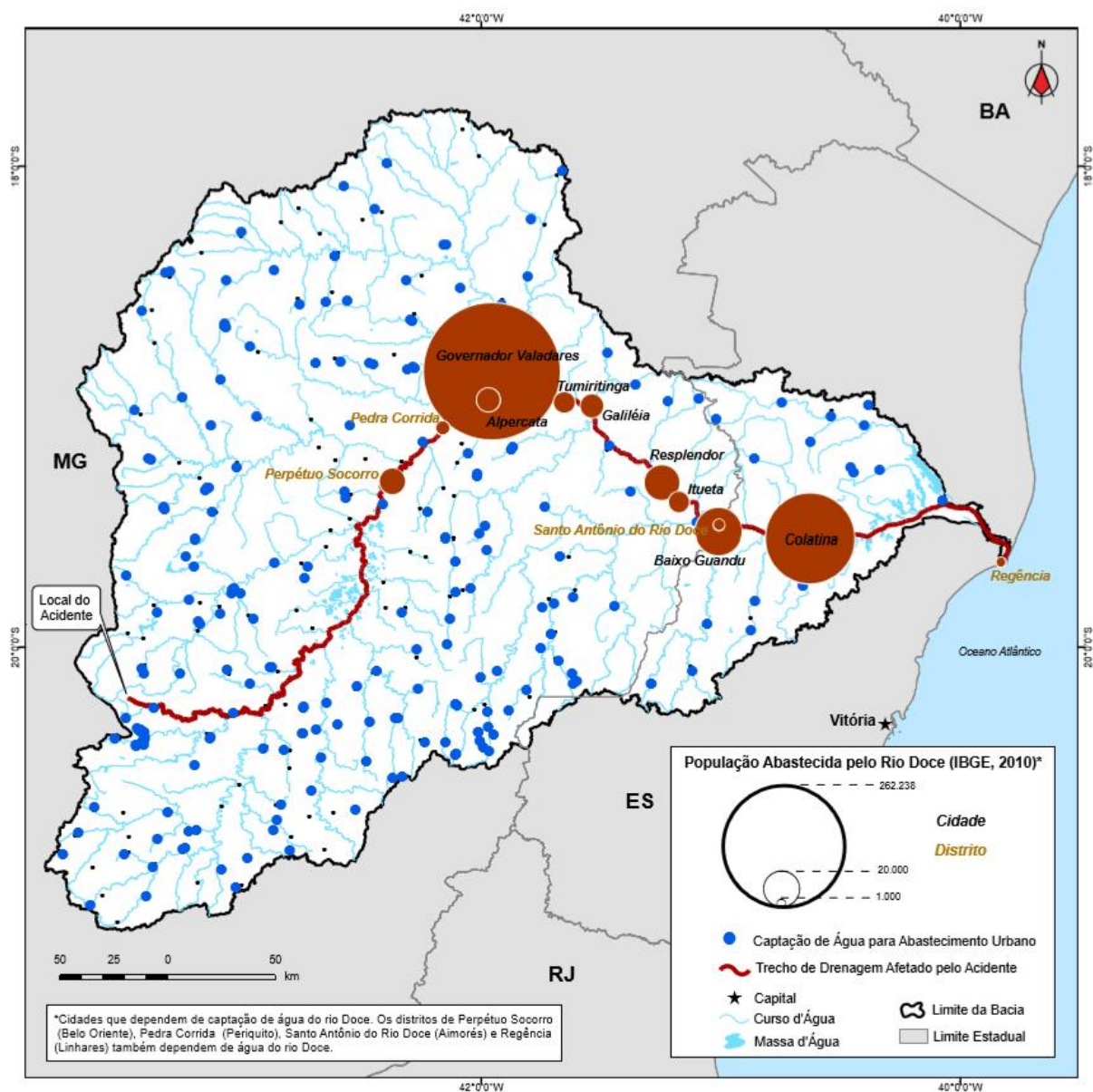


Figura 3 - Captações superficiais para abastecimento de água na bacia do rio Doce. Fonte: Encarte rio Doce (22/03/2016).

O desastre trouxe modificações importantes com consequências significativas. A qualidade da água do rio Doce está sujeita a variações decorrentes da liberação da massa de rejeitos acumulada em sua calha quando da ocorrência de chuvas e, consequente, aumento da vazão, podendo gerar novos picos de turbidez, aumento temporário da concentração de metais e queda do oxigênio dissolvido por períodos indeterminados.

A recuperação da qualidade da água é um processo longo, que está sendo acompanhada por monitoramento quali-quantitativo consistente e minuciosa investigação dos vários aspectos.

### 3.2 Coeficiente de rugosidade

De acordo com Chow (1959), determinar o coeficiente de rugosidade ( $n$ ) significa estimar a resistência de escoamento em um canal estipulado, processo subjetivo, com base em experiências e julgamentos individuais, podendo resultar na obtenção de valores distintos na análise de um mesmo canal.

O autor ainda observa que, ‘na realidade, o valor de  $n$  é altamente variável e depende de um número de fatores’. Alguns desses fatores, que exercem grande influência no coeficiente de rugosidade, tanto em canais artificiais quanto naturais, são: tamanho e formato dos grãos que formam o perímetro molhado; a altura, densidade, distribuição e tipo de vegetação; a irregularidade transversal e o alinhamento longitudinal do canal; ocorrência do processo de sedimentação; e a presença ou não de barreiras que tendem a obstruir o canal.

Segundo Porto (2006), a fórmula de Manning é a mais popular em projetos de canais e seu coeficiente  $n$  é comumente especificado de acordo com tabelas e não com base na rugosidade absoluta equivalente,  $\epsilon$ , originada da medida em campo. Porto (2009) também observa que os valores tabelados são valores médios indicativos e tem interferência crucial na aplicação da fórmula de Manning e, conseqüentemente, no dimensionamento de canais.

Na determinação do coeficiente de rugosidade  $n$  e sua metodologia, para um canal particular, deve-se levar em consideração o fato de que, mesmo em canais regulares, fatores além do revestimento influem na rugosidade, como por exemplo alguns citados acima: crescimento de vegetação, processos de erosão ou sedimentação e até mesmo a presença de curvas pela alteração dos perfis de velocidade (Porto, 2009).

Por meio da aplicação da equação de Bernoulli, é possível a determinação direta do coeficiente de rugosidade  $n$ , envolvendo trabalhos em campo que visam a medição das cotas de fundo, das características hidráulicas e das velocidades em duas seções distintas separadas por uma distância  $X$ . Com os dados do levantamento, determina-se a declividade da linha de energia ( $J$ ), pela equação (1).

$$J = \frac{\left(\frac{Z_1 + Y_1 + U_1^2}{2g}\right) - \left(\frac{Z_2 + Y_2 + U_2^2}{2g}\right)}{\Delta X} \quad (1)$$

Onde:

U: velocidade do fluido na seção considerada;

g: aceleração gravitacional;

Z: energia ou carga de posição;

Y: profundidade de escoamento;

X: distância entre as duas seções.

A partir do resultado da declividade da linha de energia e utilizando as características médias das duas seções, é possível calcular a rugosidade  $n$  pela fórmula de Manning (2).

$$n = \frac{\bar{R}_h^{2/3} * J^{1/2}}{\bar{U}} \quad (2)$$

Sendo:

$R_h$ : média raio hidráulico;

J: declividade da superfície;

U: média das velocidades.

Estudos nos quais não é possível o levantamento de dados em campo, é admissível determinar o coeficiente de rugosidade através de estimativas por meio das quatro diferentes metodologias apresentadas a seguir.

A primeira é utilizando a Equação (3) de Meyer-Peter e Muller (French, 1986), onde se estima o valor do coeficiente de rugosidade considerando-se a proporção de material graúdo no leito do canal, sendo  $d_{90}$  o diâmetro da peneira na qual ocorre a passagem de 90% do material.

$$n = 0,038d_{90}^{1/6} \quad (3)$$

Onde:

$d_{90}$ : diâmetro da peneira com 90% dos grãos passando.

O segundo procedimento que recebe o nome de Método de Cowan, também utilizado na estimativa do coeficiente de rugosidade, propõe a análise de diversos fatores físicos do canal que influenciam na resistência ao escoamento, fatores estes apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores para cálculo do coeficiente de rugosidade pelo Método de Cowan.

| Condições do canal                               |                         | Valores       |
|--|-------------------------|---------------|
| n <sub>0</sub><br>Material envolvido             | Solo                    | 0,020         |
|  | Rocha                   | 0,025         |
|  | Pedregulho fino         | 0,024         |
|  | Pedregulho graúdo       | 0,028         |
| n <sub>1</sub><br>Grau de irregularidade         | Liso                    | 0,000         |
|  | Pequeno                 | 0,005         |
|  | Moderado                | 0,010         |
|  | Severo                  | 0,020         |
| n <sub>2</sub><br>Variações da seção transversal | Gradual                 | 0,000         |
|  | Alternâncias ocasionais | 0,005         |
|  | Alternâncias frequentes | 0,010 – 0,015 |
| n <sub>3</sub><br>Efeito de obstruções           | Desprezível             | 0,000         |
|  | Pequeno                 | 0,010 – 0,015 |
|  | Apreciável              | 0,020 – 0,030 |
|  | Severo                  | 0,040 – 0,060 |
| n <sub>4</sub><br>Vegetação                      | Baixa                   | 0,005 – 0,010 |
|  | Média                   | 0,010 – 0,025 |
|  | Alta                    | 0,025 – 0,050 |
|  | Muito alta              | 0,050 – 0,100 |
| m <sub>5</sub><br>Grau de meandrização           | Pequeno                 | 1,000         |
|  | Apreciável              | 1,150         |
|  | Severo                  | 1,300         |

Fonte: Adaptado de Chow, 1959.

Realizadas as análises de cada fator, é possível estimar o coeficiente de rugosidade através da Equação (4) proposta por Chow (1959).

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m_5 \quad (4)$$

Um terceiro método trata da estimativa do coeficiente de rugosidade através de tabelas geradas a partir de ensaios em campo, associados a diversos materiais e situações. Segundo

Baptista e Lara (2010), apresentam-se, nas Tabelas 2 e 3, valores de coeficientes de rugosidade compilados de várias publicações sobre o assunto.

Tabela 2 - Coeficientes de rugosidade para canais naturais.

| Tipo  | Características    | Rugosidade |        |        |
|---|--------------------|------------|--------|--------|
|   |                    | Mínima     | Normal | Máxima |
| Canais de pequeno porte em planície (B < 30 m)  | Limpos             | 0,025      | 0,033  | 0,045  |
|   | Trechos lentos     | 0,050      | 0,070  | 0,080  |
| Canais de pequeno porte em montanhas (B < 30 m) | Leito desobstruído | 0,030      | 0,040  | 0,050  |
|   | Leito com matacões | 0,040      | 0,050  | 0,070  |
| Canais de grande porte (B > 30 m)               | Seções regulares   | 0,025      | -      | 0,060  |
|   | Seções irregulares | 0,035      | -      | 0,100  |
| Planícies de inundação                          | Pastagens          | 0,025      | 0,030  | 0,035  |
|   | Culturas           | 0,020      | 0,040  | 0,050  |
|   | Vegetação densa    | 0,045      | 0,070  | 0,160  |

Tabela 3 - Coeficientes de rugosidade para canais artificiais.

| Revestimento            | Rugosidade |       |        |
|-------------------------|------------|-------|--------|
|                         | Mínima     | Usual | Máxima |
| Concreto pré-moldado    | 0,011      | 0,013 | 0,015  |
| Concreto com acabamento | 0,013      | 0,015 | 0,018  |
| Concreto sem acabamento | 0,014      | 0,017 | 0,020  |
| Concreto projetado      | 0,018      | 0,020 | 0,022  |
| Gabiões                 | 0,022      | 0,030 | 0,035  |
| Espécies vegetais       | 0,025      | 0,035 | 0,070  |
| Aço                     | 0,010      | 0,012 | 0,014  |
| Ferro fundido           | 0,011      | 0,014 | 0,016  |
| Aço corrugado           | 0,019      | 0,022 | 0,028  |
| Solo sem revestimento   | 0,016      | 0,023 | 0,028  |
| Rocha sem revestimento  | 0,025      | 0,035 | 0,040  |

Por fim, o último método de estimativa, está relacionado à associação do curso d'água em estudo com um canal existente, no qual o coeficiente de rugosidade tenha sido determinado anteriormente. Como exemplo, a obra *Open Channel Hydraulics*, de Ven Te Chow (1959), apresenta uma coletânea de fotos de canais existentes com seus respectivos coeficientes de rugosidade, que possibilitam a utilização dessa metodologia.

Para canais e cursos d'água com seções transversais simples, pode-se encontrar diferentes coeficientes de rugosidade ao longo do perímetro da seção dependendo, apenas, da altura que se encontra o nível d'água. Entretanto, nessa metodologia, considera-se a mesma velocidade ao longo de todo o canal. A Figura 4 representa o exemplo de uma seção simples de rugosidade variável.

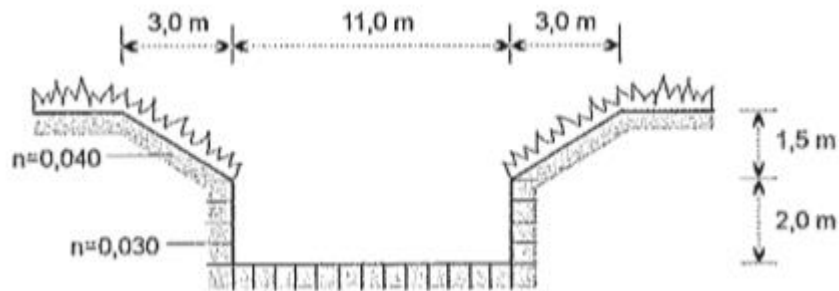


Figura 4 - Seção simples de rugosidade variável.

Através de uma sistemática de ponderação da rugosidade (Equação 5), conforme recomendações de Horton e Einstein (Chow, 1959), é possível considerar as diferenças do canal e encontrar uma rugosidade equivalente, válida para a seção como um todo.

$$n = \left[ \frac{\sum_{i=1}^m (P_i * n_i^{3/2})}{P} \right]^{2/3} \quad (5)$$

Sendo:

n: coeficiente de rugosidade global (equivalente);

P: perímetro molhado total;

P<sub>i</sub>: perímetro molhado associado à superfície “i”;

n<sub>i</sub>: coeficiente de rugosidade associado à superfície “i”.

Entretanto, existem canais nos quais a aplicação da ponderação pelo perímetro molhado não apresentaria valores de rugosidade satisfatórios, canais esses que apresentam seções compostas, ou seja, várias características distintas em suas subseções. A Figura 5 ilustra a delimitação das áreas associadas aos seus respectivos coeficientes de rugosidade.



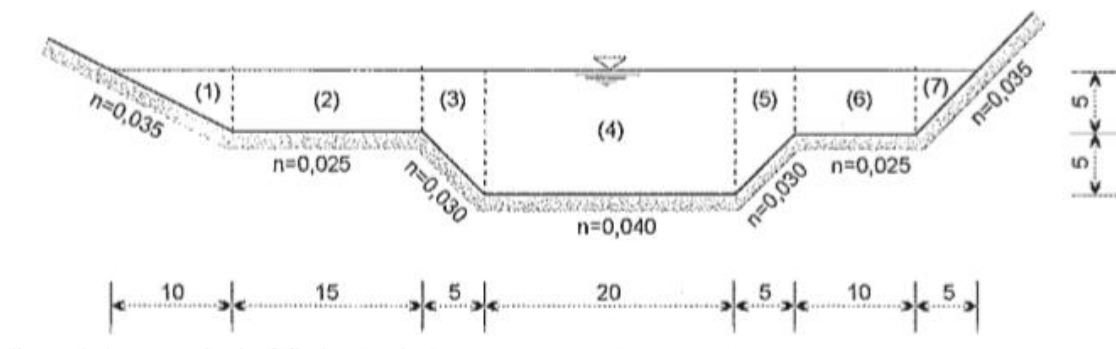


Figura 5 - Delimitação de áreas em uma seção composta.

Uma metodologia que pode ser aplicada a esse caso é o cálculo de um coeficiente equivalente à seção como um todo, que permite levar em consideração as diferenças existentes em toda a seção. A Equação 6, proposta por French (1986), permite esse cálculo de  $n$  proporcional às áreas.

$$n = \frac{\sum_{i=1}^m n_i A_i}{A} \quad (6)$$

Onde:

$n$ : coeficiente de rugosidade equivalente;

$A$ : área total;

$A_i$ : área associada à superfície “ $i$ ”;

$n_i$ : coeficiente de rugosidade associado à superfícies “ $i$ ”.

### 3.3 Trabalhos onde o coeficiente de rugosidade de rios foi determinado

Ao longo da pesquisa realizada para determinação da metodologia utilizada neste trabalho, estudou-se a aplicação de outros meios de cálculo do coeficiente de rugosidade equivalente para diferentes cursos d’água, alguns deles apresentados a seguir.

Matos et al. (2011) trata da caracterização do coeficiente de Manning variando na seção transversal e ao longo do canal para o rio Sapucaí – MG. Estudo esse que possui grande

importância não só para os cálculos hidrodinâmicos quando da propagação de eventos extremos de cheias quanto para as comunidades circunvizinhas na bacia Alto Sapucaí.

Através de caracterizações de rugosidade feitas em campo e também baseados em dados de rios de outros países, os autores construíram curvas que relacionam a profundidade da lâmina d'água e o coeficiente de rugosidade de Manning.

Para a determinação do coeficiente de Manning utilizaram o procedimento proposto por Cowan (1944), por meio de uma equação com coeficientes referentes às condições do canal fornecidos por Chow (1959). Tais coeficientes classificam o material envolvido, o grau de irregularidade, as variações na seção transversal, o efeito relativo das obstruções, a vegetação e por fim o grau de sinuosidade.

Para a determinação da curva que relaciona o coeficiente de Manning com a profundidade do canal utilizaram dados apresentados por Chow (1959) dos rios Mississippi – EUA, Tennessee – EUA e Irrawaddy (Birmanian) e alguns conceitos apresentados por Christofolletti (1981).

