UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ESTUDOS AMBIENTAIS
PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA ENGENHARIA AMBIENTAL

MARCUS VINÍCIUS ESTIGONI

Uso de modelagem de transporte de sedimentos e técnicas de
hidrologia estatística para redução de incertezas nos estudos de
assoreamento de reservatórios:
estudo de caso do reservatório da PCH Mogi-Guaçu – SP

São Carlos – SP.

2016

MARCUS VINÍCIUS ESTIGONI

Uso de modelagem de transporte de sedimentos e técnicas de
hidrologia estatística para redução de incertezas nos estudos de
assoreamento de reservatórios:
estudo de caso do reservatório da PCH Mogi-Guaçu – SP

Tese apresentada à Escola de Engenharia de
São Carlos, da Universidade de São Paulo –
EESC/USP, como parte dos requisitos para a
obtenção do título de Doutor em Ciências da
Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Assoc. Frederico Fabio Mauad

São Carlos – SP.

2016

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

E81u Estigoni, Marcus Vinícius
 Uso de modelagem de transporte de sedimentos e
 técnicas de hidrologia estatística para redução de
 incertezas nos estudos de assoreamento de
 reservatórios: estudo de caso do reservatório da PCH
 Mogi-Guaçu □ SP / Marcus Vinícius Estigoni; orientador
 Frederico Fabio Mauad. São Carlos, 2016.

 Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação e Área
 de Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental --
 Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
 São Paulo, 2016.

 1. Assoreamento de reservatórios. 2. Modelagem de
 transporte de sedimentos. 3. Redução de incertezas. 4.
 Hidrologia estatística. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **MARCUS VINÍCIUS ESTIGONI**.

Título da tese: "Uso de modelagem de transporte de sedimentos e técnicas de hidrologia estatística pra redução de incertezas nos estudos de assoreamento de reservatórios: estudo de caso do reservatório da PCH Mogi Guaçu - SP".

Data da defesa: 09/12/2016.

Comissão Julgadora:

Prof. Associado **Frederico Fábio Mauad**
(Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Prof. Dr. **Cristiano Poletto**
(Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS)

Prof. Dr. **Tiago Zenker Gireli**
(Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP)

Prof. Dr. **Alberto Luiz Francato**
(Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP)

Dr. **Guilherme de Lima**
(NHC Brasil Consultores)

Resultado:

Aprovado

Aprovado

Aprovado

Aprovado

Aprovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental:

Prof. Associado **Frederico Fabio Mauad**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Luís Fernando Costa Alberto**

À Minha Lindinha que esteve ao meu lado nesta
longa e conturbada jornada do Doutorado!

Amo você!

Agradecimentos

A Deus, por toda força nos momentos difíceis, dons concedidos e por sempre colocar pessoas boas em meu caminho.

Ao Prof. Assoc. Frederico F. Mauad, não somente pela orientação deste trabalho, mas pela grande amizade e companheirismo ao longo desses 10 anos de convivência. Obrigado pelos ensinamentos técnicos e da vida... pelos puxões de orelha, longas conversas, boas risadas, e acima de tudo pelas oportunidades e pela grande confiança depositada.

À minha esposa Yukari pelo amor, carinho, cuidado, apoio e compreensão, em especial nos momentos finais da conclusão deste trabalho.

Aos meus pais por todo amor incondicional, e apoio irrestrito. Ao Paulo e Dália Higashi por todo o carinho e ajuda. A Hatian pelo acolhimento, conversas, comidas, toda a ajuda, e etc.... é sério... muito obrigado!!

A equipe na *Northwest Hydraulic Consultants* que me recebeu calorosamente no frio inverno canadense durante o período de intercâmbio, em especial ao Mr. Mike Okun, José “Pepe” Vasquez pela co-orientação desta pesquisa, Amber e o pessoal da “beer Friday” pelos ótimos momentos. A equipe brasileira da empresa, Guilherme de Lima e Silvana pelos ensinamentos e apoio nas minhas atividades profissionais e de pesquisa.

Aos membros da minha “família” da República FURA ZOiO, pela amizade, apoio, boas risadas e momentos de diversão. Em especial, ao Julio “Pankada” Kuwajima, companheiro de moradia e de pesquisa, pelos mais de 10 peculiares anos de convivência.

Aos companheiros de pesquisa do Núcleo de Hidrometria, especialmente ao Renato Billia de Miranda pela ajuda na execução deste trabalho e amizade desde o mestrado, Norvin pelas infinitas risadas. Ao técnico hidrometrista Waldomiro Antônio Filho não só pelo auxílio, mas também pela boa companhia durante os trabalhos em campo.

Aos amigos e Funcionários do CRHEA.

À FIPAI pelo apoio à apresentação de trabalhos e suporte das atividades de coleta de dados. A empresa AES Tietê S.A., em especial ao Odemberg Veronez, e ao Programa de P&D da ANEEL os quais financiaram esta pesquisa. À empresa BMT WBM Pty. pela parceria no projeto de P&D e em especial ao Daniel Botelho.

Ao CNPq, à CAPES e ao programa PDSE, pelas bolsas concedidas, e pela oportunidade da realização de parte da pesquisa no exterior.

“A bove majore discit arare minor”
“O boi mais velho ensina o mais novo a arar”

Resumo

ESTIGONI, M. V., *Uso de modelagem de transporte de sedimentos e técnicas de hidrologia estatística para redução de incertezas nos estudos de assoreamento de reservatórios: estudo de caso do reservatório da PCH Mogi-Guaçu – SP*. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos – SP, 2016.

A previsão hidrológica é um processo estocástico dependente de fatores aleatórios, e, por si só, possui incertezas, porém, como a descarga sólida de um rio se correlaciona com a vazão por uma relação do tipo potência, na previsão do assoreamento de reservatório estas incertezas são maximizadas. Métodos empíricos e semi-empíricos de previsão de assoreamento negligenciam importantes fenômenos hidráulicos que regem o comportamento instantâneo do transporte de sedimentos. Incertezas e erros na estimativa da vida útil de reservatórios na fase de estudo de viabilidade é prejudicial ao processo decisório de qual reservatório e/ou se o reservatório deve ser construído. A pesquisa identificou os mecanismos de como a variabilidade hidrológica influencia a previsão do assoreamento de reservatórios por meio de casos idealizados e validação das hipóteses em estudo de caso, também foi proposto um fluxograma de atividades para a previsão de assoreamento capaz de reduzir incertezas inerentes a estes estudos, pautado na modelagem hidrodinâmica de transporte de sedimentos, ferramentas de hidrologia estatística e uso de múltiplos cenários, o Procedimento Metodológico para Redução de Incertezas na Previsão do Assoreamento de Reservatórios (PRIPAR – NH). Identificou-se que: séries de vazões com maior variabilidade resultam em um aporte de sedimento maior quando comparado à somatório de seu valor médio, e quanto maior a variabilidade maior o aporte resultante; séries com mesmo aporte de sedimentos e maior parte nos primeiros anos do reservatório resultam em assoreamento mais rápido devido a relativa alta Eficiência de Retenção de sedimentos nos primeiros anos e sua redução com a evolução do assoreamento; e, comprovou-se que modelos estocásticos para geração de séries sintéticas produzirão séries ligeiramente diferentes caso aplicados mais de uma vez, mesmo quando utilizando parâmetros de calibração iguais, causando significativa diferença na previsão do assoreamento. O PRIPAR – NH foi aplicado no estudo de caso do reservatório da PCH Mogi-Guaçu. Os 50 cenários analisados suportam a hipótese, apresentando amplitude de 12,4 % do volume assoreado calculado, com média de 48,1 % de seu volume em 50 anos.