Por fim, através de equações de Christofolletti (1981), obtiveram a relação desejada, contabilizando um total de 36 trechos e priorizando-se a influência do rio na cidade de Itajubá – MG, pelo motivo da ocorrência de enchentes.

As Tabelas 4 e 5 ilustram os resultados obtidos para as calhas principal e secundária, valores que possibilitaram a construção das curvas (Figura 6), que relacionam a variação do valor de  $n$  com a extensão ao longo do rio Sapucaí.

Tabela 4 - Valores de n para a calha principal.

| <b>Condições do Canal</b> | <b>n0</b> | <b>n1</b> | <b>n2</b> | <b>n3</b> | <b>n4</b> | <b>m5</b> | <b>Valor n (COWAN)</b> | <b>Distância acumulada (m)</b> |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------------|--------------------------------|
| <b>Trechos</b>            |           |           |           |           |           |           |                        |                                |
| Partida                   | 0,025     | 0         | 0         | 0,04      | 0,005     | 1         | 0,070                  | 0,0                            |
| 1                         | 0,025     | 0         | 0         | 0,04      | 0,005     | 1         | 0,070                  | 2008,5                         |
| 2                         | 0,02      | 0,005     | 0         | 0,01      | 0,005     | 1         | 0,040                  | 3386,6                         |
| 3                         | 0,02      | 0,005     | 0         | 0         | 0,005     | 1         | 0,030                  | 3794,5                         |
| 4                         | 0,02      | 0,005     | 0         | 0         | 0,005     | 1,15      | 0,035                  | 4068,0                         |
| 5                         | 0,02      | 0,005     | 0,005     | 0         | 0,005     | 1         | 0,035                  | 4396,7                         |
| 6                         | 0,02      | 0,005     | 0         | 0,01      | 0,01      | 1         | 0,045                  | 6127,3                         |
| 7                         | 0,02      | 0,005     | 0         | 0         | 0,01      | 1         | 0,035                  | 7471,9                         |
| 8                         | 0,02      | 0,005     | 0,005     | 0         | 0,01      | 1         | 0,040                  | 9505,6                         |
| 9                         | 0,02      | 0,005     | 0,01      | 0         | 0,01      | 1         | 0,045                  | 11872,7                        |
| 10                        | 0,02      | 0,01      | 0,005     | 0,01      | 0,005     | 1,15      | 0,058                  | 14122,9                        |
| 11                        | 0,02      | 0,005     | 0         | 0         | 0,01      | 1         | 0,035                  | 15573,9                        |
| 12                        | 0,02      | 0,005     | 0,005     | 0,02      | 0,005     | 1,15      | 0,063                  | 17102,3                        |
| 13                        | 0,02      | 0,005     | 0         | 0         | 0,01      | 1,3       | 0,046                  | 18294,6                        |
| 14                        | 0,02      | 0,005     | 0,005     | 0,01      | 0,02      | 1         | 0,060                  | 19536,1                        |
| 15                        | 0,02      | 0,005     | 0         | 0         | 0,005     | 1,15      | 0,035                  | 20955,4                        |
| 16                        | 0,02      | 0,005     | 0,01      | 0,01      | 0,01      | 1         | 0,055                  | 23421,6                        |
| 17                        | 0,02      | 0,005     | 0,005     | 0         | 0,01      | 1,15      | 0,046                  | 24162,1                        |
| 18                        | 0,02      | 0,005     | 0         | 0         | 0,01      | 1         | 0,035                  | 26246,4                        |
| 19                        | 0,02      | 0,005     | 0         | 0         | 0,005     | 1,15      | 0,035                  | 28666,4                        |
| 20                        | 0,02      | 0,005     | 0         | 0         | 0,005     | 1         | 0,030                  | 29773,8                        |
| 21                        | 0,02      | 0,005     | 0         | 0         | 0,005     | 1         | 0,030                  | 31875,0                        |
| 22                        | 0,02      | 0,005     | 0         | 0         | 0,005     | 1         | 0,030                  | 33003,9                        |
| 23                        | 0,02      | 0,005     | 0         | 0         | 0,005     | 1         | 0,030                  | 33474,7                        |
| 24                        | 0,02      | 0,005     | 0         | 0         | 0,005     | 1         | 0,030                  | 33932,2                        |
| 25                        | 0,02      | 0,005     | 0         | 0         | 0,01      | 1         | 0,035                  | 36033,4                        |
| 26                        | 0,02      | 0,005     | 0         | 0         | 0,01      | 1         | 0,035                  | 38267,0                        |
| 27                        | 0,02      | 0,005     | 0         | 0         | 0,005     | 1,3       | 0,039                  | 40647,5                        |
| 28                        | 0,02      | 0,005     | 0,005     | 0         | 0,005     | 1         | 0,035                  | 41824,2                        |
| 29                        | 0,02      | 0,005     | 0         | 0         | 0,01      | 1         | 0,035                  | 43294,1                        |
| 30                        | 0,02      | 0,005     | 0         | 0         | 0,01      | 1         | 0,035                  | 44845,2                        |
| 31                        | 0,02      | 0,005     | 0,005     | 0         | 0,005     | 1         | 0,035                  | 46362,8                        |
| 32                        | 0,02      | 0,005     | 0,005     | 0         | 0,01      | 1         | 0,040                  | 47606,6                        |
| 33                        | 0,02      | 0,005     | 0         | 0         | 0,005     | 1         | 0,030                  | 51503,4                        |
| 34                        | 0,02      | 0,005     | 0         | 0         | 0,01      | 1,15      | 0,040                  | 53828,3                        |
| 35                        | 0,02      | 0,005     | 0         | 0         | 0,025     | 1,15      | 0,058                  | 62065,3                        |
| 36                        | 0,02      | 0,005     | 0,005     | 0         | 0,025     | 1         | 0,055                  | 82964,6                        |

Tabela 5 - Valores de n para calha secundária.

| <b>Condições<br/>do Canal<br/>Trechos</b> | <b>n<sub>0</sub></b> | <b>n<sub>1</sub></b> | <b>n<sub>2</sub></b> | <b>n<sub>3</sub></b> | <b>n<sub>4</sub></b> | <b>m<sub>5</sub></b> | <b>Valor n<br/>(COWAN)</b> | <b>Distância<br/>acumulada<br/>(m)</b> |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|--|
| Partida                                   | 0,02                 | 0,005                | 0                    | 0,04                 | 0,1                  | 1                    | 0,165                      | 0,0                                    |
| 1   | 0,02                 | 0,005                | 0                    | 0,04                 | 0,1                  | 1                    | 0,165                      | 2008,5                                 |
| 2   | 0,02                 | 0,005                | 0                    | 0,01                 | 0,025                | 1                    | 0,060                      | 3386,6                                 |
| 3   | 0,02                 | 0,005                | 0                    | 0                    | 0,01                 | 1                    | 0,035                      | 3794,5                                 |
| 4   | 0,02                 | 0,005                | 0                    | 0                    | 0,01                 | 1,15                 | 0,040                      | 4068,0                                 |
| 5   | 0,02                 | 0,005                | 0,005                | 0                    | 0,01                 | 1                    | 0,040                      | 4396,7                                 |
| 6   | 0,02                 | 0,005                | 0                    | 0,01                 | 0,025                | 1                    | 0,060                      | 6127,3                                 |
| 7   | 0,02                 | 0,005                | 0                    | 0                    | 0,025                | 1                    | 0,050                      | 7471,9                                 |
| 8   | 0,02                 | 0,005                | 0,005                | 0                    | 0,01                 | 1                    | 0,040                      | 9505,6                                 |
| 9   | 0,02                 | 0,005                | 0,01                 | 0                    | 0,025                | 1                    | 0,060                      | 11872,7                                |
| 10  | 0,02                 | 0,01                 | 0,005                | 0,01                 | 0,025                | 1,15                 | 0,081                      | 14122,9                                |
| 11  | 0,02                 | 0,005                | 0                    | 0                    | 0,025                | 1                    | 0,050                      | 15573,9                                |
| 12  | 0,02                 | 0,005                | 0,01                 | 0,02                 | 0,01                 | 1,15                 | 0,075                      | 17102,3                                |
| 13  | 0,02                 | 0,005                | 0                    | 0                    | 0,025                | 1,3                  | 0,065                      | 18294,6                                |
| 14  | 0,02                 | 0,005                | 0,005                | 0,01                 | 0,025                | 1                    | 0,065                      | 19536,1                                |
| 15  | 0,02                 | 0,005                | 0                    | 0                    | 0,01                 | 1,15                 | 0,040                      | 20955,4                                |
| 16  | 0,02                 | 0,005                | 0,01                 | 0,01                 | 0,025                | 1                    | 0,070                      | 23421,6                                |
| 17  | 0,02                 | 0,005                | 0,005                | 0                    | 0,025                | 1,15                 | 0,063                      | 24162,1                                |
| 18  | 0,02                 | 0,005                | 0                    | 0                    | 0,025                | 1                    | 0,050                      | 26246,4                                |
| 19  | 0,02                 | 0,005                | 0                    | 0                    | 0,01                 | 1,15                 | 0,040                      | 28666,4                                |
| 20  | 0,02                 | 0,005                | 0                    | 0                    | 0,025                | 1                    | 0,050                      | 29773,8                                |
| 21  | 0,02                 | 0,005                | 0                    | 0                    | 0,01                 | 1                    | 0,035                      | 31875,0                                |
| 22  | 0,02                 | 0,005                | 0                    | 0                    | 0,025                | 1                    | 0,050                      | 33003,9                                |
| 23  | 0,02                 | 0,005                | 0                    | 0                    | 0,01                 | 1                    | 0,035                      | 33474,7                                |
| 24  | 0,02                 | 0,005                | 0                    | 0                    | 0,01                 | 1                    | 0,035                      | 33932,2                                |
| 25  | 0,02                 | 0,005                | 0                    | 0                    | 0,01                 | 1                    | 0,035                      | 36033,4                                |
| 26  | 0,02                 | 0,005                | 0                    | 0                    | 0,025                | 1                    | 0,050                      | 38267,0                                |
| 27  | 0,02                 | 0,005                | 0                    | 0                    | 0,01                 | 1,3                  | 0,046                      | 40647,5                                |
| 28  | 0,02                 | 0,005                | 0,005                | 0                    | 0,025                | 1                    | 0,055                      | 41824,2                                |
| 29  | 0,02                 | 0,005                | 0                    | 0                    | 0,025                | 1                    | 0,050                      | 43294,1                                |
| 30  | 0,02                 | 0,005                | 0                    | 0                    | 0,025                | 1                    | 0,050                      | 44845,2                                |
| 31  | 0,02                 | 0,005                | 0,005                | 0                    | 0,025                | 1                    | 0,055                      | 46362,8                                |
| 32  | 0,02                 | 0,005                | 0,005                | 0                    | 0,025                | 1                    | 0,055                      | 47606,6                                |
| 33  | 0,02                 | 0,005                | 0                    | 0                    | 0,01                 | 1                    | 0,035                      | 51503,4                                |
| 34  | 0,02                 | 0,005                | 0                    | 0                    | 0,025                | 1,15                 | 0,058                      | 53828,3                                |
| 35  | 0,02                 | 0,005                | 0                    | 0                    | 0,05                 | 1,15                 | 0,086                      | 62065,3                                |
| 36  | 0,02                 | 0,005                | 0,005                | 0                    | 0,025                | 1                    | 0,055                      | 82964,6                                |

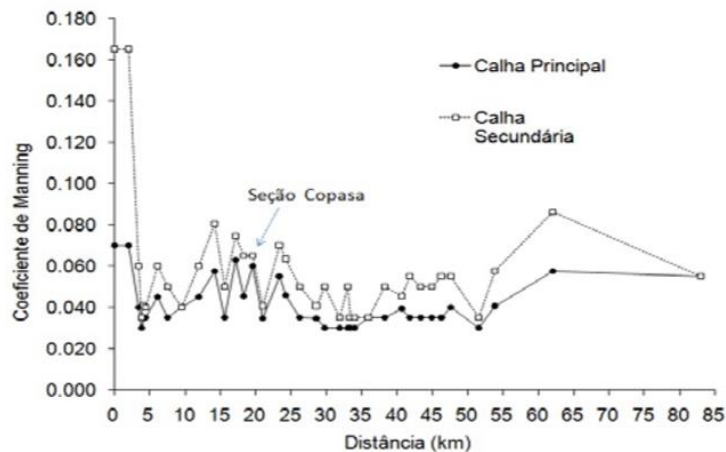


Figura 6 - Curvas relacionando o valor de n com a extensão do rio Sapucaí.

Com tais comparações, observaram que o valor do coeficiente de rugosidade para a calha secundária foi maior que o valor encontrado para a calha principal, resultado explicado pelas diferenças condições da superfície e densidade das vegetações em cada calha.

Por fim, observaram que o coeficiente de Manning calculado pela metodologia proposta se aproxima dos valores reais medidos em campo.

Silva, Rodrigues e Tavares (2013), visou estimar um valor médio para o coeficiente de Manning em um canal artificial localizado no Laboratório de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Cariri – CE. A determinação de n se baseou no método da determinação direta, a partir de dados geométricos e hidráulicos obtidos experimentalmente, para fornecer o valor mais exato para o coeficiente de Manning, com o intuito de ser adotado em práticas futuras envolvendo o canal.

Para o estudo consideraram duas diferentes abordagens, na primeira adotou-se o regime de escoamento do canal uniforme e permanente e no segundo adotaram o regime variado permanente.

Medições de vazão foram feitas e foi obtida a velocidade em cada seção onde as cargas de pressão foram aferidas. Em seguida, calcularam a média desses resultados e aplicaram na equação da continuidade.

Para o regime permanente uniforme, estabeleceram a vazão da bomba e a declividade do canal, esperando assim a vazão do canal estabilizar para iniciar as medições da altura da

água em diversos pontos. Com a média das alturas calcularam a vazão, o raio hidráulico e a área molhada. No escoamento uniforme, o fundo do canal é paralelo às linhas d'água e de energia, dessa forma a declividade do fundo do canal foi adotada na equação de Manning. Os parâmetros calculados encontram-se na Tabela 6 a seguir.

Tabela 6 - Parâmetros calculados a partir dos dados experimentais - Regime permanente uniforme.

| <b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>A (m<sup>2</sup>)</b> | <b>P (m)</b> | <b>Rh (m)</b> | <b>n (s.m<sup>-1/3</sup>)</b> |
|----------------------------|--------------------------|--------------|---------------|-------------------------------|
| 0,0008                     | 0,0011                   | 0,0999       | 0,0115        | 0,0083                        |

Para o regime permanente e variado, reduziram a declividade do canal e mediram a altura d'água e a carga de pressão em duas seções separadas por uma distância conhecida, para então determinar a perda de carga unitária a partir da equação da energia. Para a definição dos parâmetros geométricos e da vazão, utilizaram também a média das alturas d'água. A redução da declividade foi feita para diminuir as ondulações causadas pelas tensões desenvolvidas no contato entre as paredes do canal e a água, o que produziu uma elevação da altura d'água e facilitou as aferições. No caso do escoamento variado, o fundo do canal não é paralelo às linhas d'água e de energia, e por isso, a declividade da linha d'água foi adotada na equação de Manning. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 7 a seguir.

Tabela 7 - Parâmetros calculados a partir dos dados experimentais - Regime permanente e variado.

| <b>y (m)</b> | <b>V (m/s)</b> | <b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>J (m/m)</b> | <b>A (m<sup>2</sup>)</b> | <b>P (m)</b> | <b>Rh (m)</b> | <b>n (s.m<sup>-1/3</sup>)</b> |
|--------------|----------------|----------------------------|----------------|--------------------------|--------------|---------------|-------------------------------|
| 0,0320       | 0,3431         | 0,0008                     | 0,021          | 0,0020                   | 0,1280       | 0,0160        | 0,0085                        |

Segundo os autores os coeficientes de Manning determinados experimentalmente mostraram-se satisfatórios quando comparados com valores de n comuns em canais de materiais semelhantes, que podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8 - Coeficiente de Manning para canais de vidro acrílico.

|                | <b>Mínimo</b> | <b>Normal</b> | <b>Máximo</b> |
|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Vidro acrílico | 0,008         | 0,009         | 0,010         |

Fonte: HEC-Ras Hydraulic Reference Manual (2005).

O terceiro estudo analisado, desenvolvido por Strasser et al. (2005), visou analisar a variação do coeficiente de rugosidade de Manning em rios da Bacia Amazônica por meio de

modelagem hidrodinâmica. Foram escolhidos dois trechos, o rio Amazonas e o rio Madeira, devido à disponibilidade de dados de ambos.

Empregou-se o modelo unidimensional PSV-Rio desenvolvido por Mascarenhas (1980). Este programa modela o fenômeno da propagação de ondas das cheias de rios ou canais abertos por meio de uma discretização do domínio e resolve as equações de Saint Venant desenvolvidas em função da profundidade e da velocidade média, através de um esquema de diferenças finitas. Tais equações de Saint Venant são formadas pelas equações da continuidade e da quantidade de movimento.

E para o cálculo da perda de carga, utilizaram a equação que representa a resistência ao escoamento oferecida pelo curso d'água, representada pela equação de Manning.

Através do banco de dados hidrometeorológicos da Agência Nacional de Águas (ANA), levantaram as séries de cota e vazão das estações fluviométricas. E por meio do projeto HiBAm coletaram as informações altimétricas e o levantamento batimétrico das seções transversais ao longo do canal principal dos rios modelados.

Após a coleta de dados fizeram-se as simulações hidrodinâmicas. Obtiveram resultados satisfatórios tanto na fase de calibração como na fase de verificação e concluíram que o modelo e os parâmetros utilizados reproduziram adequadamente os processos hidrodinâmicos que ocorrem nos cursos d'água. Avaliaram, então, a resistência do escoamento que apresentou coeficiente de Manning com uma variação de 0,020 a 0,035 no rio Amazonas e de 0,015 a 0,043 no rio Madeira, resultados também satisfatórios, pois outros grandes rios apresentaram valores próximos a essa faixa, como o trabalho desenvolvido por Hicks (1996), no rio Peace – Canadá, que resultaram valores de  $n$  entre 0,025 a 0,045.

No quarto trabalho analisado, embora a disponibilidade de postos fluviométricos que possuem séries históricas de dados de vazão do rio Paracatu seja pequena, Lyra et al. (2010) coletou dados de cinco perfis transversais de postos fluviométricos através do HidroWeb – sistema de dados da Agência Nacional de Águas (ANA).

Por meio do software ArcView 3.2<sup>a</sup>. obtiveram os valores de extensão de cada trecho analisado. Em seguida, a declividade foi estimada através da diferença de nível entre os pontos fluviométricos pela extensão do trecho do rio compreendido entre eles.

Após a coleta de dados, estimaram os coeficientes de rugosidade através da fórmula de Manning, obtendo para cada um dos cinco trechos dois valores de rugosidade por cada série do ano. Esses dois valores representam as seguintes situações: vazão mínima média mensal (período de seca) e vazão máxima média mensal (período de cheia).

Realizaram a modelagem do coeficiente de rugosidade por redes neurais artificiais, também para os períodos de seca e de cheia. A rede neural artificial utilizada é classificada como do tipo “perceptron” de múltiplas camadas, na qual o sinal de entrada se propaga para frente, camada por camada, e em seguida é retropropagado para a correção do erro. Todo o procedimento foi realizado diversas vezes até a finalização do treinamento.

Com o processo citado anteriormente finalizado, os valores de coeficiente de rugosidade foram estimados. Foi possível, então, concluir que o coeficiente de rugosidade de Manning não varia em função da época de cheia ou seca e sim em função das características da margem e/ou do leito do canal. Além disso, o modelo desenvolvido em rede neural também mostrou um desempenho satisfatório, permitindo estimar o coeficiente de rugosidade em função da cota, vazão, declividade e raio hidráulico do rio.

Por meio da Figura 7, gráfico de comparação entre valores de rugosidade observados e estimados, é possível ressaltar o bom desempenho da estimativa, que apresentou uma tendência de variação similar.

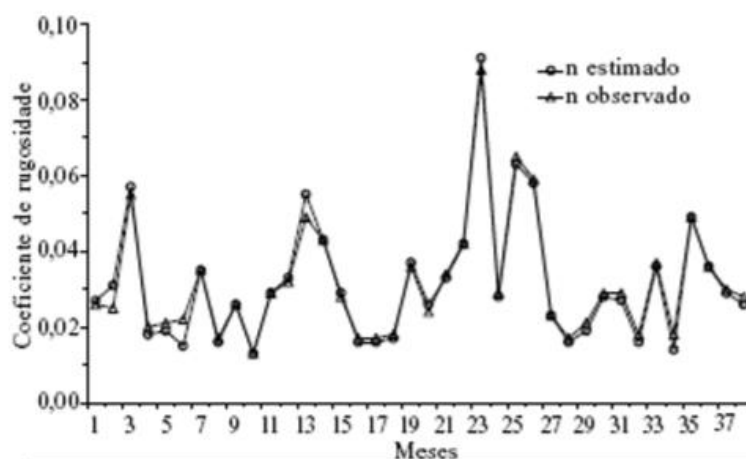


Figura 7- Comparação entre os coeficientes de rugosidade de Manning (n) observados e estimados pela rede neural.



## 4. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para o estudo do presente trabalho pode ser subdividida nas seguintes etapas: primeiramente, será apresentada a fonte da qual foram retiradas as séries históricas, posteriormente, como foram selecionados todos os dados e como descobriu-se a formação de cada perfil do Rio Doce, logo após será apresentado a definição de cada declividade e por fim o *software* escolhido para encontrar cada rugosidade. A Figura 8 sintetiza as etapas da metodologia através de um fluxograma.

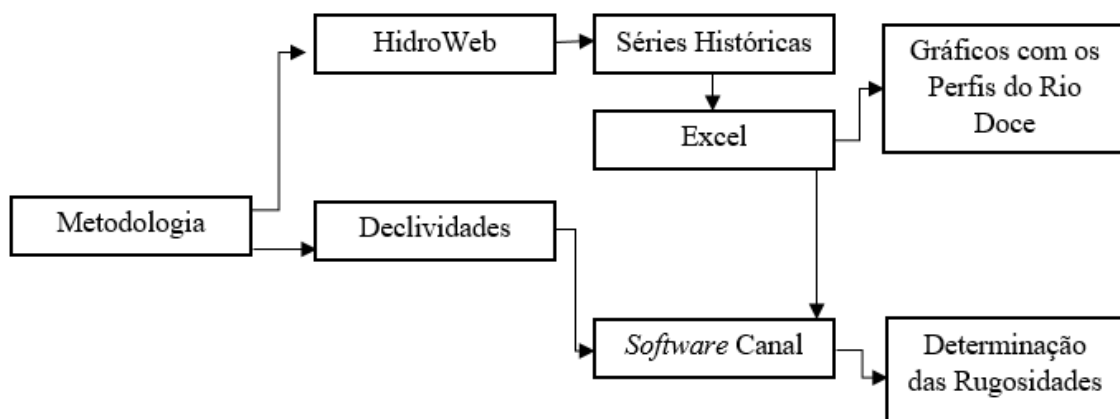


Figura 8 - Fluxograma referente a metodologia.

### 4.1 Coleta de dados

O site da Agência Nacional de Águas (ANA) monitora e disponibiliza dados através do Portal HidroWeb, reunindo e gerenciando todas as informações coletadas pela rede hidrometeorológica como: números de cotas, vazões, chuvas, evaporação, perfil do rio, qualidade da água e sedimentos. Utilizaram-se as séries históricas referentes à sub-bacia código 56, consultando apenas os dados de suas estações fluviométricas.

No HidroWeb existem o total de 69 registros de estações fluviométricas ao longo do rio Doce, porém apenas 26 apresentam os arquivos com banco de dados, de forma que os demais registros se encontram em branco. Das 26 estações, foram selecionadas aquelas que possuíam todos os dados necessários, os quais serão citados a seguir, totalizando nove estações estudadas,

sendo elas: Belo Oriente (56719998), Cachoeira dos Óculos Montante (56539000), Colatina (56994500), Fazenda Cachoeira D'Antas (56425000), Governador Valadares (56850000), Linhares (56998000), Resplendor Jusante (56948005), Tumiritinga (56920000) e UHE Mascarenhas Jusante (56992480).

As séries históricas das estações possuíam dados diários de vazão e cota, e também possuíam registros de perfis transversais, os quais foram medidos uma vez no ano, sendo que não houve medições em todos os anos das séries. Esses dados se encontravam nos arquivos denominados “Resumo de Descarga”, “Perfil Transversal”, “Cotas” e “Vazões”, os quais foram obtidos no HidroWeb.

O arquivo referente ao perfil transversal de cada estação possui o levantamento de informações – coordenadas do perfil – ao longo de vários anos, com exceção de UHE Mascarenhas e Linhares, que possuem apenas um e dois levantamentos, respectivamente. Além disso, possui também observações diversas referentes a cada medição. Cada levantamento corresponde a uma data e possui um número de registro de ID. Ainda no arquivo de perfil existem os dados denominados “PerfilTranversalVert”, onde encontram-se todas as larguras e profundidades de cada ID.

Utilizando como referência a mesma data do levantamento do perfil transversal de cada estação, foi possível obter diversos dados no arquivo “Resumo de Descarga”, sendo eles: cota, vazão, área molhada, largura, velocidade média e profundidade.

No arquivo “Vazões” encontraram-se todas as vazões diárias medidas ao longo de cada ano. Assim, foi possível calcular a rugosidade para o dia da medição do perfil, para o dia da maior e o da menor vazão do ano no qual o perfil foi medido, sendo que em todos os casos utilizou-se o mesmo perfil transversal, ou seja, considerou-se que ele não variou ao longo do mesmo ano, visto que não se tinha informação sobre o perfil do dia de máxima e mínima vazão.

No arquivo “Cotas” se obtiveram todas as cotas diárias medidas ao longo de cada ano. Essas cotas correspondem aos valores onde se mediu as profundidades de cada perfil.

## 4.2 Traçado dos perfis transversais

Após todos os dados coletados, lançaram-se todos os registros de perfis transversais de vários anos na planilha eletrônica Excel. Com o auxílio do gráfico de dispersão, construiu-se os perfis transversais, sendo que assim, foi possível analisar a qual altura estava o nível d'água no momento do levantamento do perfil, como está exemplificado na Figura 9 a seguir, que apresentou uma cota de medição de -0,49m.

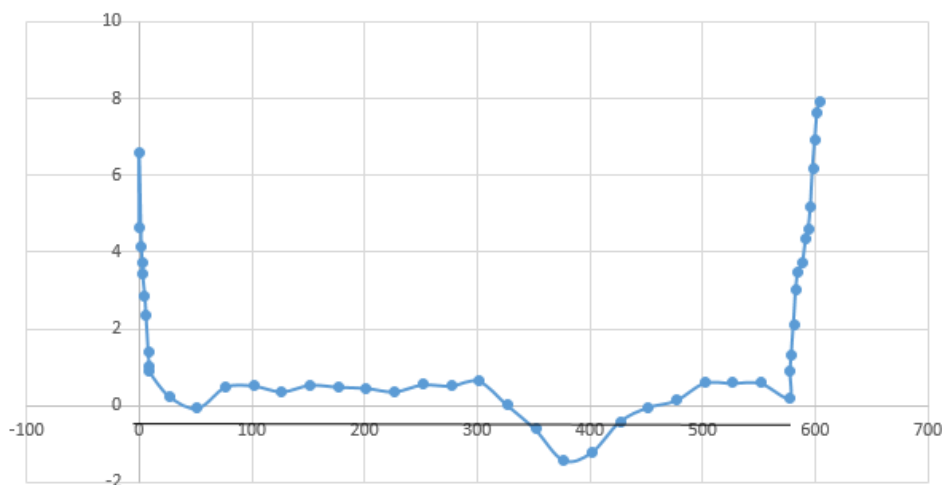


Figura 9 - Gráfico de dispersão formado através dos dados disponíveis no arquivo “Perfil Transversal” da estação de Colatina (ID05-03/10/1999).

Traçados todos os perfis transversais, chegou-se a um total de 94 perfis, sendo uma média geral de dez por estação, com exceção de casos particulares como UHE Mascarenhas e Linhares, que possuíam apenas um perfil cada. Na tabela 9 a seguir é possível visualizar a quantidade de perfis estudados por estação.

Tabela 9 - Número de perfis transversais por estação.

| <b>Estações</b>               | <b>Número de perfis transversais</b> |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| Belo Oriente                  | 15                                   |
| Cachoeira dos Óculos Montante | 16                                   |
| Colatina                      | 17                                   |
| Fazenda Cachoeira D'Antas     | 20                                   |
| Governador Valadares          | 10                                   |

Tabela 9 – Continuação – Número de perfis transversais por estação.

| <b>Estações</b>    | <b>Número de perfis transversais</b> |
|--------------------|--------------------------------------|
| Linhares           | 1                                    |
| Resplendor Jusante | 7                                    |
| Tumiritinga        | 7                                    |
| UHE Mascarenhas    | 1                                    |

### 4.3 Declividades das estações fluviométricas

A declividade de cada estação fluviométrica foi baseada em um diagnóstico consolidado da bacia do rio Doce de dezembro de 2005. Nele foram demonstradas as declividades médias aproximadas da calha principal do rio.

O rio Doce foi dividido em alto, médio e baixo Doce. O Alto Doce possui um comprimento de talvegue de 154 km a partir da confluência dos rios Piranga e Carmo, o rio corta o Parque Estadual do Rio Doce em cerca de 50 km e a montante possui confluência do rio Piracicaba. Nos primeiros 15 km o rio apresenta forte declividade de aproximadamente 0,31%, que não foi utilizado neste estudo, uma vez que as estações estudadas se encontram após esses 15 km. A declividade do Alto Doce, após esses 15 km, é de 0,075%, e essa região caracteriza-se principalmente pelo seu sistema lacustre, que ocupa municípios de Ipatinga, Caratinga, São Pedro dos Ferros, Timóteo e Marliéria.

Já o Médio Doce possui uma declividade de 0,059%, com um comprimento de talvegue de 256 km.

E, por fim, o Baixo Doce possui um leito predominantemente rochoso, seu trecho final uma crescente presença de agricultura irrigada e também áreas inundadas, lagoas e planície costeira de grande valor hídrico e ambiental. A declividade média do Baixo Doce é de 0,026%.

Para determinar o local onde se encontra cada estação, utilizou-se o *Google Earth Pro*. Primeiramente localizou-se a foz do rio Doce e de acordo com o comprimento de cada talvegue citado acima, foi possível demarcar o Alto, Médio e Baixo Doce.

Foram marcadas também todas as estações ao longo do rio, utilizou-as através das coordenadas geográficas disponíveis: junto aos arquivos no HidroWeb, como foi dito anteriormente, como o exemplo da Figura 10 da estação de Tumiritinga.

### TUMIRITINGA (56920000)

| Dados da Estação                    |                             |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| Código                              | 56920000                    |
| Nome                                | TUMIRITINGA                 |
| Código Adicional                    | T - RADIO                   |
| Bacia                               | ATLÂNTICO, TRECHO LESTE (S) |
| Sub-bacia                           | RIO DOCE (56)               |
| Rio                                 | RIO DOCE                    |
| Estado                              | MINAS GERAIS                |
| Município                           | GALILÉIA                    |
| Responsável                         | ANA                         |
| Operadora                           | CPRM                        |
| Latitude                            | -18:58:16                   |
| Longitude                           | -41:38:30                   |
| Altitude (m)                        | 135                         |
| Área de Drenagem (km <sup>2</sup> ) | 55100                       |

Consultar série de:

[Arquivo Access](#) [Arquivo Texto](#)

Figura 10 - Dados obtidos no HidroWeb referentes à estação de Tumiritinga.

Conhecendo-se as coordenadas das estações, pode-se localizá-las ao longo do rio Doce, partindo da foz até o seu deságue, sendo que seguem a seguinte ordem: Fazenda Cachoeira D'Antas, Cachoeira dos Óculos Montante, Belo Oriente, Governador Valadares, Tumiritinga, Resplendor Jusante, UHE Mascarenhas, Colatina e Linhares. A Figura 11 ilustra tal sequência. Porém, os dados de latitude e de longitude encontram-se imprecisos, mais especificamente, não possuem os dois últimos números. Dessa forma, para a realização das marcações da Figura 11, fez-se uma aproximação para o ponto adjacente ao rio Doce.

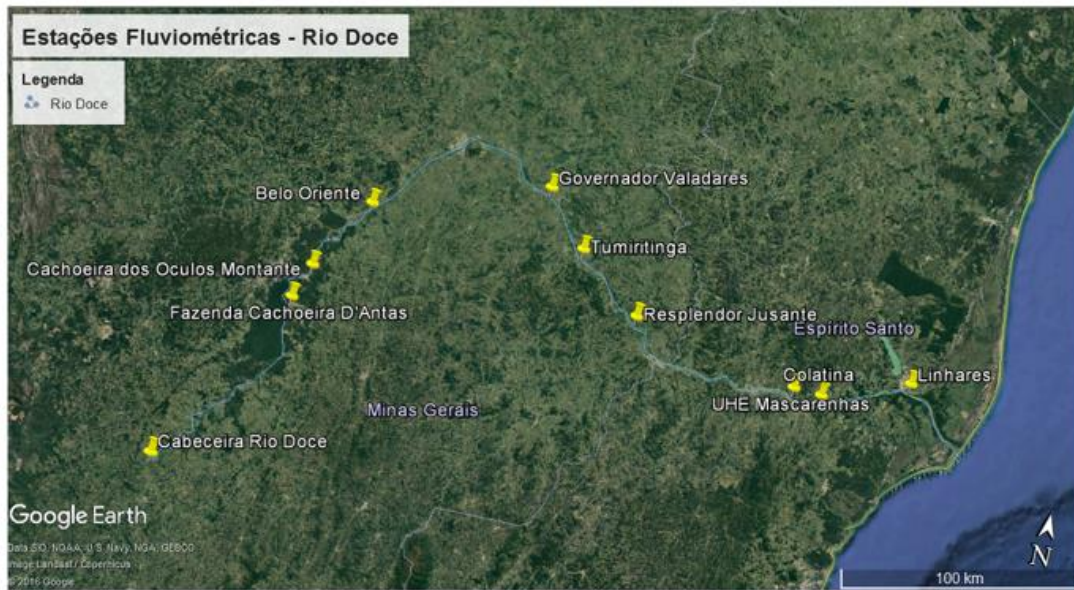


Figura 11 - Localização das estações fluviométricas ao longo do rio Doce. Fonte: Google Earth Pro.

A partir disso determinou-se que: a estação Fazenda Cachoeira D'Antas localiza-se no alto Doce; as estações Cachoeira dos Óculos, Belo Oriente, Governador Valadares, Tumiritinga e Resplendor encontram-se no médio Doce; e por fim as estações UHE Mascarenhas, Colatina e Linhares situam-se no baixo Doce.

#### 4.4 Software Canal

O *software* escolhido para calcular a rugosidade via equação de Manning foi o Canal, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos DEA, da Universidade Federal de Viçosa. Dentre os parâmetros necessários para o cálculo é possível escolher a incógnita do problema, que para este estudo foi o coeficiente de rugosidade de Manning ( $n$ ).

Na opção “Tipos de Canais”, escolheu-se o tipo “Irregulares e Compostos”, que possibilita a inserção de todos os pontos da seção transversal do rio. Primeiro determinou-se a Largura da Superfície ( $B$ ), a qual foi encontrada no arquivo “PerfilTransversalVert”, obtido no HidroWeb. A Figura 12 ilustra as incógnitas de entrada do *software* Canal.