Palavras-chave: Assoreamento de reservatórios; Modelagem de Transporte de Sedimentos; Redução de Incertezas; Hidrologia Estatística.

Abstract

ESTIGONI, M. V., *Sediment transport modeling and Statistic Hydrologic techniques applied to uncertainty reduction in reservoir sedimentation studies: case of study Mogi-Guaçu SHP Reservoir*. Thesis (Doctorate degree) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos – SP, 2016.

The hydrologic forecast is a stochastic process that relays on a random factor. It present uncertainties by itself, but when used for reservoir sedimentation studies this uncertain are maximized due the fact that sediment load relates with flow discharge by a power type function. Empirical and semi-empirical methods for reservoir sedimentation forecast, widely used in Brazil, neglects important hydraulic phenomena that governs the instantaneous sediment transport behavior. Uncertainties and errors in reservoirs useful life estimation during feasibility studies are detrimental for the process of choosing which reservoir should be build and/or if the reservoir should be build. This study identified how hydrologic forecast and flow variability affects reservoir sedimentation studies, by means of hypothetical ideal scenarios and validations of the hypothesis in a study case. It also proposed a process flowchart for reservoir sedimentation studies able reduces uncertainty by the use of sediment transport modelling, statistical tools applied in hydrology and multiple scenarios, the PRIPAR-NH. It was identified that: as the degree of variability in flow data series increases, sediment loads also increase in comparison with the value calculated by the average flow; for the same sediment income, data series that presents most part of the sediment loads in the early years of the reservoir operation presents a faster sedimentation, it is explained by the fact the sediment Trap Efficiency reduces along the time due the reservoir storage capacity loss; and, it was proved that stochastic model will produce different data series if applied more than once, even when using the same calibration parameters, and it affects significantly the sedimentation forecast results. The PRIPAR-NH was applied to assess the sedimentation in Mogi-Guaçu Hydropower reservoir. The 50 analyzed scenarios support the study main hypotheses, presenting results for sedimentation volume ranging in 12.4 %. The average sedimentation volume found was 48.1 % for a 50 years scenario.

Key-words: Reservoir sedimentation; Sediment transport modeling; uncertainty reduction, Hydrologic statistics.

Lista de Figuras

Figura 1 – Divisão dos "volumes" de um reservatório.	41
Figura 2 – Estágios da vida de um reservatório sob ótica da geomorfologia.	45
Figura 3 – Formação de depósitos de sedimentos nos reservatórios e seus principais problemas.	47
Figura 4 – Curvas de eficiência de retenção de sedimentos em reservatórios, segundo Brune (1953).	58
Figura 5 – Ciclo de Modelagem Computacional.	65
Figura 6 – Curvas de eficiência de retenção de sedimentos em reservatórios, segundo Brune (1953).	70
Figura 7 – Séries de deflúvio médio anual utilizadas no Experimento I.	76
Figura 8 – Séries de deflúvio médio anual utilizadas no Experimento II.	77
Figura 9 – Fluxograma de atividades propostas pelo Procedimento Metodológico para Redução de Incertezas na Previsão do Assoreamento de Reservatórios PRIPAR – NH...80	
Figura 10 – Aporte de sedimentos em função da amplitude dos dados de vazão e do expoente n da equação de correlação entre vazão e descarga de sedimentos.	90
Figura 11 – Tempo de assoreamento de 45 anos para o cenário base, deflúvio médio constante. A variação do expoente n não tem efeitos no tempo de assoreamento quando não há variação da vazão.	91
Figura 12 – Tempo de assoreamento para valor do expoente n da equação de correlação entre vazão e descarga de sedimentos igual a 1,0. Tempo de assoreamento de 44 anos os três cenários de diferentes amplitudes analisados.	91
Figura 13 – Tempo de assoreamento para valor do expoente n da equação de correlação entre vazão e descarga de sedimentos igual a 1,5. Tempo de assoreamento de 44 anos para amplitude de vazão de 100 m ³ /s; 43 anos para amplitude de vazão de 200 e 300 m ³ /s.	92
Figura 14 – Tempo de assoreamento para valor do expoente n da equação de correlação entre vazão e descarga de sedimentos igual a 2,0. Tempo de assoreamento de 44 anos para amplitude de vazão de 100 m ³ /s; 42 anos para amplitude de vazão de 200; e 36 anos para amplitude de vazão de 300 m ³ /s.	92
Figura 15 – Tempo de assoreamento para valor do expoente n da equação de correlação entre vazão e descarga de sedimentos igual a 2,5. Tempo de assoreamento de 43 anos	

para amplitude de vazão de 100 m ³ /s; 37 anos para amplitude de vazão de 200; e 34 anos para amplitude de vazão de 300 m ³ /s.....	93
Figura 16 – Tempo de assoreamento para da amplitude dos dados de vazão de 100 e diferentes valores do expoente <i>n</i> da equação de correlação entre vazão e descarga de sedimentos. Tempo de assoreamento de 44 anos para <i>n</i> igual a 1,0 e 1,5; e 43 anos para <i>n</i> igual a 2,0 e 2,5.	93
Figura 17 – Aporte de sedimentos em função da amplitude dos dados de vazão e do expoente <i>n</i> da equação de correlação entre vazão e descarga de sedimentos. Tempo de assoreamento de 44 anos para <i>n</i> igual a 1,0; 43 anos para <i>n</i> igual a 1,5; 42 anos para <i>n</i> igual a 2,0; e 38 anos para <i>n</i> igual a 2,5.	94
Figura 18 – Aporte de sedimentos em função da amplitude dos dados de vazão e do expoente <i>n</i> da equação de correlação entre vazão e descarga de sedimentos. Tempo de assoreamento de 44 anos para <i>n</i> igual a 1,0; 42 anos para <i>n</i> igual a 1,5; 36 anos para <i>n</i> igual a 2,0; e 34 anos para <i>n</i> igual a 2,5.	94
Figura 19 – Tempo de assoreamento para os diferentes cenários de amplitude e de ocorrência de maior aporte de sedimentos no início (séries decrescentes) ou fim da vida do reservatório (séries crescentes).	97
Figura 20 – Tempo assoreamento para os cenários de aporte total iguais a 5,13 10 ⁶ m ³ /ano.	98
Figura 21 – Tempo assoreamento para os cenários de aporte total iguais a 5,52 10 ⁶ m ³ /ano.	98
Figura 22 – Tempo assoreamento para os cenários de aporte total iguais a 6.1610 ⁶ m ³ /ano.	99
Figura 23 – Comparação entre séries com deflúvio médio similares e aporte de sedimentos diferente.	102
Figura 24 – Localização do geral do reservatório da PCH Mogi-Guaçu.....	104
Figura 25 – Vista aérea e localização no estado da PCH Mogi-Guaçu.	104
Figura 26 – a) Representação das zonas de deposição de sedimentos formada pelos estreitamentos da seção transversal; e b) Imagem aérea mostrando a predominância de macrófitas na zona 1, presença de ilhas e macrófitas na zona 2, e predominância de espelho d’água aparente na zona 3.....	106
Figura 27 – Zonas 2 e 3 do Reservatório da PCH Mogi-Guaçu nos anos de 2006 (a) e 2013 (b). As setas destacam os locais com evidências de alteração do traçado do talvegue pela dragagem.	107

Figura 28 – Localização do reservatório e de alguns postos de monitoramento da empresa.	110
Figura 29 – Série de vazões afluentes ao reservatório da PCH Mogi-Guaçu, destaque para o período do ano de 2011 e 2012 onde foi identificado erro sistemático nos dados.	111
Figura 30 – Série de vazões afluentes ao reservatório da PCH Mogi-Guaçu.	112
Figura 31 – a) Configuração de montagem do ADP acoplado ao computador de bordo e ao GPS. b) Esquema de funcionamento do ADP.	114
Figura 32 – Seções de levantamento batimétrico realizadas no ano de 2004.	114
Figura 33 – Imagem georreferenciada do Satélite Digital Globe.	116
Figura 34 – Detalhe da digitalização do contorno em local com banco de macrófitas no trecho do porto de areia abandonado.	116
Figura 35 – Detalhe da digitalização do contorno baseado na planta do projeto da PCH Mogi-Guaçu.	117
Figura 36 – Mapa batimétrico do reservatório de Mogi-Guaçu para o ano de 2004.	118
Figura 37 – Imagem georreferenciada do Satélite Digital Globe.	119
Figura 38 – a) Equipamento GPD - GS20 da Leica Geosystems; b) Receptor 3000L da Fugro.	120
Figura 39 – Arranjo dos equipamentos no barco durante a coleta de dados em campo. A Antena do receptor GPS e o transdutor do ecobatímetro (não representados) são montados na mesma haste (em extremidades opostas) e colocados na lateral do barco.	121
Figura 40 – a) Esquema da montagem dos equipamentos; b) Princípios de funcionamento de uma sonda acústica.	122
Figura 41 – Seções de levantamento batimétricas realizados no reservatório de Mogi-Guaçu.	122
Figura 42 – Exemplo de uma seção de seção após tratamento automático e manual.	124
Figura 43 – Exemplo de correção de dados anômalos no reservatório de Mogi-Guaçu.	124
Figura 44 – Mapa batimétrico do reservatório de Mogi-Guaçu	125
Figura 45 – Locais onde foram realizadas as amostras de sedimentos de leito no reservatório de Mogi-Guaçu.	126
Figura 46 – Curva granulométrica da sub-amostra entre 20 e 30cm de profundidade do core 4.	128
Figura 47 – Figura esquemática apresentando em resumo as análises dos testemunhos 3 a 6 Profundidade alcançada e distribuição das frações granulométricas.	129
Figura 48 – Diagrama ternário para classificação de sedimentos.	130

Figura 49 – Série de vazões afluentes ao reservatório da PCH Mogi-Guaçu.	133
Figura 50 – Nível operacional do reservatório da PCH Mogi-Guaçu entre os anos de 2004 e 2013.	134
Figura 51 – Programa ArcGIS 9.3 com destaque para a barra de ferramentas da extensão HEC-GeoRAS.	135
Figura 52 – Seções transversais utilizadas para a criação da geometria do reservatório.	136
Figura 53 – Distribuição granulométrica dos sedimentos afluentes ao reservatório.	139
Figura 54 – Curva Cota x Volume do reservatório da PCH Mogi-Guaçu da batimetria de 2014 e do resultado da calibração do modelo para o ano de 2014.	140
Figura 55 – Exemplo das séries de vazão diárias para as simulações.	142
Figura 56 – Comparação entre os dados observados do nível do reservatório e dos dados assumidos para as simulações dos cenários futuros.	143
Figura 57 – Box plot do volume calculado pelas simulações para: a) Séries sintéticas originais; b) Séries sintéticas invertidas; e c) Séries sintéticas originais e invertidas.	149
Figura 58 – Análise de correlação entre assoreamento e aporte de sedimentos.	151
Figura 59 – Análise de correlação entre assoreamento e aporte de sedimentos.	152
Figura 60 – Análise de correlação entre assoreamento e aporte de sedimentos.	153
Figura 61 – Eficiência de retenção de sedimentos ao longo do tempo para a série 1 original.	154
Figura 62 – Eficiência de retenção de sedimentos ao longo do tempo para a série 1 invertida.	154
Figura 63 – Aporte de sedimentos ao reservatório para a série 1 (original e invertida), destacando o maior aporte para a série original nos primeiros anos.	155
Figura 64 – Volume relativo do reservatório para simulações da série 1 (original e invertida), destacando que a série original que possui maior aporte nos anos iniciais apresenta menor volume ao final das simulações (maior grau de assoreamento).	155
Figura 65 – Seção Transversal no trecho onde se formou o delta de deposição dos sedimentos, exemplificando deposição acima do nível operacional mínimo e a formação de canais de dimensões semelhantes ao canal natural do rio (simulação 1).	158
Figura 66 – Evolução do perfil longitudinal e do delta de sedimento.	159