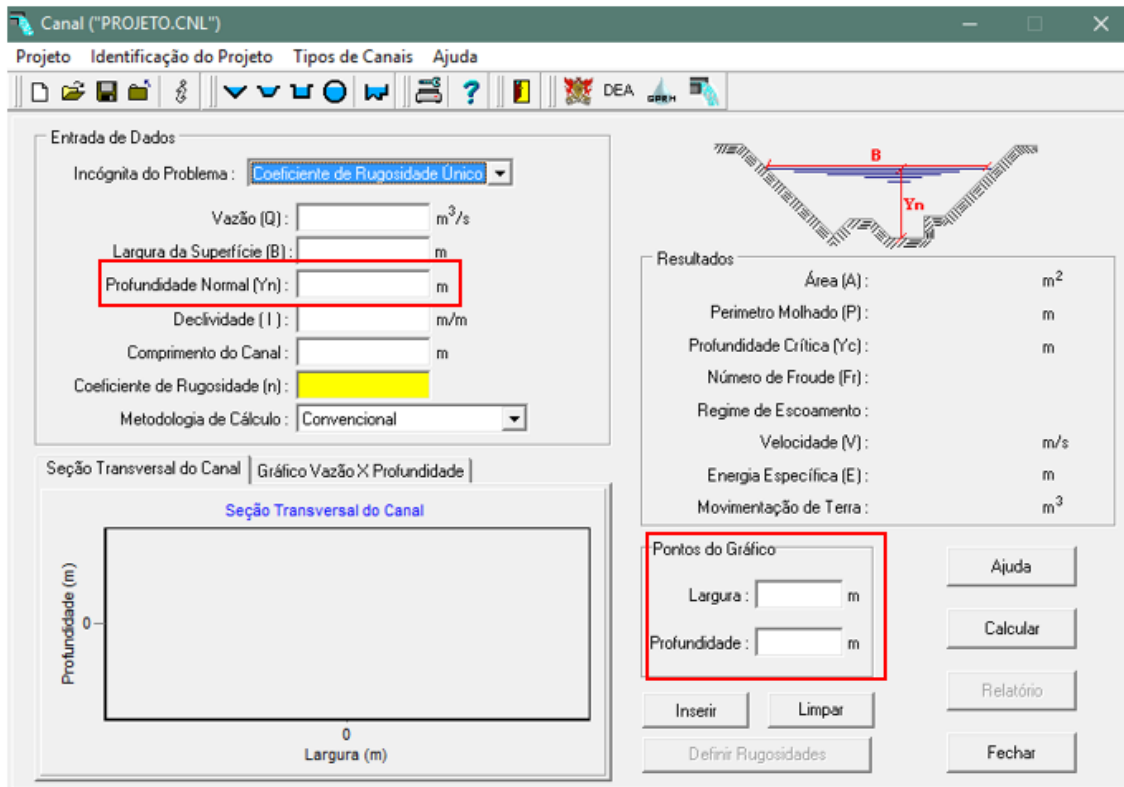


Figura 12 - Incógnitas de entrada do software Canal.

No preenchimento dos parâmetros “Pontos do Gráfico” e “Profundidade Normal (Yn)”, os quais estão destacados na Figura 12, observaram-se duas situações que requerem metodologias diferentes: perfis que possuem apenas dados positivos e perfis que possuem dados positivos e também negativos.

No primeiro caso encontrou-se a maior cota de cada perfil e desta subtraiu-se as demais cotas, os resultados foram lançados no campo “Profundidade”. No parâmetro “Largura” preencheu-se com a distância correspondente de cada cota, ambas dentro da área de “Pontos do Gráfico”. A Tabela 10, referente à estação de Belo Oriente (ID15-09/12/2015), exemplifica essa primeira situação. Já em “Profundidade Normal (Yn)”, preencheu-se com a cota referente a mesma data da medição analisada.

Tabela 10 - Estação com cotas apenas positivas. O número em negrito corresponde ao maior valor de cota positivo.

| <b>Largura (m)</b> | <b>Cota (m)</b> | <b>Altura (m)</b> | <b>Largura (m)</b> | <b>Cota (m)</b> | <b>Altura (m)</b> |
|--------------------|-----------------|-------------------|--------------------|-----------------|-------------------|
| 0                  | <b>9,98</b>     | 0                 | 170                | 0,78            | 9,2               |
| 1,92               | 8,77            | 1,21              | 180                | 0,86            | 9,12              |
| 3,52               | 7,07            | 2,91              | 190                | 1,24            | 8,74              |
| 6,1                | 5,57            | 4,41              | 200                | 1,12            | 8,86              |
| 8,99               | 3,98            | 6                 | 210                | 1,16            | 8,82              |
| 10,45              | 3,09            | 6,89              | 220                | 0,99            | 8,99              |
| 10,8               | 2,88            | 7,1               | 230                | 0,47            | 9,51              |
| 15                 | 0,41            | 9,57              | 240                | 0,6             | 9,38              |
| 20                 | 0,68            | 9,3               | 248                | 1,85            | 8,13              |
| 30                 | 1,21            | 8,77              | 248,8              | 2,88            | 7,1               |
| 40                 | 1,35            | 8,63              | 249,95             | 3,86            | 6,12              |
| 50                 | 1,04            | 8,94              | 251,4              | 4,74            | 5,24              |
| 60                 | 0,71            | 9,27              | 253                | 5,62            | 4,36              |
| 70                 | 0,85            | 9,13              | 254,2              | 6,08            | 3,9               |
| 80                 | 0,73            | 9,25              | 257                | 6,75            | 3,23              |
| 90                 | 0,84            | 9,14              | 261,3              | 6,53            | 3,45              |
| 100                | 0,69            | 9,29              | 266                | 6,11            | 3,87              |
| 110                | 0,42            | 9,56              | 272,6              | 5,78            | 4,2               |
| 120                | 0,67            | 9,31              | 278                | 5,57            | 4,41              |
| 130                | 0,4             | 9,58              | 282,5              | 5,69            | 4,29              |
| 140                | 0,36            | 9,62              | 286,6              | 5,85            | 4,13              |
| 150                | 0,53            | 9,45              | 291,8              | 6,08            | 3,9               |

A Figura 13 a seguir ilustra o perfil transversal da mesma estação da Tabela 10, lançado no Software.



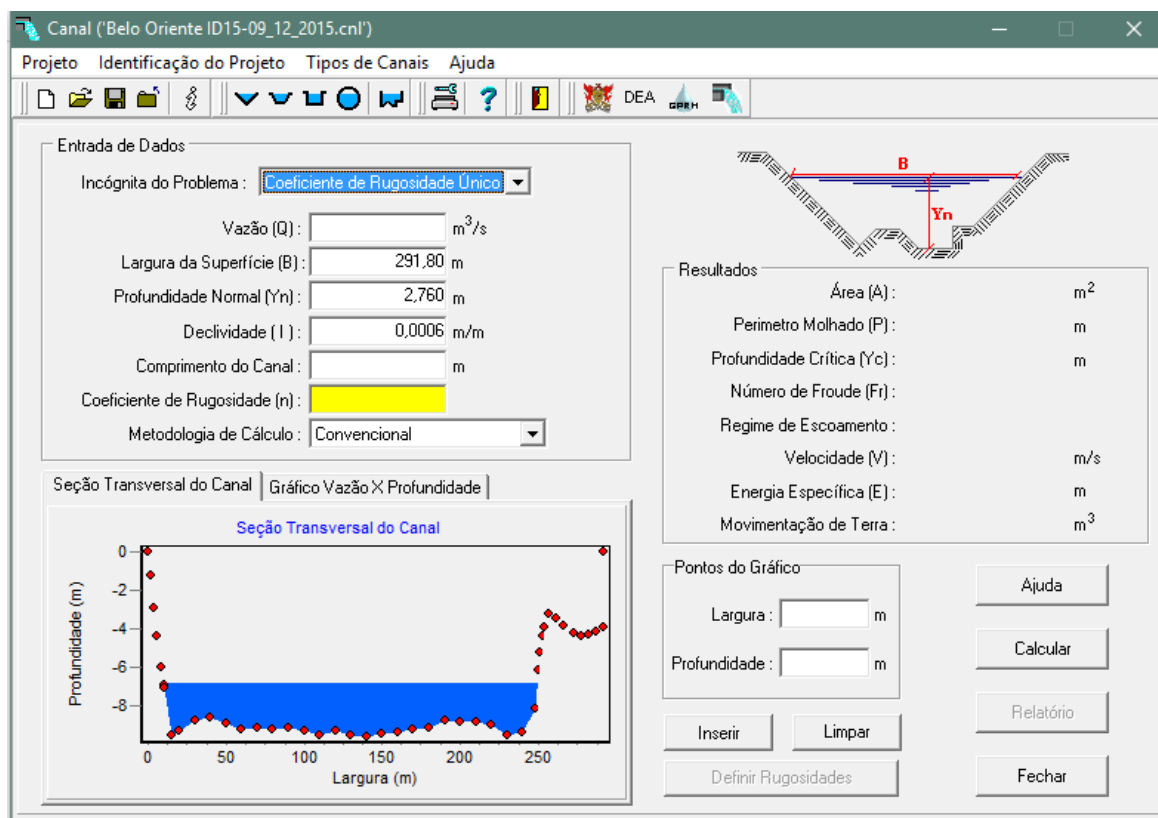


Figura 13 - Perfil transversal lançado no software Canal (valores positivos).

No segundo caso, que possui dados positivos e negativos, subtraiu-se de todos os valores de cota o maior número negativo, resultando assim apenas valores positivos para serem lançados no *software*. Então, seguindo-se o mesmo procedimento anterior, lançou-se todos os dados no campo “Pontos do Gráfico”, formando o perfil transversal do canal. A Tabela 11, referente a Estação de Belo Oriente (ID08-17/10/2006), exemplifica essa situação. Porém, diferentemente do caso anterior, no parâmetro “Profundidade Normal ( $Y_n$ )”, preencheu-se com a cota referente a mesma data da medição analisada somada ao maior valor negativo.

Tabela 11 - Estação com cotas positivas e negativas. O número em negrito representa o maior valor negativo.

| Largura (m) | Cota (m) | Altura (m) | Largura (m) | Cota (m) | Altura (m) |
|-------------|----------|------------|-------------|----------|------------|
| 0           | 9,05     | 11,6       | 18          | 2,88     | 5,43       |
| 7           | 9,03     | 11,58      | 22          | 1,2      | 3,75       |
| 10          | 7,99     | 10,54      | 24          | -0,83    | 1,72       |
| 12          | 6,26     | 8,81       | 32          | -0,23    | 2,32       |
| 15          | 4,35     | 6,9        | 42          | -0,01    | 2,54       |

Tabela 11 – Continuação - Estação com cotas positivas e negativas. O número em negrito representa o maior valor negativo.

| <b>Largura (m)</b> | <b>Cota (m)</b> | <b>Altura (m)</b> | <b>Largura (m)</b> | <b>Cota (m)</b> | <b>Altura (m)</b> |
|--------------------|-----------------|-------------------|--------------------|-----------------|-------------------|
| 52                 | 0,05            | 2,6               | 202                | -0,45           | 2,1               |
| 62                 | 0,3             | 2,85              | 212                | -0,86           | 1,69              |
| 72                 | 0,3             | 2,85              | 222                | -1,8            | 0,75              |
| 82                 | 0,04            | 2,59              | 232                | -2,3            | 0,25              |
| 92                 | 0,04            | 2,59              | 242                | <b>-2,55</b>    | 0                 |
| 102                | 0,25            | 2,8               | 252                | -1,6            | 0,95              |
| 112                | 0,18            | 2,73              | 255                | -0,5            | 2,05              |
| 122                | 0,25            | 2,8               | 256                | 1,2             | 3,75              |
| 132                | 0,25            | 2,8               | 258                | 2,93            | 5,48              |
| 142                | 0,18            | 2,73              | 260                | 4,15            | 6,7               |
| 152                | 0,15            | 2,7               | 262                | 5,16            | 7,71              |
| 162                | 0,11            | 2,66              | 264                | 5,69            | 8,24              |
| 172                | 0,05            | 2,6               | 284                | 4,53            | 7,08              |
| 182                | 0,15            | 2,7               | 304                | 5,02            | 7,57              |
| 192                | -0,1            | 2,45              | 336                | 4,87            | 7,42              |

A Figura 14 ilustra o perfil transversal da mesma estação da Tabela 11, lançado no *software*.

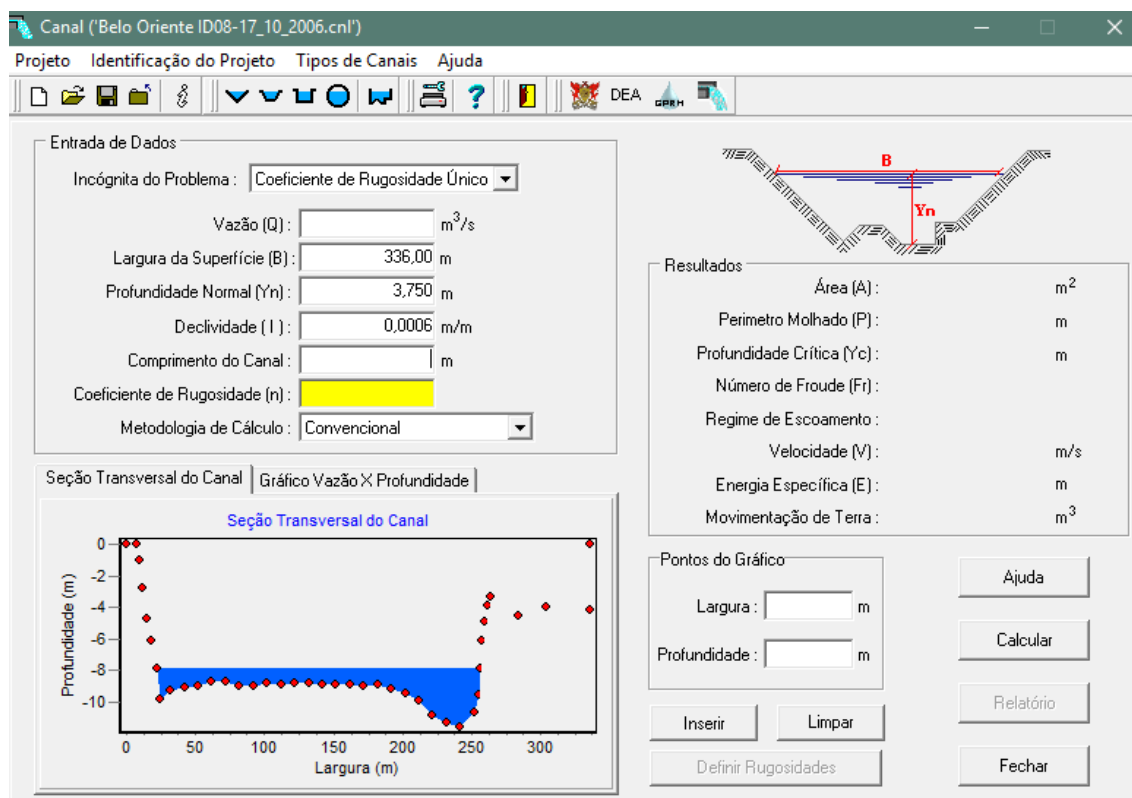


Figura 14- Perfil transversal lançado no software Canal (valores positivos e negativos).

Em ambos os casos, utilizaram-se primeiramente os dados disponíveis nos arquivos de “Perfil Transversal” e “Resumo de Descarga”, e posteriormente, utilizaram-se os arquivos de “Vazões” e “Cotas” correspondentes, com finalidade de comparar todos os dados de mesma data, porém de arquivos diferentes. Feito isso, partiu-se para os cálculos de rugosidades usando-se os dados de vazões e cotas máximas e mínimas de cada ano, disponíveis em “Vazões” e “Cotas”.

Para o cálculo da rugosidade não é necessário saber o comprimento do canal. E a “metodologia de cálculo” escolhida no *software* foi a convencional.

Após o lançamento do perfil transversal no *software*, especificou-se cada declividade conforme citado no subitem 4.3, e determinou-se a rugosidade para cada período – de medição, seca e chuva – como descrito anteriormente.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Fazenda Cachoeira D'Antas

A Fazenda Cachoeira D'Antas pertence ao município de São José do Goiabal - MG, que possui aproximadamente 50% do território com o predomínio de mares de morros e terrenos montanhosos, 30% coberto por áreas planas e 20% lugares ondulados.

Para obtenção da média final, foram analisadas as rugosidades equivalentes de 20 perfis transversais de diversos anos, de 1994 a 2015, as quais estão apresentadas na Tabela 12, sendo os valores em negrito, referentes ao dia da medição do perfil transversal, retirados do arquivo “Resumo de Descarga”. Os demais valores, referentes a mesma data do dia de medição; o dia de maior vazão – período de chuva; e o dia de menor vazão – período de seca; foram retirados do arquivo “Vazões”.

A média final do coeficiente de rugosidade equivalente, de todas as estações, para o dia da medição foi ponderada da seguinte forma: quando se observou grande discrepância entre os valores de  $n$  para a mesma data, escolheu-se o resultado mais próximo dos demais valores daquela estação para a realização da média, pois assim eliminaram-se resultados errôneos; e para os valores que se encontraram bem próximos um do outro, realizou-se uma média.