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Tipo de operação de reservatório.	71
Tabela 2 – Constantes W e K para cálculo do peso específico aparente em função do tipo de operação do reservatório (de uso no sistema métrico).	72
Tabela 3 – Equações disponíveis no modelo e o seu tipo (B = Transporte da carga de leito; BM = transporte da carga total).	73
Tabela 4 – Resumo dos resultados do Experimento I, destacando a diferença no tempo e o aporte total de sedimentos necessário para o assoreamento completo.	95
Tabela 5 – Resumo dos resultados do Experimento II, destacando a diferença no tempo e o aporte total de sedimentos necessário para o assoreamento completo.	100
Tabela 6 – Desvio apresentado pelas séries sintéticas em relação aos valores médios de deflúvio e aporte de sedimentos.	101
Tabela 7 – Características técnicas da PCH Mogi-Guaçu. Fonte: Adaptado de AES Tietê (2012).	103
Tabela 8 – Dados fornecidos pela concessionária de energia AES Tietê.	109
Tabela 9 – Profundidade alcançada e número de sub-amostras analisadas em cada testemunho amostrado.	127
Tabela 10 – Distribuição das frações granulométricas do core 3.	128
Tabela 11 – Distribuição das frações granulométricas do core 4.	128
Tabela 12 – Distribuição das frações granulométricas do core 5.	129
Tabela 13 – Distribuição das frações granulométricas do core 6.	129
Tabela 14 – Parâmetros obtidos pela análise da série histórica de vazão, e que foram utilizados para a geração das séries de vazões médias diárias dos múltiplos cenários.	141
Tabela 15 – Variação do volume assoreado total e análise estatística para as simulações utilizando as séries sintéticas originais.	146
Tabela 16 – Variação do volume assoreado total e análise estatística para as simulações utilizando as séries sintéticas invertidas.	147
Tabela 17 – Resumo da análise estatística das 50 séries.	148
Tabela 18 – Diferença do volume assoreado calculado pela série sintética original e invertida.	148

Tabela 19 – Previsão de volume assoreado para o reservatório de Mogi-Guaçu com intervalo de confiança de 95% para 10 e 20 anos.	156
Tabela 20 – Previsão de volume assoreado para o reservatório de Mogi-Guaçu com intervalo de confiança de 95% para 30 e 40 anos.	156
Tabela 21 – Previsão de volume assoreado para o reservatório de Mogi-Guaçu com intervalo de confiança de 95% para 50 anos.	157

Sumário

Resumo	13
Abstract	15
1. Introdução	27
2. Hipóteses	35
3. Objetivos.....	37
4. Revisão de Literatura.....	39
5. Materiais e Métodos	69
5.1. Previsão do assoreamento por meio da técnica da Curva de Brune	69
5.2. Modelo de transporte de sedimentos – SRH-1D.....	72
5.3. Modelagem hidrológica e criação de séries sintéticas de vazões	73
5.4. Testes das hipóteses	75
5.4.1. Experimento I – Influência da variabilidade de vazões e da relação não linear entre descarga sólida e vazão no cálculo do assoreamento.....	75
5.4.2. Experimento II – Influência do período de ocorrência da maior parte do aporte de sedimentos no assoreamento de reservatórios.....	77
5.4.3. Experimento III – Criação e análise de séries de vazão quanto ao deflúvio e aporte de sedimentos total.....	78
5.5. Proposta de Procedimento Metodológico para Redução de Incertezas na Previsão do Assoreamento de Reservatórios: PRIPAR – NH	78
I. Revisão dos dados disponíveis e identificação da necessidade de coleta de campo	81
II. Definição do domínio computacional	82
III. Definição do Período de Calibração.....	83
IV. Definição do Período de Simulação	84
V. Calibração e validação do modelo de transporte de sedimentos	84
VI. Criação de múltiplos cenários futuros por meio da criação de séries sintéticas de vazão	85
VII. Simulação do assoreamento do o reservatório para os múltiplos cenários	86
VIII. Análise estatística dos resultados para o tempo de vida útil e do volume de assoreamento	87
6. Resultados e discussão dos experimentos	89

6.1.1.	Experimento I – Influência da variabilidade de vazões e da relação não linear entre descarga sólida e vazão no cálculo do assoreamento.....	89
6.1.2.	Experimento II – Influência do período de ocorrência da maior parte do aporte de sedimentos no assoreamento de reservatórios.....	95
6.1.3.	Experimento III – Criação e análise de séries de vazão quanto ao deflúvio e aporte de sedimentos total.....	100
7.	Aplicação do PRIPAR – NH no reservatório da PCH Mogi-Guaçu	103
7.1.	Revisão dos dados disponíveis e identificação da necessidade de coleta de campo	108
7.1.1.	Levantamento de dados Hidrológicos	108
7.1.2.	Dados de geometria do reservatório.....	112
7.1.2.1.	<i>Dados do Levantamento batimétrico do ano de 2004</i>	113
7.1.2.2.	<i>Levantamento batimétrico - Ano 2014</i>	119
7.1.3.	Dados do monitoramento e caracterização dos sedimentos	125
7.1.3.1.	<i>Coletas de dados</i>	126
7.2.	Definição do domínio computacional	131
7.3.	Definição do Período de Calibração	132
7.4.	Definição do Período de Simulação.....	132
7.5.1.	Dados de entrada	133
7.5.1.1.	<i>Dados de vazão afluente</i>	133
7.5.1.2.	<i>Condição de contorno de Jusante</i>	133
7.5.1.3.	<i>Dados de geometria do reservatório</i>	134
7.5.1.4.	<i>Dados do monitoramento e caracterização dos sedimentos</i>	136
7.5.2.	Parâmetros de Calibração.....	136
7.6.	Criação de múltiplos cenários futuros por meio da criação de séries sintéticas de vazões	140
7.7.	Simulação do assoreamento do reservatório para os múltiplos cenários.....	143
8.	Resultados e Discussão da previsão do assoreamento do reservatório da PCH Mogi-Guaçu	145
9.	Discussão da aplicabilidade do PRIPAR – NH	161
10.	Conclusões gerais.....	163
11.	Referências Bibliográficas	167
	Apêndice I: Códgo de programação para criação automática de séries hidrológicas	179
	Apêndice II: Arquivo de configuração do modelo SRH-1D	183

Apêndice III – Séries de dados de vazão média diária e de nível operacional do reservatório utilizadas no estudo de caso da PCH Mogi-Guaçu: período de calibração 2004 – 2013.....	207
Apêndice IV – Séries de vazões utilizadas nas simulações do cinquenta cenários de assoreamento para o estudo de caso da PCH Mogi-Guaçu: período de 2014 – 2063.	229

1. Introdução

Todos os cursos d'água naturais apresentam a propriedade de transportar sedimentos e o volume deste material depende das características geomorfológicas da região que é drenada e das características do rio. A construção de uma barragem causa alterações no regime de vazão dos rios, em sua característica hidrodinâmica e de transporte de sedimentos. A redução da velocidade do fluxo das águas no reservatório diminui a capacidade que este fluido tem de transportar material particulado (i.e., sedimentos) em suspensão e por arrasto junto ao leito, favorecendo sua deposição e acúmulo nos reservatórios que, aos poucos, vão perdendo sua capacidade de armazenar água devido ao processo de assoreamento. Sendo assim, todos os reservatórios, independente do fim para o qual o reservatório foi construído (geração hidrelétrica, abastecimento de água, controle de cheia, etc.) ou se ele é a fio-d'água ou um reservatório de acumulação, sofrerão com o processo de assoreamento.

Sob o ponto de vista da operação do reservatório, o acúmulo de sedimentos no volume útil reduz a capacidade de regularização de vazão e, conseqüentemente, a capacidade de atendimento ao seu propósito. No caso de reservatórios de abastecimento do fornecimento de água demandado nos períodos secos pode ser prejudicado, nos reservatórios de controle de cheias o amortecimento do pico da vazão será reduzido, e no caso de empreendimentos hidrelétricos a capacidade de geração de energia é afetada, principalmente da energia assegurada que possui maior valor comercial.

Em estágios avançados os depósitos de sedimentos chegam a tomada d'água impedindo parcial ou integralmente o fluxo, reduzindo ou impedindo a captação de água e/ou geração de energia, pode também reduzir a capacidade de descarga aumentando risco do transbordamento da barragem em eventos de cheia extrema. Os sedimentos também aumentam a abrasão nos componentes mecânicos (turbinas, rotores de bombas, comportas, etc.) aumentando a necessidade de manutenção e troca, com conseqüente aumento do custo de operação e aumento do tempo de indisponibilidade das máquinas.

Ante aos cenários de crise hídrica como presenciado nos anos de 2014 e 2015 no país, desconsiderar o fato da perda de capacidade de armazenamento de reservatórios (e diminuição de vazão regularizada e da capacidade de atendimento dos seus usos, sejam para abastecimento, geração de energia, navegação, e etc.) é um erro grave na gestão dos recursos hídricos, mostrando a importância de estudos de assoreamento de reservatório no

cenário atual, sendo fundamentais para estudos de segurança hídrica, planejamento energético nacional e transporte hidroviário, além de serem de interesse das empresas de serviços de abastecimento de água e concessionárias de energia.

Em uma escala de um único reservatório de empreendimento hidrelétrico, não considerar a redução da capacidade de regularização de vazão e de geração de energia pode levar a concessionária de energia a assumir contratos de fornecimento de energia de longo prazo que não conseguirão cumprir, principalmente ante a cenários hidrológicos desfavoráveis. Observou-se nos anos de 2014 e 2015 concessionárias que não atingiram o requisito de geração e foram obrigadas a comprar energia no mercado de curto prazo (SPOT), o qual é caracterizado por preços de comercialização muito superiores. Acarretando em prejuízo, na maioria dos casos, inesperado.

São relatados casos em que os estudos da previsão do assoreamento e vida útil da fase de projeto dos reservatórios subestimaram o assoreamento real observado após o início da operação das barragens, como os trabalhos de Thakkar e Bhattacharyya (2006) que apontam pelo menos 14 casos na Índia, Chanson e James (1998) que apresentam 4 casos na Austrália, e casos brasileiros como a UHE Mascarenhas (CARVALHO & LÔU, 1986; CARVALHO, 2000), PCH Cariobinha (COIADO, 2001), UHE Itiquira (CARVALHO *et al.*, 2000a), dentre outros os quais serão discutidos na revisão de literatura deste trabalho. Tal erro na estimativa da vida útil na fase de estudo de viabilidade é prejudicial ao processo decisório de qual reservatório e/ou se o reservatório deve ser construído, tanto em nível de agentes públicos no planejamento de segurança hídrica de uma cidade e/ou expansão do parque hidro-energético nacional, quanto no planejamento de investimentos por entidades privadas, pois o benefício da exploração do reservatório, seja na forma de garantia do acesso público ao fornecimento de água e energia, ou no retorno financeiro de investimentos públicos e/ou privados, seria menor que o previsto.

Ante ao exposto, conhecer as incertezas e melhorar a confiabilidade das previsões do assoreamento de reservatórios é de grande importância para o planejamento energético nacional, segurança hídrica e para os investidores em geração hidrelétrica. Considerando a escala nacional, reduziria a incerteza das projeções de geração hidrelétrica e nortearia a necessidade de expansão do parque de geração, além da identificação de empreendimentos com potenciais problemas de assoreamento e melhoria da confiabilidade da análise de viabilidade técnico-econômica. No caso da segurança hídrica, daria melhor embasamento na gestão dos reservatórios e nos estudos de necessidade de expansão de sistemas de abastecimento. E no nível de investidores e concessionárias de empreendimentos

hidrelétricos auxiliaria na minimização de riscos dos contratos de fornecimento de energia e análise de investimentos em novos empreendimentos.

O cálculo do assoreamento de um reservatório é feito basicamente de três maneiras: Medição indireta - por meio da diferença da descarga de sedimentos que adentram o reservatório transportados pelos tributários e pela descarga de sedimentos que passam pela barragem determinando-se a quantidade de sedimentos acumulados; Medição direta - é realizada por meio da comparação do relevo de fundo do reservatório em dois momentos distintos, determinando-se o volume de sedimentos efetivamente depositado no reservatório; Modelagem - baseia-se em dados das medições diretas e indiretas, possui a potencialidade de não só determinar o assoreamento atual (da data dos dados utilizados) como estimar o assoreamento para cenários futuros.

Existem diversas técnicas de modelagem de assoreamento, desde algumas de aplicação mais simplistas, como modelagem empírica ou semi-empírica, a modelos complexos, como os modelos físicos de escala reduzida e a modelagem numérica computacional. Em especial, modelos computacionais de transporte de sedimentos, se corretamente validados, constituem ferramentas poderosas para avaliar os mecanismos dominantes de deposição e erosão de sedimentos em reservatórios. Esses modelos também podem avaliar a eficácia de intervenções de engenharia nos processos de transporte e deposição de sedimentos, e podem produzir uma redução de custo significativa no gerenciamento do assoreamento, da quantidade e qualidade de água de, minimizar os prejuízos a geração de energia e abastecimento de água, levar ao prolongamento da vida útil, além de melhorar a confiabilidade da operação de reservatórios (Estigoni *et al.*, 2012).

O transporte e deposição de sedimentos em um reservatório é um fenômeno complexo que é influenciado por fatores como a vazão do rio, volume do reservatório no momento do ingresso do sedimento, velocidade do fluxo das águas, temperatura, tamanho das partículas, concentração dos sedimentos, fenômenos de histerese, entre outros. Deste modo, ao se realizar a previsão de um cenário de assoreamento de um reservatório, é prudente que sejam considerados erros e incertezas associados a cada um dos parâmetros e sua influência no resultado da previsão.