Tabela 12 - Coeficientes de rugosidade referentes à estação Fazenda Cachoeira D'Antas, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga” e os demais valores do arquivo “Vazões”.

|      | <b>Época da medição</b> | <b>Data</b>       | <b>Profundidade (m)</b> | <b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>n</b>     |
|------|-------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------|
| ID01 | <b>Dia da medição</b>   | <b>11/10/1994</b> | <b>1,45</b>             | <b>102,0</b>                   | <b>0,035</b> |
|      | Dia da medição          | 11/10/1994        | 1,70                    | 119,4                          | 0,044        |
|      | Dia da maior vazão      | 21/01/1994        | 3,98                    | 495,8                          | 0,059        |
|      | Dia da menor vazão      | 01/10/1994        | 1,38                    | 74,4                           | 0,043        |
| ID02 | <b>Dia da medição</b>   | <b>08/06/1995</b> | <b>1,52</b>             | <b>85,9</b>                    | <b>0,028</b> |
|      | Dia da medição          | 08/06/1995        | 1,52                    | 96,2                           | 0,025        |
|      | Dia da maior vazão      | 17/12/1995        | 4,70                    | 588,5                          | 0,056        |
|      | Dia da menor vazão      | 14/09/1995        | 1,18                    | 49,6                           | 0,038        |

Tabela 12 – Continuação - Coeficientes de rugosidade referentes à estação Fazenda Cachoeira D'Antas, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga” e os demais valores do arquivo “Vazões”.

|      | <b>Época da medição</b> | <b>Data</b>       | <b>Profundidade<br/>(m)</b> | <b>Vazão<br/>(m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>n</b>     |
|------|-------------------------|-------------------|-----------------------------|------------------------------------|--------------|
| ID03 | <b>Dia da medição</b>   | <b>21/08/1998</b> | <b>1,43</b>                 | <b>94,2</b>                        | <b>0,049</b> |
|      | Dia da medição          | 21/08/1998        | 1,44                        | 84,5                               | 0,055        |
|      | Dia da maior vazão      | 19/02/1998        | 3,99                        | 486,8                              | 0,063        |
|      | Dia da menor vazão      | 30/09/1998        | 1,30                        | 66,0                               | 0,057        |
| ID04 | <b>Dia da medição</b>   | <b>31/07/1999</b> | <b>1,31</b>                 | <b>83,9</b>                        | <b>0,029</b> |
|      | Dia da medição          | 31/07/1999        | 1,30                        | 66,0                               | 0,037        |
|      | Dia da maior vazão      | 29/11/1999        | 3,48                        | 393,2                              | 0,055        |
|      | Dia da menor vazão      | 17/10/1999        | 1,06                        | 38,7                               | 0,034        |
| ID05 | <b>Dia da medição</b>   | <b>23/06/2001</b> | <b>1,29</b>                 | <b>70,8</b>                        | <b>0,032</b> |
|      | Dia da medição          | 23/06/2001        | 1,31                        | 67,2                               | 0,034        |
|      | Dia da maior vazão      | 04/01/2001        | 4,40                        | 552,4                              | 0,054        |
|      | Dia da menor vazão      | 10/09/2001        | 1,12                        | 44,1                               | 0,033        |
| ID06 | <b>Dia da medição</b>   | <b>13/05/2002</b> | <b>1,81</b>                 | <b>121,9</b>                       | <b>0,042</b> |
|      | Dia da medição          | 13/05/2002        | 1,82                        | 134,8                              | 0,038        |
|      | Dia da maior vazão      | 19/01/2002        | 4,54                        | 597,0                              | 0,053        |
|      | Dia da menor vazão      | 18/10/2002        | 1,35                        | 64,2                               | 0,038        |
| ID07 | <b>Dia da medição</b>   | <b>25/04/2003</b> | <b>1,75</b>                 | <b>109,2</b>                       | <b>0,038</b> |
|      | Dia da medição          | 25/04/2003        | 1,76                        | 119,4                              | 0,035        |
|      | Dia da maior vazão      | 18/01/2003        | 6,26                        | 833,4                              | 0,075        |
|      | Dia da menor vazão      | 30/10/2003        | 1,31                        | 65,4                               | 0,027        |
| ID08 | <b>Dia da medição</b>   | <b>24/08/2004</b> | <b>1,435</b>                | <b>73,63</b>                       | <b>0,038</b> |
|      | Dia da medição          | 24/08/2004        | 1,46                        | 109,6                              | 0,026        |
|      | Dia da maior vazão      | 13/01/2004        | 5,42                        | 774,5                              | 0,054        |
|      | Dia da menor vazão      | 20/10/2004        | 1,50                        | 87,1                               | 0,036        |
| ID09 | <b>Dia da medição</b>   | <b>15/07/2005</b> | <b>1,93</b>                 | <b>139,3</b>                       | <b>0,036</b> |
|      | Dia da medição          | 15/07/2005        | 1,88                        | 143,2                              | 0,033        |
|      | Dia da maior vazão      | 05/03/2005        | 6,68                        | 1011,6                             | 0,071        |
|      | Dia da menor vazão      | 22/10/2005        | 1,46                        | 79,3                               | 0,029        |

Tabela 12 – Continuação - Coeficientes de rugosidade referentes à estação Fazenda Cachoeira D'Antas, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga” e os demais valores do arquivo “Vazões”.

|      | <b>Época da medição</b> | <b>Data</b>       | <b>Profundidade<br/>(m)</b> | <b>Vazão<br/>(m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>n</b>     |
|------|-------------------------|-------------------|-----------------------------|------------------------------------|--------------|
| ID10 | <b>Dia da medição</b>   | <b>17/10/2006</b> | <b>1,94</b>                 | <b>146,9</b>                       | <b>0,042</b> |
|      | Dia da medição          | 17/10/2006        | 1,98                        | 133,7                              | 0,048        |
|      | Dia da maior vazão      | 30/12/2006        | 5,77                        | 787,2                              | 0,064        |
|      | Dia da menor vazão      | 19/09/2006        | 1,40                        | 67,8                               | 0,041        |
| ID11 | <b>Dia da medição</b>   | <b>21/05/2007</b> | <b>1,83</b>                 | <b>125,5</b>                       | <b>0,035</b> |
|      | Dia da medição          | 21/05/2007        | 1,82                        | 129,3                              | 0,034        |
|      | Dia da maior vazão      | 12/01/2007        | 4,94                        | 642,2                              | 0,052        |
|      | Dia da menor vazão      | 18/10/2007        | 1,34                        | 59,4                               | 0,029        |
| ID12 | <b>Dia da medição</b>   | <b>19/08/2008</b> | <b>1,38</b>                 | <b>69,1</b>                        | <b>0,046</b> |
|      | Dia da medição          | 19/08/2008        | 1,38                        | 65,9                               | 0,048        |
|      | Dia da maior vazão      | 19/12/2008        | 8,52                        | 1528,0                             | 0,048        |
|      | Dia da menor vazão      | 18/10/2008        | 1,36                        | 60,6                               | 0,050        |
| ID13 | <b>Dia da medição</b>   | <b>20/11/2009</b> | <b>2,04</b>                 | <b>155,94</b>                      | <b>0,046</b> |
|      | Dia da medição          | 20/11/2009        | 2,30                        | 187,5                              | 0,050        |
|      | Dia da maior vazão      | 06/01/2009        | 5,96                        | 855,4                              | 0,072        |
|      | Dia da menor vazão      | 23/08/2009        | 1,71                        | 107,4                              | 0,045        |
| ID14 | <b>Dia da medição</b>   | <b>01/09/2010</b> | <b>1,30</b>                 | <b>63,8</b>                        | <b>0,037</b> |
|      | Dia da medição          | 01/09/2010        | 1,28                        | 53,6                               | 0,042        |
|      | Dia da maior vazão      | 29/12/2010        | 5,64                        | 824,6                              | 0,060        |
|      | Dia da menor vazão      | 28/09/2010        | 1,24                        | 48,0                               | 0,043        |
| ID15 | <b>Dia da medição</b>   | <b>09/07/2011</b> | <b>1,71</b>                 | <b>112,7</b>                       | <b>0,037</b> |
|      | Dia da medição          | 09/07/2011        | 1,71                        | 110,2                              | 0,037        |
|      | Dia da maior vazão      | 19/12/2011        | 6,46                        | 999,6                              | 0,070        |
|      | Dia da menor vazão      | 04/10/2011        | 1,32                        | 58,2                               | 0,035        |
| ID16 | <b>Dia da medição</b>   | <b>22/06/2012</b> | <b>1,87</b>                 | <b>138,4</b>                       | <b>0,045</b> |
|      | Dia da medição          | 22/06/2012        | 1,90                        | 140,3                              | 0,046        |
|      | Dia da maior vazão      | 06/01/2012        | 6,94                        | 1039,0                             | 0,083        |
|      | Dia da menor vazão      | 31/10/2012        | 1,36                        | 62,9                               | 0,051        |

Tabela 12 – Continuação - Coeficientes de rugosidade referentes à estação Fazenda Cachoeira D'Antas, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga” e os demais valores do arquivo “Vazões”.

|      | <b>Época de medição</b> | <b>Data</b>       | <b>Profundidade<br/>(m)</b> | <b>Vazão<br/>(m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>N</b>     |
|------|-------------------------|-------------------|-----------------------------|------------------------------------|--------------|
| ID17 | <b>Dia da medição</b>   | <b>28/08/2013</b> | <b>1,26</b>                 | <b>73,3</b>                        | <b>0,029</b> |
|      | Dia da medição          | 28/08/2013        | 1,26                        | 51,9                               | 0,042        |
|      | Dia da maior vazão      | 31/01/2013        | 4,08                        | 505,8                              | 0,060        |
|      | Dia da menor vazão      | 24/09/2013        | 1,12                        | 36,3                               | 0,048        |
| ID18 | <b>Dia da medição</b>   | <b>19/08/2014</b> | <b>1,03</b>                 | <b>61,1</b>                        | <b>0,023</b> |
|      | Dia da medição          | 19/08/2014        | 1,04                        | 27,0                               | 0,054        |
|      | Dia da maior vazão      | 30/11/2014        | 3,08                        | 324,8                              | 0,056        |
|      | Dia da menor vazão      | 27/09/2014        | 0,76                        | 5,5                                | 0,111        |

No arquivo de “Resumo de descarga” foi possível obter todas as larguras medidas nos perfis transversais, gerando uma média de (B) igual a 131,3 m. Já os valores de coeficientes equivalentes médios foram de 0,037 para o dia da medição, 0,040 para época de seca e 0,055 para época de chuva. Considerando então a Tabela 2, esse trecho do canal possui largura maior que 30 m, sendo assim um canal de grande porte com seções irregulares que apresenta uma variação de rugosidade de 0,035 a 0,100, tornando os valores deste trabalho satisfatórios.

## 5.2 Cachoeira dos Óculos

A estação de Cachoeira dos Óculos, de acordo com a ANA, encontra-se situada no município de Córrego Novo - MG. Segundo o IBGE, o município está inserido na mesorregião do Vale do Rio Doce e na microrregião de Caratinga, tendo a Mata Atlântica como seu bioma predominante.

Dessa estação estudaram-se 16 perfis transversais, desde o ano de 1990 até 2015. Porém, devido ao rompimento da barragem da Samarco, excluiu-se o ano de 2015, e o coeficiente de rugosidade equivalente foi calculado até o ano de 2014, como apresentado na Tabela 13 a seguir.

Tabela 13 - Coeficientes de rugosidade referentes à estação Cachoeira dos Óculos Montante, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga” e os demais valores do arquivo “Vazões”.

|      | <b>Época de medição</b> | <b>Data</b>       | <b>Profundidade (m)</b> | <b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>n</b>     |
|------|-------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------|
| ID01 | <b>Dia da medição</b>   | <b>22/06/1990</b> | <b>1,67</b>             | <b>107,0</b>                   | <b>0,038</b> |
|      | Dia da medição          | 22/06/1990        | 1,66                    | 100,0                          | 0,040        |
|      | Dia da maior vazão      | 18/02/1990        | 3,40                    | 355,0                          | 0,050        |
|      | Dia da menor vazão      | 19/10/1990        | 1,46                    | 81,5                           | 0,036        |
| ID02 | <b>Dia da medição</b>   | <b>27/07/1999</b> | <b>1,56</b>             | <b>90,6</b>                    | <b>0,044</b> |
|      | Dia da medição          | 27/07/1999        | 1,56                    | 90,6                           | 0,044        |
|      | Dia da maior vazão      | 29/11/1999        | 4,72                    | 548,1                          | 0,067        |
|      | Dia da menor vazão      | 18/10/1999        | 1,36                    | 73,0                           | 0,039        |
| ID03 | <b>Dia da medição</b>   | <b>07/10/2001</b> | <b>2,13</b>             | <b>147,7</b>                   | <b>0,046</b> |
|      | Dia da medição          | 07/10/2001        | 2,14                    | 147,8                          | 0,047        |
|      | Dia da maior vazão      | 05/01/2001        | 5,42                    | 794,2                          | 0,057        |
|      | Dia da menor vazão      | 12/09/2001        | 1,40                    | 76,7                           | 0,032        |
| ID04 | <b>Dia da medição</b>   | <b>07/08/2002</b> | <b>1,79</b>             | <b>106,6</b>                   | <b>0,051</b> |
|      | Dia da medição          | 07/08/2002        | 1,80                    | 115,0                          | 0,048        |
|      | Dia da maior vazão      | 19/02/2002        | 5,56                    | 839,2                          | 0,059        |
|      | Dia da menor vazão      | 16/10/2002        | 1,60                    | 86,3                           | 0,049        |
| ID05 | <b>Dia da medição</b>   | <b>06/08/2003</b> | <b>1,77</b>             | <b>103,3</b>                   | <b>0,043</b> |
|      | Dia da medição          | 06/08/2003        | 1,78                    | 111,5                          | 0,040        |
|      | Dia da maior vazão      | 18/01/2003        | 7,30                    | 1474,5                         | 0,050        |
|      | Dia da menor vazão      | 01/11/2003        | 1,63                    | 96,5                           | 0,037        |
| ID06 | <b>Dia da medição</b>   | <b>28/08/2004</b> | <b>2,03</b>             | <b>130,4</b>                   | <b>0,049</b> |
|      | Dia da medição          | 28/08/2004        | 2,03                    | 137,2                          | 0,047        |
|      | Dia da maior vazão      | 13/01/2004        | 6,02                    | 1003,4                         | 0,055        |
|      | Dia da menor vazão      | 18/07/2004        | 1,74                    | 106,5                          | 0,042        |
| ID07 | <b>Dia da medição</b>   | <b>03/08/2005</b> | <b>2,03</b>             | <b>138,4</b>                   | <b>0,048</b> |
|      | Dia da medição          | 03/08/2005        | 2,01                    | 133,3                          | 0,049        |
|      | Dia da maior vazão      | 06/03/2005        | 7,64                    | 1650,9                         | 0,048        |
|      | Dia da menor vazão      | 24/10/2005        | 1,72                    | 105,5                          | 0,043        |



Tabela 13 – Continuação - Coeficientes de rugosidade referentes à estação Cachoeira dos Óculos Montante, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga” e os demais valores do arquivo “Vazões”.

|      |                       |                   |             |              |              |
|------|-----------------------|-------------------|-------------|--------------|--------------|
|      | <b>Dia da medição</b> | <b>03/06/2007</b> | <b>2,25</b> | <b>160,4</b> | <b>0,053</b> |
| ID08 | Dia da medição        | 03/06/2007        | 2,25        | 173,5        | 0,049        |
|      | Dia da maior vazão    | 12/01/2007        | 6,12        | 1084,6       | 0,055        |
|      | Dia da menor vazão    | 18/10/2007        | 1,66        | 91,1         | 0,047        |
|      | <b>Dia da medição</b> | <b>29/08/2008</b> | <b>1,71</b> | <b>84,9</b>  | <b>0,040</b> |
| ID09 | Dia da medição        | 29/08/2008        | 1,71        | 96,8         | 0,035        |
|      | Dia da maior vazão    | 19/12/2008        | 8,82        | 2017,3       | 0,050        |
|      | Dia da menor vazão    | 12/09/2008        | 1,67        | 92,2         | 0,034        |
|      | <b>Dia da medição</b> | <b>23/08/2010</b> | <b>1,77</b> | <b>75,4</b>  | <b>0,061</b> |
| ID10 | Dia da medição        | 23/08/2010        | 1,77        | 105,1        | 0,044        |
|      | Dia da maior vazão    | 29/12/2010        | 6,99        | 1384,3       | 0,052        |
|      | Dia da menor vazão    | 27/09/2010        | 1,67        | 92,2         | 0,043        |
|      | <b>Dia da medição</b> | <b>01/08/2011</b> | <b>2,00</b> | <b>124,8</b> | <b>0,054</b> |
| ID11 | Dia da medição        | 01/08/2011        | 2,00        | 132,4        | 0,050        |
|      | Dia da maior vazão    | 01/01/2011        | 6,38        | 1186,3       | 0,053        |
|      | Dia da menor vazão    | 04/10/2011        | 1,75        | 101,5        | 0,049        |
|      | <b>Dia da medição</b> | <b>27/06/2012</b> | <b>2,18</b> | <b>172,8</b> | <b>0,052</b> |
| ID12 | Dia da medição        | 27/06/2012        | 2,18        | 159,7        | 0,056        |
|      | Dia da maior vazão    | 05/01/2012        | 9,00        | 2143,8       | 0,052        |
|      | Dia da menor vazão    | 20/09/2012        | 1,61        | 85,5         | 0,055        |
|      | <b>Dia da medição</b> | <b>15/05/2013</b> | <b>2,05</b> | <b>132,0</b> | <b>0,048</b> |
| ID13 | Dia da medição        | 15/05/2013        | 2,05        | 139,2        | 0,045        |
|      | Dia da maior vazão    | 01/02/2013        | 4,97        | 690,5        | 0,056        |
|      | Dia da menor vazão    | 27/09/2013        | 1,60        | 85,0         | 0,041        |
|      | <b>Dia da medição</b> | <b>17/12/2014</b> | <b>2,59</b> | <b>204,2</b> | <b>0,040</b> |
| ID14 | Dia da medição        | 17/12/2014        | 2,74        | 260,7        | 0,036        |
|      | Dia da maior vazão    | 30/11/2014        | 4,14        | 549,1        | 0,040        |
|      | Dia da menor vazão    | 19/10/2014        | 1,23        | 49,0         | 0,014        |

A média de todas as larguras dessa estação resultou em um (B) igual a 137,23 m e os coeficientes de rugosidade equivalentes médios foram de 0,040, 0,035 e 0,047, para o dia de

medição, época de seca e época de chuva respectivamente. Resultados também satisfatórios, pois, de acordo com a Tabela 2, esse trecho classifica-se como canal de grande porte com seção irregular, no qual apresenta um intervalo de coeficiente de rugosidade de 0,032 a 0,100.

### 5.3 Belo Oriente

Encontra-se localizada no próprio município de Belo Oriente – MG – que de acordo com o Instituto de Geociências Aplicadas (IGA), possui 65% de seu território com predomínio de mares de morros, 20% por áreas onduladas e 15% lugares planos.

Da estação de Belo Oriente estudaram-se 15 perfis transversais, excluindo-se o ano de 2015 devido ao rompimento da barragem de Mariana. Os coeficientes calculados encontram-se apresentados na Tabela 14 a seguir.