Não necessariamente todo o sedimento que chega a um reservatório será transformado em assoreamento, uma parcela deste material passa pelos órgãos de descarga da barragem. A capacidade que um barramento possui de depositar sedimentos em seu reservatório é chamado de “Eficiência de Retenção” (E_r). O Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos, *U.S Army Corps of Engineers – USACE*, define a E_r como

percentual do aporte total de sedimentos que é retido no reservatório (USACE, 1989). Adicionalmente aos fatores apontados no parágrafo anterior, Brune (1953) ainda destaca que a Er é influenciada pela relação entre o volume do reservatório e a vazão afluente, idade do reservatório, formato, tipos dos órgãos de descarga e regras de operação, granulometria dos sedimentos, e o comportamento das frações mais finas dos sedimentos em diferentes circunstâncias. Deve-se destacar ainda que o sedimento depositado é um meio poroso que se compacta com o passar do tempo devido ao seu próprio peso e ao peso da água (Carvalho, 2008), de modo que o volume que ele ocupa varia com o tempo. O volume dos depósitos de sedimentos é geralmente representado por meio de seu peso específico e é principalmente afetado pela regra de operação do reservatório, granulometria do sedimento, grau de compactação dos depósitos e outros fatores de menor influência (Lara e Pemberton, 1963¹ *apud* Strand, 1987).

Mesmo com toda a complexidade do processo, abordagens relativamente simples ainda são largamente utilizadas para a previsão do assoreamento e da vida útil de reservatórios, como métodos empíricos e semi-empíricos para estimativa da Er , por exemplo a curva de Brune (Brune, 1953), e para estimativa do peso específico dos depósitos de sedimentos, por exemplo método de Lara e Pemberton (Lara e Pemberton, 1963).

Apesar de largamente utilizadas deve-se ter em mente que estas abordagens possuem limitações na sua aplicação e seus resultados devem ser avaliados sob olhar crítico. Tais métodos pautam-se em dados de um certo número de reservatórios assoreados e são adequados para uma determinada condição que não necessariamente reflete o reservatório a ser estudado. Parâmetros de elevada importância no cálculo do volume de sedimentos acumulados como a Er e o peso específico dos depósitos são parametrizados com base nos dados da calibração dos métodos, e geralmente são adotados como fator constante, deixando de lado que estes fatores são variáveis ao longo do tempo, e em especial a Er que varia com o nível operacional, vazão afluente, vazão de descarga e o volume instantâneo do reservatório.

Como alternativa apresentam-se os métodos de estimativa de assoreamento baseados no cálculo analítico do transporte de sedimentos com o auxílio de modelos hidrodinâmicos em ambiente computacional em uma, duas ou três dimensões. A principal

¹ Lara, J. M., & Pemberton, E. L. (1963), *Initial Unit Weight of Deposited Sediments*, Proceedings of Federal Interagency Sedimentation Conference, 1963, Miscellaneous Publication No. 970, pp. 818-845, USDA, Agriculture Research Service, June 1965.

vantagem do uso dos métodos analíticos reside na discretização espacial e temporal dos parâmetros que influenciam o transporte do sedimento, enquanto que os métodos empíricos e semi-empíricos aproximam estes parâmetros para um comportamento médio dos reservatórios utilizados na criação do método.

Independentemente da acurácia dos métodos utilizados, por se pautarem em dados de campo (como medições de descarga sólida, medições de vazão, monitoramento hidrológico, levantamentos topobatimétricos, níveis operacionais do reservatório, entre outros dados) e na previsão de cenário futuro (previsão do aporte de sedimento e da vazão afluente ao reservatório, regras de operação do reservatório, entre outros) são inúmeras as fontes de incertezas inerentes à previsão do assoreamento.

Deve-se destacar que a descarga de sedimentos geralmente se correlaciona com a vazão por uma função do tipo potência, sendo mais sensível a variações da vazão. Especialmente em relação ao cálculo da descarga sólida, a literatura aponta a escala temporal dos cálculos de transporte de sedimentos como um fator de grande importância na estimativa do aporte total de sedimentos. Os trabalhos de Koch & Smillie (1986), Meade e colaboradores (1990), Horowitz (2003) e Requeña Sanchez e colaboradores (2016) apontam que a maior parte do transporte de sedimentos ocorre durante eventos de cheia e que o uso de vazões médias de grandes intervalos de tempo (i.e., médias mensais ou anuais) atenuam os picos de vazão e subestimam o cálculo do transporte de sedimento quando comparado com a somatória de vazões de intervalos de tempo menores (i.e., médias horárias ou médias diárias). Podendo-se inferir destes trabalhos que os estudos sedimentológicos e cálculo do aporte de sedimento devem ser realizados com discretização temporal pequena o suficiente (i.e., média diária, média horária ou mesmo de intervalos sub-horários) para minimizar os erros na estimativa do aporte de sedimentos.

Simmons e Senturk (1992) afirmam que o primeiro passo para estudos sedimentológicos é a análise hidrológica, destacando seu papel no mecanismo de erosão e transporte de sedimentos. Segundo Righetto (1998) as vazões de um rio são analisadas como variáveis aleatórias de um modelo estocástico as quais apresentam três componentes principais: o componente de tendência descreve o aumento ou diminuição de vazão ao longo do tempo; o componente de periodicidade define as variações sazonais (i.e., períodos chuvoso e seco de um ano hidrológico); e o componente aleatório representa a variação e aleatoriedade da magnitude e frequência de ocorrência da variação da vazão.

É de importância para esta pesquisa destacar que o componente aleatório inerente aos modelos estocásticos de previsão de séries de vazão acarreta na criação de séries

diferentes mesmo quando utilizando o mesmo método e os mesmos parâmetros. Em outras palavras, um mesmo modelo aplicado mais de uma vez para a mesma condição de calibração apresentará resultados diferentes. Tratando-se da avaliação do aporte de sedimentos, a implicação do uso de séries de vazão distintas pode afetar fortemente os resultados devido a relação entre descarga sólida e vazão se dar por meio de uma função do tipo potência.

Além da hipótese de que a característica estocástica da previsão hidrológica afetará o cálculo do aporte de sedimentos, e por consequência a previsão do assoreamento de reservatórios, acredita-se também que mesmo séries que possuam características estatísticas equivalentes e com mesmo aporte total de sedimentos (por exemplo uma série invertida no tempo, mantendo-se suas características de valores médios, máximos, mínimos, permanência, deflúvio total, e etc.) apresentarão diferentes resultados para a previsão do assoreamento em função do período de ocorrência dos eventos de cheia (próximo ao início ou ao fim da operação do reservatório) devido a variação da *Er*.

Com o objetivo complementar estudos de incerteza na previsão do assoreamento de reservatórios o presente estudo apresenta o teste das hipóteses anteriormente citadas por meio de um caso teórico simplificado e da aplicação em um estudo de caso em um reservatório brasileiro de pequeno porte. Adicionalmente, visando reduzir as incertezas nestes estudos e dar melhor suporte aos tomadores de decisão nos estudos de viabilidade de novos empreendimentos e/ou investimentos em empreendimentos existentes, é proposto um procedimento metodológico para a realização da previsão do assoreamento por meio da combinação de ferramentas de hidrologia estatística com de modelagem computacional do transporte de sedimentos. A abordagem proposta não visa necessariamente a obtenção de um cenário mais preciso, mas sim o uso de múltiplos cenários de vazão para se ter cenários de previsão do assoreamento em número suficiente para a análise estatística dos resultados, e fornecer diversos possíveis cenários de assoreamento e tempo de vida útil do reservatório, bem como a probabilidade de ocorrência destes cenários. A ideia é que o tomador de decisão possua um maior número informações durante a análise de viabilidade. Esta abordagem tem sido empregada em outros campos do conhecimento, como estudos de vulnerabilidades a enchentes, mudanças climáticas e operação de reservatórios, porém esta abordagem na área de hidrossedimentologia ainda é insipiente.