Tabela 14 - Coeficientes de rugosidade referentes à estação Belo Oriente, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga” e os demais valores do arquivo “Vazões”.

|      | <b>Época de medição</b> | <b>Data</b>       | <b>Profundidade<br/>(m)</b> | <b>Vazão<br/>(m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>n</b>     |
|------|-------------------------|-------------------|-----------------------------|------------------------------------|--------------|
| ID01 | <b>Dia da medição</b>   | <b>29/08/1993</b> | <b>0,84</b>                 | <b>262,0</b>                       | <b>0,030</b> |
|      | Dia da medição          | 29/08/1993        | 0,84                        | 184,0                              | 0,043        |
|      | Dia da maior vazão      | 23/01/1993        | 3,35                        | 1145,4                             | 0,047        |
|      | Dia da menor vazão      | 30/08/1993        | 0,81                        | 180,0                              | 0,042        |
| ID02 | <b>Dia da medição</b>   | <b>30/09/1999</b> | <b>0,41</b>                 | <b>105,0</b>                       | <b>0,030</b> |
|      | Dia da medição          | 30/09/1999        | 0,38                        | 100,8                              | 0,030        |
|      | Dia da maior vazão      | 30/11/1999        | 3,33                        | 1073,3                             | 0,045        |
|      | Dia da menor vazão      | 16/10/1999        | 0,32                        | 91,2                               | 0,027        |
| ID03 | <b>Dia da medição</b>   | <b>16/06/2001</b> | <b>0,69</b>                 | <b>139,0</b>                       | <b>0,032</b> |
|      | Dia da medição          | 16/06/2001        | 0,68                        | 132,6                              | 0,033        |
|      | Dia da maior vazão      | 05/01/2001        | 3,81                        | 1267,2                             | 0,045        |
|      | Dia da menor vazão      | 14/09/2001        | 0,49                        | 101,5                              | 0,029        |

Tabela 14 – Continuação - Coeficientes de rugosidade referentes à estação Belo Oriente, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga” e os demais valores do arquivo “Vazões”.

|      | <b>Época de medição</b> | <b>Data</b>       | <b>Profundidade<br/>(m)</b> | <b>Vazão<br/>(m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>n</b>     |
|------|-------------------------|-------------------|-----------------------------|------------------------------------|--------------|
| ID04 | <b>Dia da medição</b>   | <b>31/07/2002</b> | <b>0,86</b>                 | <b>159,2</b>                       | <b>0,051</b> |
|      | Dia da medição          | 31/07/2002        | 0,88                        | 170,0                              | 0,048        |
|      | Dia da maior vazão      | 19/02/2002        | 4,35                        | 1579,5                             | 0,048        |
|      | Dia da menor vazão      | 21/10/2002        | 0,64                        | 125,8                              | 0,453        |
| ID05 | <b>Dia da medição</b>   | <b>05/05/2003</b> | <b>1,24</b>                 | <b>240,7</b>                       | <b>0,061</b> |
|      | Dia da medição          | 05/05/2003        | 1,24                        | 244,0                              | 0,60         |
|      | Dia da maior vazão      | 18/01/2003        | 6,12                        | 2862,6                             | 0,042        |
|      | Dia da menor vazão      | 23/10/2003        | 0,70                        | 134,3                              | 0,060        |
| ID06 | <b>Dia da medição</b>   | <b>24/08/2004</b> | <b>1,01</b>                 | <b>188,2</b>                       | <b>0,046</b> |
|      | Dia da medição          | 24/08/2004        | 1,03                        | 201,3                              | 0,044        |
|      | Dia da maior vazão      | 14/01/2004        | 4,57                        | 1647,8                             | 0,048        |
|      | Dia da menor vazão      | 01/10/2004        | 0,82                        | 156,0                              | 0,043        |
| ID07 | <b>Dia da medição</b>   | <b>13/07/2005</b> | <b>1,32</b>                 | <b>268,3</b>                       | <b>0,064</b> |
|      | Dia da medição          | 13/07/2005        | 1,31                        | 272,7                              | 0,063        |
|      | Dia da maior vazão      | 19/01/2005        | 4,03                        | 1339,6                             | 0,055        |
|      | Dia da menor vazão      | 23/10/2005        | 0,88                        | 168,0                              | 0,067        |
| ID08 | <b>Dia da medição</b>   | <b>17/10/2006</b> | <b>1,20</b>                 | <b>288,2</b>                       | <b>0,039</b> |
|      | Dia da medição          | 17/10/2006        | 1,20                        | 233,1                              | 0,049        |
|      | Dia da maior vazão      | 30/12/2006        | 3,85                        | 1352,6                             | 0,045        |
|      | Dia da menor vazão      | 19/09/2006        | 0,60                        | 117,4                              | 0,042        |
| ID09 | <b>Dia da medição</b>   | <b>22/05/2007</b> | <b>1,27</b>                 | <b>240,3</b>                       | <b>0,062</b> |
|      | Dia da medição          | 22/05/2007        | 1,27                        | 255,0                              | 0,058        |
|      | Dia da maior vazão      | 13/01/2007        | 4,16                        | 1499,0                             | 0,049        |
|      | Dia da menor vazão      | 17/10/2007        | 0,69                        | 131,4                              | 0,059        |
| ID10 | <b>Dia da medição</b>   | <b>14/08/2008</b> | <b>0,60</b>                 | <b>135,2</b>                       | <b>0,056</b> |
|      | Dia da medição          | 14/08/2008        | 0,60                        | 116,6                              | 0,065        |
|      | Dia da maior vazão      | 20/12/2008        | 6,50                        | 3298,0                             | 0,043        |
|      | Dia da menor vazão      | 15/09/2008        | 0,52                        | 105,9                              | 0,064        |

Tabela 14 – Continuação - Coeficientes de rugosidade referentes à estação Belo Oriente, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga” e os demais valores do arquivo “Vazões”.

|      | <b>Época de medição</b> | <b>Data</b>       | <b>Profundidade (m)</b> | <b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>n</b>     |
|------|-------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------|
| ID11 | <b>Dia da medição</b>   | <b>01/11/2009</b> | <b>2,36</b>             | <b>606,5</b>                   | <b>0,049</b> |
|      | Dia da medição          | 01/11/2009        | 2,39                    | 627,4                          | 0,048        |
|      | Dia da maior vazão      | 07/01/2009        | 5,66                    | 2506,9                         | 0,042        |
|      | Dia da menor vazão      | 21/09/2009        | 0,98                    | 176,8                          | 0,050        |
| ID12 | <b>Dia da medição</b>   | <b>19/08/2010</b> | <b>0,68</b>             | <b>134,0</b>                   | <b>0,049</b> |
|      | Dia da medição          | 19/08/2010        | 0,68                    | 129,7                          | 0,051        |
|      | Dia da maior vazão      | 30/12/2010        | 4,78                    | 1929,2                         | 0,046        |
|      | Dia da menor vazão      | 29/09/2010        | 0,54                    | 108,7                          | 0,048        |
| ID13 | <b>Dia da medição</b>   | <b>20/07/2011</b> | <b>0,93</b>             | <b>177,4</b>                   | <b>0,064</b> |
|      | Dia da medição          | 20/07/2011        | 0,93                    | 174,8                          | 0,065        |
|      | Dia da maior vazão      | 21/12/2011        | 5,87                    | 2634,0                         | 0,046        |
|      | Dia da menor vazão      | 05/10/2011        | 0,69                    | 130,5                          | 0,0657       |
| ID14 | <b>Dia da medição</b>   | <b>25/08/2014</b> | <b>0,37</b>             | <b>98,1</b>                    | <b>0,037</b> |
|      | Dia da medição          | 25/08/2014        | 0,36                    | 85,4                           | 0,042        |
|      | Dia da maior vazão      | 01/12/2014        | 2,65                    | 703,2                          | 0,052        |
|      | Dia da menor vazão      | 18/10/2014        | 0,12                    | 53,9                           | 0,035        |

Para essa estação, é importante ressaltar a exclusão da rugosidade calculada no registro de ID04 para o período de seca, pois apresentou um resultado muito discrepante em relação aos demais valores, e uma vez incluído na média final, acabaria superestimando o resultado final.

O trecho da estação Belo Oriente, segundo a Tabela 2, também se classificou como canal de grande porte com seção irregular, pois a média da largura do canal foi de 235 m. Os coeficientes de rugosidade equivalentes médios para o trecho foram de 0,046 para o dia de medição, 0,042 para o período de seca e de 0,044 para o período chuvoso, valores satisfatórios de acordo com a variação de 0,035 a 0,1 (Tabela 2).

## 5.4 Governador Valadares

Esta estação encontra-se na cidade de Governador Valadares – MG – e apresentou o coeficiente de rugosidade distante dos demais resultados do rio Doce, atingindo valores médios da ordem de 0,070, 0,083 e 0,032 – dia da medição, período de seca e chuvoso respectivamente. Para a estação de Governador Valadares estudaram-se 10 perfis transversais desde o ano de 1990 a 2015, também se excluindo o ano de 2015 devido ao rompimento da barragem de Fundão. Os coeficientes de rugosidade calculados encontram-se na Tabela 15 a seguir. Para explicar essa diferença, tomou-se por base um estudo realizado pelo Serviço Geológico do Brasil, pelo IGAM e pela ANA (2004).

Esse estudo fez um monitoramento do nível do rio Doce e um levantamento topobatimétrico de seções transversais dividindo trechos que banham Governador Valadares e aplicou-se o “*Standard Step Method*” para validação do modelo hidráulico, sendo utilizado o *software* HecRas. A princípio, atingiram-se altos valores de rugosidade, da ordem de 0,100, entretanto, após a realização das calibrações necessárias, atingiram-se valores satisfatórios apresentados na Tabela 16, os quais estão no intervalo de 0,030 a 0,080, sendo o intervalo variável de acordo com a estação. É interessante ressaltar também que o estudo representou suas seções transversais, uma delas apresentada na Figura 15, que se aproximou bastante do resultado obtido neste trabalho na seção transversal do ano de 2012, apresentada na Figura 16.

Tabela 15 - Coeficientes de rugosidade referentes à estação Governador Valadares, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga” e os demais valores do arquivo “Vazões”.

|      | <b>Época de medição</b> | <b>Data</b>       | <b>Profundidade (m)</b> | <b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>n</b>     |
|------|-------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------|
|      | <b>Dia da medição</b>   | <b>06/11/1990</b> | <b>Não existe</b>       | <b>Não existe</b>              | <b>-</b>     |
| ID01 | Dia da medição          | 06/11/1990        | 1,54                    | 335,0                          | 0,088        |
|      | Dia da maior vazão      | 03/01/1990        | 2,52                    | 1018,0                         | 0,052        |
|      | Dia da menor vazão      | 16/10/1990        | 1,12                    | 178,0                          | 0,118        |
|      | <b>Dia da medição</b>   | <b>20/03/1996</b> | <b>1,56</b>             | <b>382,0</b>                   | <b>0,062</b> |
| ID02 | Dia da medição          | 20/03/1996        | 1,57                    | 370,0                          | 0,065        |
|      | Dia da maior vazão      | 24/11/1996        | 4,20                    | 2974,0                         | 0,031        |
|      | Dia da menor vazão      | 21/08/1996        | 1,18                    | 200,0                          | 0,084        |

Tabela 15 – Continuação - Coeficientes de rugosidade referentes à estação Governador Valadares, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga” e os demais valores do arquivo “Vazões”.

|      | <b>Época de medição</b> | <b>Data</b>       | <b>Profundidade (m)</b> | <b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>n</b>     |
|------|-------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------|
| ID03 | <b>Dia da medição</b>   | <b>30/06/1998</b> | <b>1,44</b>             | <b>165,0</b>                   | <b>0,066</b> |
|      | Dia da medição          | 30/06/1998        | 1,44                    | 303,0                          | 0,058        |
|      | Dia da maior vazão      | 20/02/1998        | 3,56                    | 2143,0                         | 0,031        |
|      | Dia da menor vazão      | 29/09/1998        | 1,17                    | 197,0                          | 0,067        |
| ID04 | <b>Dia da medição</b>   | <b>22/06/1999</b> | <b>1,33</b>             | <b>253,0</b>                   | <b>0,071</b> |
|      | Dia da medição          | 22/06/1999        | 1,31                    | 252,2                          | 0,069        |
|      | Dia da maior vazão      | 05/01/1999        | 3,10                    | 1610,5                         | 0,037        |
|      | Dia da menor vazão      | 18/10/1999        | 1,10                    | 166,5                          | 0,084        |
| ID05 | <b>Dia da medição</b>   | <b>29/09/2001</b> | <b>1,25</b>             | <b>227,5</b>                   | <b>0,090</b> |
|      | Dia da medição          | 29/09/2001        | 1,25                    | 230,0                          | 0,089        |
|      | Dia da maior vazão      | 31/12/2001        | 3,57                    | 2047,6                         | 0,039        |
|      | Dia da menor vazão      | 18/07/2001        | 1,06                    | 156,0                          | 0,109        |
| ID06 | <b>Dia da medição</b>   | <b>29/07/2002</b> | <b>1,42</b>             | <b>280,2</b>                   | <b>0,085</b> |
|      | Dia da medição          | 29/07/2002        | 1,42                    | 296,8                          | 0,080        |
|      | Dia da maior vazão      | 02/01/2002        | 4,24                    | 2707,8                         | 0,034        |
|      | Dia da menor vazão      | 24/10/2002        | 1,19                    | 202,3                          | 0,096        |
| ID07 | <b>Dia da medição</b>   | <b>13/08/2003</b> | <b>1,32</b>             | <b>228,8</b>                   | <b>0,096</b> |
|      | Dia da medição          | 13/08/2003        | 1,32                    | 260,6                          | 0,084        |
|      | Dia da maior vazão      | 19/01/2003        | 4,82                    | 3849,4                         | 0,028        |
|      | Dia da menor vazão      | 23/10/2003        | 1,25                    | 226,0                          | 0,091        |
| ID08 | <b>Dia da medição</b>   | <b>08/09/2004</b> | <b>1,42</b>             | <b>274,7</b>                   | <b>0,086</b> |
|      | Dia da medição          | 08/09/2004        | 1,44                    | 312,5                          | 0,077        |
|      | Dia da maior vazão      | 17/01/2004        | 3,81                    | 2395,9                         | 0,035        |
|      | Dia da menor vazão      | 26/10/2004        | 1,35                    | 269,0                          | 0,083        |
| ID09 | <b>Dia da medição</b>   | <b>17/06/2012</b> | <b>1,71</b>             | <b>418,7</b>                   | <b>0,076</b> |
|      | Dia da medição          | 17/06/2012        | 1,71                    | 441,8                          | 0,072        |
|      | Dia da maior vazão      | 06/01/2012        | 5,69                    | 5136,3                         | *            |
|      | Dia da menor vazão      | 25/09/2012        | 1,30                    | 222,6                          | 0,104        |

\* A altura foi maior que a profundidade do canal.

Tabela 16 - Características das seções transversais utilizadas no modelo hidráulico. Fonte: Relatório Técnico Final sobre a Definição da Planície de Inundação da Cidade de Governador Valadares.

| <b>Estação</b> | <b>Rugosidade</b> |
|----------------|-------------------|
| 1              | 0,04 a 0,08       |
| 1F             | 0,04 a 0,08       |
| 2              | 0,04 a 0,08       |
| 3M             | 0,04 a 0,06       |
| 3P             | 0,04 a 0,06       |
| 3J             | 0,04 a 0,06       |
| 4              | 0,04 a 0,07       |
| 5              | 0,04 a 0,07       |
| 6              | 0,04 a 0,07       |
| 7M             | 0,04 a 0,07       |
| 7P             | 0,04 a 0,07       |
| 7J             | 0,04 a 0,07       |
| 8              | 0,04 a 0,07       |
| 8F             | 0,04 a 0,07       |
| 9F             | 0,04 a 0,07       |
| 9              | 0,04 a 0,07       |
| 10F            | 0,04 a 0,08       |
| 10             | 0,04 a 0,08       |
| 11             | 0,04 a 0,06       |
| 12             | 0,03 a 0,06       |

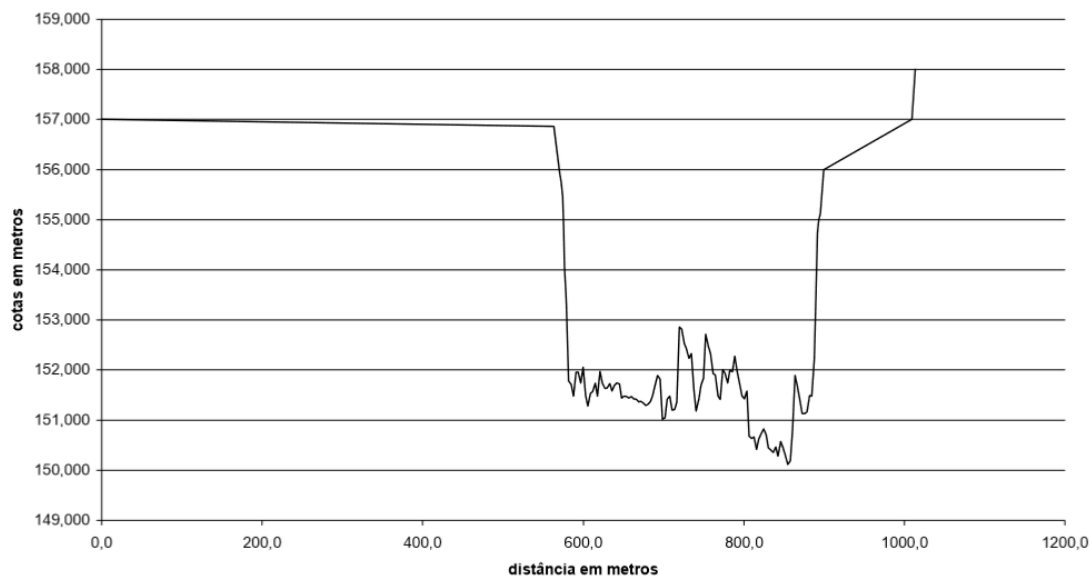


Figura 15 - Seção Transversal nº 3 do rio Doce em Governador Valadares. Fonte: Relatório Técnico Final sobre a Definição da Planície de Inundação da Cidade de Governador Valadares.