Destaca-se ainda como critérios inovadores da abordagem proposta a utilização em conjunto ferramentas de hidrologia estatística, modelagem hidráulica e de transporte de sedimentos, além de análise automática dos resultados. Além de poder ser utilizado em

empreendimentos em operação a ferramenta será desenvolvida para ser utilizada também na fase de estudo de viabilidade.

Por se tratar de um processo longo (escala de vários anos) a modelagem matemática do assoreamento de reservatórios em duas ou três dimensões necessitaria de grande esforço computacional. Mesmo o uso de computadores dedicados ("supercomputadores") e de técnicas de paralelismo os modelos 2 e 3D podem demandar dias, semanas ou meses de processamento, o que limita o número de cenários a ser estudado, ou até mesmo inviabiliza o uso destas técnicas para esta finalidade.

Modelos unidimensionais geralmente demandam menos esforço computacional e se mostraram como alternativa para a produção de múltiplos cenários, permitindo a obtenção de resultados em número suficiente para serem estatisticamente analisados, possibilitando se realizar uma análise de probabilidade de ocorrência dos resultados, aumentando assim a confiabilidade destes estudos.

A validação da técnica proposta e da ferramenta computacional desenvolvida foi realizada no estudo de caso do reservatório da PCH Mogi-Guaçu, no estado de SP. Este estudo de caso foi definido no âmbito de um projeto do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica (P&D ANEEL) sob coordenação do Prof. Assoc. Frederico Fabio Mauad (Mauad *et al.*, 2014)., com financiamento da concessionária de energia AES Tietê S.A. que subsidiou toda a etapa de coleta de dados de campo. Destaca-se o papel da equipe do Núcleo de Hidrometria do Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, NH-CRHEA-EESC-USP e da BMT WBM Pty. na coleta de dados, e que o projeto original do P&D possuía como enfoque o estudo do assoreamento do reservatório, porém com uma abordagem distinta da utilizada na presente pesquisa. Adicionalmente, parte dos estudos de modelagem foram realizados no Laboratório de Modelagem Computacional da empresa canadense Northwest Hydraulic Consultants Ltd. (NHC), a qual é especializada em consultoria e pesquisa nas áreas de hidrologia, hidráulica e recursos hídricos, durante estágio do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE-CAPES) sob supervisão do PhD. José A. Vasquez, ex-professor universitário na Universidade de Piura (Peru), responsável pelo programa interno de P & D em Modelagem Hidráulica Computacional e um dos diretores da NHC.

2. Hipóteses

A hipótese central desta pesquisa é que a previsão do assoreamento de reservatórios é influenciada pela natureza estocástica dos dados hidrológicos e das incertezas inerentes à criação de séries de vazão para criação de cenários futuros, em específico devido à descarga de sedimentos se relacionar com a vazão por meio de uma função do tipo potência. Acredita-se que a influência da previsão hidrológica no assoreamento se dá de pelo menos três maneiras:

1. A variabilidade dos dados de vazão e a relação não linear entre essas variáveis calcularão valores distintos para o aporte de sedimento, em especial em séries de dados com curto intervalo de tempo (médias diárias, horárias ou de intervalos sub-horários), mesmo quando o deflúvio total é mantido constante;
2. Variação do cálculo do volume de assoreamento em função período de ocorrência das maiores cheias (maior aporte de sedimento) e da quantidade de sedimentos efetivamente depositados no reservatório devido a variação da Er com o tempo. Para uma mesma quantidade de sedimentos aportados à um reservatório, caso a maior parte do aporte ocorra no início da operação do reservatório quando se têm maior Er o assoreamento será maior que no caso de a maior parte do aporte ocorrer após o reservatório já se encontrar parcialmente assoreado e com Er reduzida; e,
3. Haverá diferença no cálculo do aporte de sedimentos devido ao comportamento estocástico (presença de um componente aleatório) das séries de vazão, pois um mesmo modelo hidrológico utilizando os mesmos parâmetros de calibração produzirá séries de vazões diferentes se aplicado mais de uma vez e, por consequência, produzirá séries diferentes de descarga de sedimentos.

3. Objetivos

O objetivo principal do projeto de pesquisa é reduzir as incertezas da previsão de assoreamento de reservatórios associadas a natureza estocástica da previsão hidrológica utilizada na criação do cenário de estudo, visando proporcionar melhor embasamento aos tomadores de decisão na análise de viabilidade e gestão de reservatórios. Foi realizada inicialmente a avaliação e identificação de como a previsão hidrológica pode afetar no cálculo do assoreamento, e é proposto uma abordagem do uso de múltiplos para reduzir a incertezas dos resultados. O Procedimento Metodológico para Redução de Incertezas na Previsão do Assoreamento de Reservatórios, PRIPAR – NH, foi desenvolvido para ser uma ferramenta capaz de criar múltiplos cenários de previsão, fornecendo diversos possíveis cenários de assoreamento e tempo de vida útil do reservatório, bem como a probabilidade de ocorrência destes cenários.

Como objetivos específicos propôs-se:

1. Testar a hipótese 1 demonstrando a influência da variabilidade dos dados de vazão e da correlação não linear entre vazão e descarga sólida no cálculo do aporte de sedimentos por meio de estudo conceitual utilizando cenários típicos simplificados e demonstrar sua influência na previsão do assoreamento;
2. Testar hipótese 2 utilizando cenários típicos simplificados e demonstrar sua influência na previsão do assoreamento;
3. Desenvolver e utilizar ferramenta computacional para criação de séries de vazões para teste e validação da hipótese 3, comparando as séries resultantes quanto ao deflúvio e aporte de sedimentos total;
4. Desenvolvimento conceitual de um procedimento para a realização de estudo de assoreamento de reservatórios capaz de melhorar a confiabilidade das previsões de volume assoreado e de vida útil do reservatório, PRIPAR-NH;
5. Testar a validade das hipóteses em estudo de caso real e aplicar o PRIPAR – NH no estudo de caso da PCH Mogi-Guaçu.