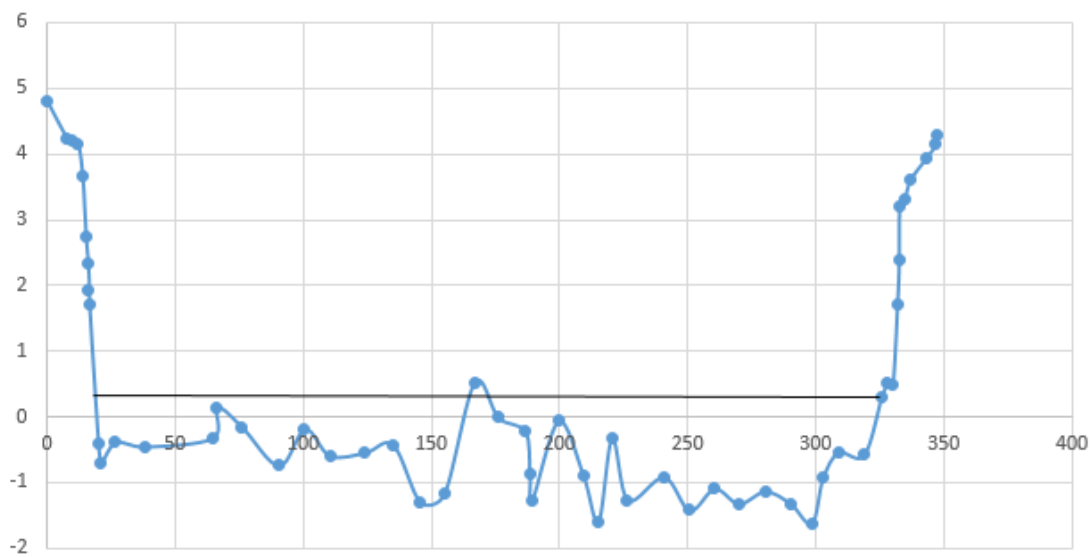


Figura 16 - Perfil transversal da estação de Governador Valadares para a data de 17 de junho de 2012.

## 5.5 Tumiritinga

Segundo a ANA, a estação Tumiritinga pertence ao município de Galiléia – MG. Nessa estação estudaram-se sete perfis transversais, sendo que todos os perfis apresentaram pouca



uniformidade em suas bases. Os valores de rugosidade encontram-se apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Coeficientes de rugosidade referentes à estação Tumiritinga, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga” e os demais valores do arquivo “Vazões”.

|      | <b>Época de medição</b> | <b>Data</b>       | <b>Profundidade<br/>(m)</b> | <b>Vazão<br/>(m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>n</b>     |
|------|-------------------------|-------------------|-----------------------------|------------------------------------|--------------|
| ID01 | <b>Dia da medição</b>   | <b>13/11/1990</b> | <b>1,14</b>                 | <b>420,0</b>                       | <b>0,049</b> |
|      | Dia da medição          | 13/11/1990        | 1,15                        | 411,5                              | 0,050        |
|      | Dia da maior vazão      | 04/01/1990        | 2,54                        | 1099,9                             | 0,052        |
|      | Dia da menor vazão      | 17/10/1990        | 0,67                        | 235,8                              | 0,050        |
| ID02 | <b>Dia da medição</b>   | <b>23/03/1996</b> | <b>1,22</b>                 | <b>445,0</b>                       | <b>0,038</b> |
|      | Dia da medição          | 23/03/1996        | 1,21                        | 436,4                              | 0,039        |
|      | Dia da maior vazão      | 25/11/1996        | 5,11                        | 3276,9                             | 0,045        |
|      | Dia da menor vazão      | 29/08/1996        | 0,70                        | 245,6                              | 0,034        |
| ID03 | <b>Dia da medição</b>   | <b>10/11/2011</b> | <b>1,14</b>                 | <b>349,7</b>                       | <b>0,069</b> |
|      | Dia da medição          | 10/11/2011        | 1,14                        | 382,1                              | 0,063        |
|      | Dia da maior vazão      | 01/01/2011        | 5,50                        | 3576,6                             | 0,051        |
|      | Dia da menor vazão      | 02/10/2011        | 0,74                        | 238,9                              | 0,067        |
| ID04 | <b>Dia da medição</b>   | <b>18/06/2012</b> | <b>1,42</b>                 | <b>439,7</b>                       | <b>0,048</b> |
|      | Dia da medição          | 18/06/2012        | 1,42                        | 499,8                              | 0,042        |
|      | Dia da maior vazão      | 07/01/2012        | 6,90                        | 5780,2                             | 0,041        |
|      | Dia da menor vazão      | 10/10/2012        | 0,82                        | 261,8                              | 0,041        |
| ID05 | <b>Dia da medição</b>   | <b>07/05/2013</b> | <b>1,14</b>                 | <b>349,0</b>                       | <b>0,049</b> |
|      | Dia da medição          | 07/05/2013        | 1,14                        | 382,1                              | 0,044        |
|      | Dia da maior vazão      | 24/12/2013        | 5,90                        | 4298,7                             | 0,044        |
|      | Dia da menor vazão      | 02/09/2013        | 0,64                        | 207,8                              | 0,044        |
| ID06 | <b>Dia da medição</b>   | <b>03/12/2014</b> | <b>2,26</b>                 | <b>886,2</b>                       | <b>0,056</b> |
|      | Dia da medição          | 03/12/2014        | 2,30                        | 947,2                              | 0,054        |
|      | Dia da maior vazão      | 01/01/2014        | 2,80                        | 1217,7                             | 0,055        |
|      | Dia da menor vazão      | 19/10/2014        | 0,36                        | 128,9                              | 0,060        |

Os coeficientes médios de rugosidade dessa estação foram 0,051 para o dia da medição, 0,52 para época de seca e 0,049 para o período chuvoso, e a largura média do curso foi de

369,52 m, apresentando resultados satisfatórios de acordo com a Tabela 2, com variação do coeficiente de rugosidade de 0,035 a 0,100.

## 5.6 Resplendor

Essa estação encontra-se no município de Resplendor – MG, que possui 50% do território montanhoso, 30% coberto por mares de morros e 20% aplainado. Estudaram-se sete perfis transversais desde o ano de 1990 a 2004.

Apesar do curso do rio Doce nesse trecho apresentar poucos meandros, esse mostrou-se com fundo irregular em todas as medições, e os coeficientes de rugosidade médios encontrados foram 0,046, 0,049 e 0,033 – valores para o dia de medição, período de seca e chuvoso respectivamente (Tabela 18). Então, também se considera esses resultados satisfatórios de acordo com a Tabela 2, pois a largura média calculada foi de (B) igual a 247,04 m, classificando o trecho do canal como de grande porte, que estipula a rugosidade entre os valores médios de 0,035 a 0,10.

Tabela 18 - Coeficientes de rugosidade referentes à estação Resplendor, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga” e os demais valores do arquivo “Vazões”.

|      | Época de medição      | Data              | Profundidade (m) | Vazão (m <sup>3</sup> /s) | n            |
|------|-----------------------|-------------------|------------------|---------------------------|--------------|
| ID01 | <b>Dia da medição</b> | <b>15/11/1990</b> | <b>0,55</b>      | <b>114,0</b>              | <b>0,028</b> |
|      | Dia da medição        | 15/11/1990        | 1,51             | 340,0                     | 0,038        |
|      | Dia da maior vazão    | 09/11/1990        | 2,51             | 830,0                     | 0,036        |
|      | Dia da menor vazão    | 18/10/1990        | 1,03             | 196,0                     | 0,036        |
| ID02 | <b>Dia da medição</b> | <b>06/07/1998</b> | <b>1,47</b>      | <b>306,0</b>              | <b>0,058</b> |
|      | Dia da medição        | 06/07/1998        | 1,46             | 336,0                     | 0,052        |
|      | Dia da maior vazão    | 21/02/1998        | 4,46             | 2348,0                    | 0,034        |
|      | Dia da menor vazão    | 01/10/1998        | 1,14             | 228,0                     | 0,058        |
| ID03 | <b>Dia da medição</b> | <b>27/06/1999</b> | <b>1,27</b>      | <b>259,0</b>              | <b>0,055</b> |
|      | Dia da medição        | 27/06/1999        | 1,26             | 266,8                     | 0,053        |
|      | Dia da maior vazão    | 06/01/1999        | 4,04             | 1991,9                    | 0,034        |
|      | Dia da menor vazão    | 19/10/1999        | 0,98             | 179,9                     | 0,060        |

Tabela 18 – Continuação – Coeficientes de rugosidade referentes à estação Resplendor, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga” e os demais valores do arquivo “Vazões”.

|      | <b>Época de medição</b> | <b>Data</b>       | <b>Profundidade (m)</b> | <b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>n</b>     |
|------|-------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------|
| ID04 | <b>Dia da medição</b>   | <b>05/10/2001</b> | <b>1,22</b>             | <b>248,0</b>                   | <b>0,046</b> |
|      | Dia da medição          | 05/10/2001        | 1,22                    | 253,6                          | 0,045        |
|      | Dia da maior vazão      | 22/11/2001        | 4,18                    | 2123,5                         | 0,034        |
|      | Dia da menor vazão      | 13/09/2001        | 0,92                    | 159,7                          | 0,049        |
| ID05 | <b>Dia da medição</b>   | <b>10/08/2002</b> | <b>1,37</b>             | <b>328,1</b>                   | <b>0,040</b> |
|      | Dia da medição          | 10/08/2002        | 1,37                    | 302,1                          | 0,044        |
|      | Dia da maior vazão      | 02/01/2002        | 5,49                    | 3478,6                         | 0,032        |
|      | Dia da menor vazão      | 28/10/2002        | 1,14                    | 228,4                          | 0,044        |
| ID06 | <b>Dia da medição</b>   | <b>04/08/2003</b> | <b>1,42</b>             | <b>304,1</b>                   | <b>0,043</b> |
|      | Dia da medição          | 04/08/2003        | 1,42                    | 321,4                          | 0,041        |
|      | Dia da maior vazão      | 19/01/2003        | 6,65                    | 5088,0                         | 0,026        |
|      | Dia da menor vazão      | 23/10/2003        | 1,15                    | 230,0                          | 0,042        |
| ID07 | <b>Dia da medição</b>   | <b>09/09/2004</b> | <b>1,46</b>             | <b>338,6</b>                   | <b>0,053</b> |
|      | Dia da medição          | 09/09/2004        | 1,46                    | Não existe                     | -            |
|      | Dia da maior vazão      | 17/01/2004        | 5,18                    | 3161,5                         | 0,034        |
|      | Dia da menor vazão      | 04/10/2004        | 1,33                    | 288,5                          | 0,056        |

## 5.7 UHE Mascarenhas

Segundo a ANA, essa estação pertence ao município de Colatina – ES. Com os dados disponibilizados pelo HidroWeb só foi possível o estudo de um perfil transversal, analisando-se assim, apenas a vazão do dia de medição.

Através do *Google Earth Pro* é possível observar que o curso do rio Doce neste trecho, possui pouquíssimas curvas e algumas ramificações próximas a essa estação de UHE Mascarenhas.

Esse trecho apresentou-se como o curso d'água mais fundo de todas as estações, e no qual o coeficiente de rugosidade equivalente foi de 0,058, como está apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 - Coeficientes de rugosidade referentes à estação UHE Mascarenhas, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga”.

|      | <b>Época de medição</b> | <b>Data</b>       | <b>Profundidade (m)</b> | <b>Vazão (m³/s)</b> | <b>n</b>     |
|------|-------------------------|-------------------|-------------------------|---------------------|--------------|
|      | <b>Dia da medição</b>   | <b>29/03/2012</b> | <b>3,43</b>             | <b>1174,1</b>       | <b>0,058</b> |
|      | Dia da medição          | 29/03/2012        | 3,28                    | Não existe          | -            |
| ID01 | Dia da maior vazão      | -                 | -                       | Não existe          | -            |
|      | Dia da menor vazão      | -                 | -                       | Não existe          | -            |

Esse trecho do rio Doce também apresentou seção irregular e uma largura (B) de 99,66 m, enquadrando-se na Tabela 2 como canal de grande porte com coeficiente de rugosidade de 0,035 a 0,10, comprovando assim, o resultado deste estudo como satisfatório.

## 5.8 Colatina

Essa estação está localizada no próprio município de Colatina – ES. Estudaram-se 17 perfis transversais, sendo todos apresentaram irregularidades em suas bases. Os coeficientes de rugosidade médios encontrados (Tabela 20) foram os valores mais baixos de todo o rio Doce, sendo 0,026 para o dia da medição; 0,029 para o período de seca e 0,031 para o período chuvoso. Coutinho (2015) também apresentou valores de rugosidade menores, da ordem de 0,020, para o trecho do rio Doce em Colatina.

Tabela 20 - Coeficientes de rugosidade referentes à estação Colatina, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga” e os demais valores do arquivo “Vazões”.

|      | <b>Época de medição</b> | <b>Data</b>       | <b>Profundidade (m)</b> | <b>Vazão (m³/s)</b> | <b>n</b>     |
|------|-------------------------|-------------------|-------------------------|---------------------|--------------|
|      | <b>Dia da medição</b>   | <b>14/11/1990</b> | <b>1,52</b>             | <b>496,0</b>        | <b>0,028</b> |
|      | Dia da medição          | 14/11/1990        | 1,46                    | 479,2               | 0,027        |
| ID01 | Dia da maior vazão      | 05/01/1990        | 2,78                    | 1280,0              | 0,036        |
|      | Dia da menor vazão      | 08/08/1990        | 1,01                    | 226,9               | 0,025        |

Tabela 20 – Continuação – Coeficientes de rugosidade referentes à estação Colatina, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga” e os demais valores do arquivo “Vazões”.

|      | <b>Época de medição</b> | <b>Data</b>       | <b>Profundidade<br/>(m)</b> | <b>Vazão<br/>(m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>n</b>     |
|------|-------------------------|-------------------|-----------------------------|------------------------------------|--------------|
| ID02 | <b>Dia da medição</b>   | <b>11/10/1994</b> | <b>1,10</b>                 | <b>357,0</b>                       | <b>0,023</b> |
|      | Dia da medição          | 11/10/1994        | 1,16                        | 315,6                              | 0,029        |
|      | Dia da maior vazão      | 06/01/1994        | 4,50                        | 3693,0                             | 0,031        |
|      | Dia da menor vazão      | 07/10/1994        | 1,12                        | 286,8                              | 0,029        |
| ID03 | <b>Dia da medição</b>   | <b>01/06/1995</b> | <b>1,52</b>                 | <b>388,0</b>                       | <b>0,026</b> |
|      | Dia da medição          | 01/06/1995        | 1,24                        | 392,2                              | 0,018        |
|      | Dia da maior vazão      | 30/12/1995        | 5,78                        | 5282,0                             | 0,026        |
|      | Dia da menor vazão      | 22/09/1995        | 1,00                        | 190,6                              | 0,027        |
| ID04 | <b>Dia da medição</b>   | <b>08/07/1998</b> | <b>1,31</b>                 | <b>457,0</b>                       | <b>0,019</b> |
|      | Dia da medição          | 08/07/1998        | 1,32                        | 443,7                              | 0,020        |
|      | Dia da maior vazão      | 21/02/1998        | 4,04                        | 2972,0                             | 0,030        |
|      | Dia da menor vazão      | 06/10/1998        | 1,06                        | 282,0                              | 0,018        |
| ID05 | <b>Dia da medição</b>   | <b>03/10/1999</b> | <b>0,92</b>                 | <b>224,0</b>                       | <b>0,027</b> |
|      | Dia da medição          | 03/10/1999        | 0,94                        | 227,0                              | 0,028        |
|      | Dia da maior vazão      | 08/12/1999        | 4,36                        | 3176,0                             | 0,034        |
|      | Dia da menor vazão      | 13/10/1999        | 0,92                        | 219,0                              | 0,028        |
| ID06 | <b>Dia da medição</b>   | <b>24/06/2001</b> | <b>0,97</b>                 | <b>265,1</b>                       | <b>0,030</b> |
|      | Dia da medição          | 24/06/2001        | 0,99                        | 249,1                              | 0,033        |
|      | Dia da maior vazão      | 21/11/2001        | 4,32                        | 3244,5                             | 0,035        |
|      | Dia da menor vazão      | 29/08/2001        | 0,87                        | 175,0                              | 0,036        |
| ID07 | <b>Dia da medição</b>   | <b>03/08/2002</b> | <b>1,16</b>                 | <b>427,1</b>                       | <b>0,035</b> |
|      | Dia da medição          | 03/08/2002        | 1,16                        | 355,7                              | 0,042        |
|      | Dia da maior vazão      | 03/01/2002        | 5,34                        | 4518,5                             | 0,038        |
|      | Dia da menor vazão      | 31/10/2002        | 1,00                        | 267,9                              | 0,045        |
| ID08 | <b>Dia da medição</b>   | <b>12/08/2003</b> | <b>1,08</b>                 | <b>323,4</b>                       | <b>0,029</b> |
|      | Dia da medição          | 12/08/2003        | 1,08                        | 320,4                              | 0,030        |
|      | Dia da maior vazão      | 19/01/2003        | 6,88                        | 6857,0                             | 0,038        |
|      | Dia da menor vazão      | 24/10/2003        | 0,97                        | 263,2                              | 0,030        |

Tabela 20 – Continuação – Coeficientes de rugosidade referentes à estação Colatina, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga” e os demais valores do arquivo “Vazões”.

|      | <b>Época de medição</b> | <b>Data</b>       | <b>Profundidade<br/>(m)</b> | <b>Vazão<br/>(m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>n</b>     |
|------|-------------------------|-------------------|-----------------------------|------------------------------------|--------------|
| ID09 | <b>Dia da medição</b>   | <b>01/09/2004</b> | <b>1,27</b>                 | <b>339,2</b>                       | <b>0,029</b> |
|      | Dia da medição          | 01/09/2004        | 1,30                        | 450,0                              | 0,023        |
|      | Dia da maior vazão      | 14/01/2004        | 5,76                        | 5072,0                             | 0,035        |
|      | Dia da menor vazão      | 07/10/2004        | 1,14                        | 320,4                              | 0,026        |
| ID10 | <b>Dia da medição</b>   | <b>01/08/2005</b> | <b>1,53</b>                 | <b>579,8</b>                       | <b>0,033</b> |
|      | Dia da medição          | 01/08/2005        | 1,53                        | 613,5                              | 0,031        |
|      | Dia da maior vazão      | 08/03/2005        | 6,59                        | 6549,5                             | 0,037        |
|      | Dia da menor vazão      | 29/10/2005        | 1,08                        | 310,8                              | 0,038        |
| ID11 | <b>Dia da medição</b>   | <b>06/10/2006</b> | <b>0,97</b>                 | <b>477,5</b>                       | <b>0,027</b> |
|      | Dia da medição          | 06/10/2006        | 0,95                        | 286,5                              | 0,044        |
|      | Dia da maior vazão      | 13/12/2006        | 5,40                        | 4733,0                             | 0,039        |
|      | Dia da menor vazão      | 18/09/2006        | 0,95                        | 261,6                              | 0,048        |
| ID12 | <b>Dia da medição</b>   | <b>11/06/2007</b> | <b>1,26</b>                 | <b>588,1</b>                       | <b>0,030</b> |
|      | Dia da medição          | 11/06/2007        | 1,29                        | 479,2                              | 0,038        |
|      | Dia da maior vazão      | 06/02/2007        | 4,62                        | 4062,0                             | 0,035        |
|      | Dia da menor vazão      | 16/11/2007        | 0,90                        | 251,9                              | 0,042        |
| ID13 | <b>Dia da medição</b>   | <b>25/08/2008</b> | <b>0,73</b>                 | <b>297,6</b>                       | <b>0,025</b> |
|      | Dia da medição          | 25/08/2008        | 0,73                        | 177,0                              | 0,042        |
|      | Dia da maior vazão      | 21/12/2008        | 5,60                        | 5004,5                             | 0,038        |
|      | Dia da menor vazão      | 12/09/2008        | 0,60                        | 130,7                              | 0,046        |
| ID14 | <b>Dia da medição</b>   | <b>11/07/2009</b> | <b>1,29</b>                 | <b>575,8</b>                       | <b>0,025</b> |
|      | Dia da medição          | 11/07/2009        | 1,30                        | 416,8                              | 0,035        |
|      | Dia da maior vazão      | 08/01/2009        | 6,59                        | 6489,5                             | 0,038        |
|      | Dia da menor vazão      | 20/08/2009        | 0,95                        | 274,0                              | 0,030        |
| ID15 | <b>Dia da medição</b>   | <b>12/07/2011</b> | <b>0,91</b>                 | <b>440,8</b>                       | <b>0,028</b> |
|      | Dia da medição          | 12/07/2011        | 0,91                        | 264,1                              | 0,047        |
|      | Dia da maior vazão      | 01/01/2011        | 6,58                        | 6377,0                             | 0,041        |
|      | Dia da menor vazão      | 24/09/2011        | 0,53                        | 103,4                              | 0,069        |

Coutinho (2015) tratou da avaliação do desempenho dos modelos HEC-RAS 1D e HEC-RAS 2D 0.5 na simulação das manchas de inundação da cidade de Colatina – ES. Na determinação da estimativa inicial do coeficiente de Manning (n), baseou-se em observações realizadas em campo, sempre mantendo os coeficientes dentro dos valores recomendados na literatura por Chow (1959). Então, os valores definidos de n para as seções do canal principal variaram entre 0,028 a 0,033 e para a planície de inundação de 0,055 a 0,06 (Tabela 21).

Tabela 21 - Valores do coeficiente de rugosidade de Manning pelo HEC-RAS (Coutinho, M. 2015).

| <b>Resultados da calibração dos modelos HEC-Ras</b> |                        |                        |              |                       |
|---|------------------------|------------------------|--------------|-----------------------|
| <b>Seção</b>  | <b>Margem esquerda</b> | <b>Calha principal</b> | <b>Ilhas</b> | <b>Margem direita</b> |
| 1500  | 0,055                  | 0,029                  | -            | 0,055                 |
| 1400  | 0,055                  | 0,029                  | -            | 0,055                 |
| 1300  | 0,060                  | 0,028                  | -            | 0,055                 |
| 1200  | 0,060                  | 0,028                  | 0,055        | 0,060                 |
| 1100  | 0,055                  | 0,028                  | -            | 0,060                 |
| 1000  | 0,055                  | 0,028                  | 0,060        | 0,060                 |
| 900   | 0,055                  | 0,028                  | -            | 0,060                 |
| 800   | 0,055                  | 0,028                  | -            | 0,060                 |
| 700   | 0,060                  | 0,028                  | 0,060        | 0,060                 |
| 600   | 0,060                  | 0,028                  | 0,060        | 0,060                 |
| 500   | 0,060                  | 0,028                  | 0,060        | 0,060                 |
| 400   | 0,060                  | 0,028                  | -            | 0,060                 |
| 300   | 0,060                  | 0,028                  | 0,060        | 0,060                 |
| 200   | 0,060                  | 0,028                  | -            | 0,060                 |
| 100   | 0,060                  | 0,033                  | -            | 0,060                 |

Tem-se que os coeficientes de rugosidade equivalentes médios do trecho de Colatina obtidos aqui neste trabalho mostraram-se satisfatórios estando dentro dos intervalos estudados por Coutinho (2015). Os baixos valores encontrados também podem ser explicados, pelo fato da estação ser localizada no Baixo Doce, que apresenta declividade pouco acentuada, o que favorece o processo de sedimentação tornando o substrato praticamente todo constituído por areia e sedimento orgânico (PIRH-Doce,2010). Segundo Tomaz (2011), o coeficiente de rugosidade da areia encontra-se na faixa de 0,010 a 0,016, sendo que esse fato pode ter feito com que a rugosidade fosse menor que nas outras estações. A Figura 17 ilustra o trecho do rio Doce em Colatina, e nela é possível observar a presença de areia e o rio bastante assoreado.



Figura 17 - Rio Doce trecho de Colatina - ES.

## 5.9 Linhares

A estação localiza-se no município de Linhares – ES, e para ela, a ANA disponibilizou apenas um perfil transversal para ser analisado.

Através do *Google Earth Pro* foi possível observar que o trecho do rio Doce que passa por Linhares apresenta algumas ramificações, além de praticamente não apresentar curvas em seu curso até o deságue no oceano Atlântico.



Os coeficientes de rugosidade equivalentes médios encontrados foram de 0,026 para o dia de medição; 0,029 para o período de seca e 0,031 para o período de chuva, como apresentados na Tabela 20. Esse caso, de acordo com as características citadas, pode-se concluir que o curso continua com as mesmas propriedades do trecho de Colatina, sendo assim os resultados satisfatórios comprovados pela Tabela 22.

Tabela 22 - Coeficientes de rugosidade referentes à estação Linhares, sendo os valores em negrito retirados do arquivo “Resumo de Descarga” e os demais valores do arquivo “Vazões”.

|      | Época de medição      | Data              | Profundidade (m) | Vazão (m <sup>3</sup> /s) | n            |
|------|-----------------------|-------------------|------------------|---------------------------|--------------|
| ID01 | <b>Dia da medição</b> | <b>02/11/1990</b> | <b>0,96</b>      | <b>314,0</b>              | <b>0,026</b> |
|      | Dia da medição        | 02/11/1990        | 1,45             | 566,5                     | 0,028        |
|      | Dia da maior vazão    | 01/01/1990        | 3,93             | 1856,5                    | 0,046        |
|      | Dia da menor vazão    | 26/06/1990        | 0,87             | 268,7                     | 0,026        |

## 5.10 Coeficientes de rugosidade equivalentes do rio Doce

Tabela 23 apresenta os valores dos coeficientes de rugosidade equivalentes médios encontrados para cada estação. Estão apresentados os valores com base nos dados de vazão e cota para o dia no qual se mediu o perfil e para os dias de maior e menor vazão, do mesmo ano de medição do perfil.

Tabela 23 - Coeficientes de rugosidade média ao longo do rio Doce.

| Estação                   | Rugosidade do dia de medição | Rugosidade época de seca | Rugosidade época de chuva |
|---------------------------|------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Fazenda Cachoeira D'Antas | 0,037                        | 0,040                    | 0,055                     |
| Cachoeira dos Óculos      | 0,040                        | 0,035                    | 0,047                     |
| Belo Oriente              | 0,046                        | 0,042                    | 0,044                     |
| Governador Valadares      | 0,070                        | 0,083                    | 0,032                     |
| Tumiritinga               | 0,051                        | 0,052                    | 0,049                     |
| Resplendor                | 0,046                        | 0,049                    | 0,033                     |
| UHE - Mascarenhas         | 0,058                        | -                        | -                         |
| Colatina                  | 0,026                        | 0,029                    | 0,031                     |
| Linhares                  | 0,027                        | 0,026                    | 0,046                     |
| Média                     | 0,044                        | 0,045                    | 0,042                     |

Os coeficientes de rugosidades médios apresentados na Tabela 23 foram satisfatórios e a maioria das estações apresentou rugosidade da ordem de 0,04. Os resultados referentes à Governador Valadares e à Colatina apresentaram maior discrepância em relação aos demais valores do rio Doce, porém também foram satisfatórios uma vez que comparados com outros estudos equivalentes.

Com relação à comparação das rugosidades da época de seca e chuvosa, segundo Chow (1994), a tendência é que o valor da rugosidade diminua com o aumento da vazão e do nível d'água, como ocorreu nas estações de Governador Valadares, Tumiritinga e Resplendor. Esse fenômeno pode ser explicado da seguinte forma: a lâmina d'água é baixa então a irregularidade do canal está exposta ao seu efeito, o que conseqüentemente aumenta o coeficiente de rugosidade.

Entretanto, as demais estações apresentaram maior rugosidade no período chuvoso, provando que tal coeficiente não apresenta tendência de variação apenas em função da época de maior ou menor vazão, mas também em função das margens e do leito do rio. Tal padrão inverso, em relação à situação citada anteriormente, apresentado na maioria das estações, pode ser explicado pelo fato de que quanto mais alto o nível d'água, maiores são as áreas de cobertura vegetal (árvores, pedras, galhos, etc) atingidas pela calha do rio, ou seja, o rio passa também a escoar na planície de inundação, aumentando assim a rugosidade final.

### **5.11 Coeficientes de rugosidade equivalentes após o rompimento da Barragem da Samarco**

É interessante ressaltar que no ano de 2015, após o rompimento da barragem, observaram-se bruscas mudanças nos perfis, e para que tal resultado não influenciasse negativamente neste estudo, decidiu-se pela exclusão desse ano nos resultados anteriores, calculando-se assim a média dos coeficientes equivalentes separadamente, os quais apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 - Coeficientes de rugosidade média ao longo do rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão - Mariana/MG.

| <b>Estação</b>            | <b>Rugosidade média total</b> | <b>Rugosidade média de 2014</b> | <b>Rugosidade média de 2015</b> |
|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Fazenda Cachoeira D'Antas | 0,044                         | 0,074                           | 0,112                           |
| Cachoeira dos Óculos      | 0,041                         | 0,033                           | 0,124                           |
| Belo Oriente              | 0,044                         | 0,042                           | 0,052                           |
| Governador Valadares      | 0,062                         | -                               | 0,117                           |
| Tumiritinga               | 0,051                         | 0,056                           | 0,064                           |
| Resplendor                | 0,043                         | -                               | -                               |
| UHE - Mascarenhas         | 0,058                         | -                               | -                               |
| Colatina                  | 0,029                         | -                               | 0,031                           |
| Linhares                  | 0,033                         | -                               | -                               |
| Média                     | 0,045                         | 0,051                           | 0,083                           |

Comparando as médias finais na Tabela 24, é possível observar um aumento de 0,045 para 0,083 nos valores de coeficientes de rugosidade equivalentes médios, totalmente justificado pela presença de rejeitos e pelo aumento da lâmina d'água do rio Doce nesses trechos. E as rugosidades em 2014 e 2015, observa-se que aumentaram nas estações possíveis de comparações.

## 6. CONCLUSÃO

Foi possível observar que ao longo do rio Doce os coeficientes de rugosidade médios apresentaram valores parecidos em seis estações, entretanto as outras três estações resultaram valores discrepantes, por possuírem características diferentes dos demais trechos como seção transversal, curso do rio, velocidade de escoamento ou tipo de cobertura vegetal.

Os trechos de Fazenda Cachoeira D'Antas, Belo Oriente, Tumiritinga, Resplendor, Cachoeira dos Óculos, UHE Mascarenhas, apresentaram-se com larguras (B) maiores que 30 m, classificando assim todos os trechos como de grande porte de acordo com a Tabela 2 e coeficiente de rugosidade variando de 0,035 a 0,100.

A estação de Governador Valadares apresentou valores diferentes das demais estações, porém valores também satisfatórios de acordo com Coutinho (2015).

Colatina e Linhares, que se encontram no estado de Espírito Santo, apresentam resultados baixos de coeficiente de rugosidade, da ordem de 0,026 a 0,046. Tais valores, podem ser explicados pelas diferenças que existem no Baixo Doce em relação ao Alto e Médio, com declividades pouco acentuadas que favorecem no processo de sedimentação do rio.

Através das análises feitas em função da época de chuva ou seca, foi possível observar que o coeficiente de rugosidade de Manning não varia com maior ou menor vazão e sim em função das características da margem ou do leito do canal.

E por fim, após o rompimento da barragem de Fundão, os coeficientes de rugosidade equivalentes médios apresentaram-se maiores, valores justificados pela presença de rejeitos e pela lâmina d'água maior.

## 7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres – CENAD - ROMPIMENTO DE BARRAGENS.

CHAUDHRY, M. H. Open Channel Flow. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1993. 483 p.

CHOW, V. T., Open Channel Hydraulics. Editora McGraw-Hill, New York, 1959. 680 p.

Chow, V. T. Hidráulica de canales abiertos. Santafé de Bogotá: Mc Graw-Hill Interamericana S.A., 1994. 667p.

Definição Da Planície De Inundação Da Cidade De Governador Valadares – Ministério do Meio Ambiente, Belo Horizonte, 2004.

French - U.S. Corps of Engineers 1986.

Fundamentos de engenharia hidráulica/ Márcio Benedito Baptista, Márcia Maria Lara Pinto Coelho – 3ª ed. rev. e ampl. – Belo Horizonte; Editora UFMG, 2010.

[http://portal1.snirh.gov.br/arquivos/Doce/CBH/relatorios/PIRH\\_Doce\\_Volume\\_I.pdf](http://portal1.snirh.gov.br/arquivos/Doce/CBH/relatorios/PIRH_Doce_Volume_I.pdf). Acesso em: 13 de fevereiro de 2017.

[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONT000gmziudsg02wx5ok0liq1mqdz33gbr.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gmziudsg02wx5ok0liq1mqdz33gbr.html). Acesso em: 16 de março de 2017.

[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01\\_95\\_10112005101956.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_95_10112005101956.html). Acesso em: 18 de março de 2017.

<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2017.

<http://www.ief.mg.gov.br/component/content/195?task=view>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2017.

<http://www.samarco.com/wp-content/uploads/2015/11/Relatorio-Anual-de-Sustentabilidade-20142.pdf>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2017.

<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v18n4/v18n04a04.pdf>. Acesso em: 18 de março de 2017.

IGA – INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS APLICADA. Mapa geomorfológico 1: 500.000. SECT/MG Projeto RADAR MG, 1977.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA – LAUDO TÉCNICO PRELIMINAR, 2015.

IPEMA - INSTITUTO DE PERMACULTURA E ECOVILAS DA MATA ATLÂNTICA. Conservação da Mata Atlântica no Estado do Espírito Santo: Cobertura florestal e Unidades de Conservação. Vitória: IPEMA. 142p, 2005.

LAMA, I. et al. Fundo de parceria para ecossistemas críticos – CEPF – na Mata Atlântica. Belo Horizonte: Conservação Internacional – São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, 2007.

Lyra, G. B.; Cecílio, R. A.; Zanetti, S. S.; Lyra, G. B.; Coeficiente De Rugosidade De Manning Para O Rio Paracatu, 2010.

Matos, A. J. S.; Pioltine, A.; Manuad, F.F.; Barbosa, A. A.; Metodologia Para A Caracterização Do Coeficiente De Manning Variando Na Seção Transversal E Ao Longo Do Canal Estudo De Caso Bacia Do Alto Sapucaí-Mg, 2011.

MEIS, M.R.M. As Unidades Neoquartenárias Do Médio Vale Do Rio Doce. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 1977

Radam. Projeto Levantamento De Recursos Naturais –Geomorfologia. Folha SE.24 Rio Doce, 1987.

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Campina Grande, PB, UAEEA/UFPA – Protocolo 108.13 – 09/04/2013.

Romero F. B. de Vasconcelos, Edivan R. de Souza, José R. B. Cantalice & Laércio S. Silva - Qualidade física de Latossolo Amarelo de tabuleiros costeiros em diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar.

S.M. Woodward e C. J. Posey - HYDRAULICS OF STEADY FLOW IN OPEN CHANNELS, Silva, U. R. L.; Rodrigues, J. O.; Tavares, P. R. L.; Determinação Do Coeficiente De Manning Em Canal Experimental, 2013.

Saadi, Allaoua. A Geomorfologia Da Serra Do Espinhaço Em Minas Gerais E De Suas Margens, 1995.

Strasser, M. A.; Ribeiro Neto, A.; Silva, R. C. V. Da; Mascarenhas, F. C. B.; Estudo Da Variação Do Coeficiente De Rugosidade De Manning Em Rios Da Bacia Amazônica Por Meio De Modelagem Hidrodinâmica, 2005.

Tomaz, P., Curso de manejo de águas pluviais – Capítulo 50 Fórmula de Manning e canais, 2011.

Vasconcelos, S.G. e Saadi, A. O QUATERNÁRIO DO MÉDIO RIO DOCE: APORTE DA MORFODINÂMICA E DO ALUVIONAMENTO NA CONFLUÊNCIA DOS RIOS PIRACICABA E DOCE, 2002.