4. Revisão de Literatura

Os processos e estudos sedimentológicos são complexos e dependem de diversos fatores. Eles são de grande importância, principalmente no caso de países com grande quantidade de recursos hídricos e com matriz energética predominantemente hidráulica, como é o caso do Brasil (MIRANDA, 2011). A disciplina que estuda os sedimentos é a sedimentologia que tem como base os processos hidroclimatológicos, quando restrita aos cursos d'água e lagos recebe o nome de sedimentologia fluvial ou hidrossedimentologia (CARVALHO, 2008; POLETO, 2014).

Três processos compõem o ciclo hidrossedimentológico: Erosão (produção de sedimentos); Transporte, tanto na bacia hidrográfica em eventos de chuva, quanto nos rios; e Deposição ou Sedimentação a qual ocorre quando o gradiente hidráulico não é capaz de transportar as partículas de sedimento.

Erosão hídrica é o resultado do desgaste abrasivo ou da desagregação por embate, feito pela água sobre um substrato mineral com o qual tem contato. A ação mecânica ou impactante produz partículas sólidas de diversos tamanhos e formas. O processo erosivo é precedido de intemperismos, ação de agentes desagregadores físicos, químicos e biológicos ativos, potencializados pelas condições em que se encontra o corpo em erosão, por exemplo, a posição topográfica e o tipo de cobertura vegetal que o reveste. A erosão torna-se acelerada principalmente nas vertentes mais íngremes, onde a vegetação é rala ou inexistente, com solos arenosos e quando são aplicadas técnicas agrícolas inadequadas às condições dos terrenos (EMMERICH e MARCONDES, 1975).

O transporte dos sedimentos é a segunda etapa do processo de sedimentação. Conforme Branco e Rocha (1977), Suguio e Bigarella (1979) e Muller (1995) apresentam, todos os cursos d'água apresentam, em maior ou menor grau, a propriedade de transportar sedimentos, seja em suspensão, arraste, saltação, rolamento/escorregamento ou por combinação destes meios. A água em movimento possui uma determinada capacidade de transportar uma quantidade máxima de sedimentos (conhecida como valor de saturação) a qual é função de diversos fatores, como: a vazão do curso d'água; a declividade do terreno; e a granulometria e o peso específico dos sedimentos. Note que em um corpo hídrico a vazão é variável ao longo do tempo, assim como sua declividade e área da seção transversal variam no espaço, sendo assim, para cada local do rio, para uma determinada condição de vazão o valor de saturação muda.

Quando a quantidade de sedimento transportado é menor (insaturação), há uma tendência a processos erosivos nas margens e leitos dos corpos hídricos (CARVALHO, 2008). Ainda segundo Carvalho (2008) quando a quantidade de sedimentos transportados for maior do que o valor de saturação há a formação de depósitos nos corpos hídricos – canais, lagos, rios e reservatórios. Um dos fatores que leva redução do valor de saturação, e consequente deposição do sedimento, é a redução do gradiente energético do fluxo d'água, que ocorre naturalmente na foz de um rio, em estuários, no baixo curso e trechos de planície, zonas naturais de remanso, ou remansos artificiais criados pela construção de uma barragem.

A construção de uma barragem, para a formação do reservatório, gera uma série de modificações físicas, ambientais e sociais nos locais onde a mesma é instalada. A elevação do nível d'água além do natural aumenta a área da seção transversal, diminuindo a velocidade do escoamento, alterando significativamente a capacidade de transporte de sedimentos, culminando na deposição das partículas e, conseqüentemente, o assoreamento do reservatório (Glymph 1973; Carvalho *et al.* 2000). Desta forma, fica reduzida a sua capacidade de armazenamento prejudicando o atendimento a finalidade para a qual foi construída, e em alguns casos, a operação da mesma é inviabilizada.

É importante fazer uma breve recapitulação sobre as finalidades e tipos de operação dos reservatórios. O principal objetivo de um barramento é acumular a água de um período chuvoso em seu reservatório para que este possa ser utilizado (ou simplesmente liberado) durante o período de estiagem, sendo o volume acumulado diretamente relacionado com a capacidade de armazenamento do reservatório, que por sua vez, é ligado com a topografia do terreno o qual é construído e a disposição das estruturas da tomada d'água. Segundo Bатуca e Jordaan (2000), os reservatórios são construídos para atender uma ou mais finalidades, sendo destacadas: Controle de cheias, onde o reservatório opera geralmente “vazio” (possui um volume de espera para amortecer a onda de cheia); Geração de energia hidrelétrica, onde há necessidade de armazenamento de água e um desnível entre montante e jusante; Abastecimento de água, reservatórios operando geralmente “cheios” e com uma qualidade de água satisfatória para consumo; Regularização de vazão, o reservatório opera com grandes variações de nível, enchendo durante a cheia e esvaziando durante a seca, tornando a vazão de descarga de jusante mais uniforme; Regularização de nível de água para navegação, em que a operação do reservatório é realizada para manter um nível que torne viável a navegação no seu trecho de influência a montante do

barramento; Aquicultura, requer água de boa qualidade; e Recreação, em que o nível operacional do reservatório é mantido praticamente constante.

O volume de um reservatório é geralmente dividido entre volume: morto, útil e de espera (Figura 1). Sendo que a divisão entre o volume morto e o volume útil é determinada pela posição das estruturas de tomada d'água. Deve-se ressaltar que em certos casos, as regras operacionais específicas (como a manutenção de calado de navegação) podem fazer com que o mínimo operacional de um reservatório seja mais elevado do que a cota da tomada d'água, mas o volume mínimo operacional nunca será inferior a cota da tomada d'água.

Figura 1 – Divisão dos "volumes" de um reservatório.

Considerando as diferentes finalidades, tipos de operação do reservatório e a separação de seu volume em volume de espera, volume útil e volume morto, é importante não só conhecer o volume de capacidade de armazenamento perdido devido ao assoreamento, mas também a localização dos depósitos de sedimentos. Caso os depósitos se localizem no volume útil o atendimento a finalidade do reservatório pode ser prejudicado, enquanto que se os depósitos se localizarem no volume morto, efeitos imediatos na operação do reservatório serão pequenos (considerando que os sedimentos não se encontrem junto a barragem e a tomada d'água).

De acordo com a literatura (LANE, 1955; VANONI, 1977; ASTHANA & NIGAM, 1980) são diversos os fatores que influenciam no processo de sedimentação,

principalmente quanto à deposição e distribuição dos sedimentos nos reservatórios, como: clima, pluviosidade, hidrologia, formação geológica, topografia, cobertura vegetal, tipo e uso do solo, composição química das águas e dos sedimentos, entre outros.

Mais especificamente com relação à deposição dos sedimentos, Lane (1955), Vanoni (1977) e Carvalho e colaboradores (2000), citam que os principais fatores que influenciam este processo são: a carga sólida afluente, a eficiência de retenção Er (que é a razão entre a quantidade de sedimento retido e a quantidade de sedimento total que entra no reservatório), a geometria e o modo de operação do reservatório e as características e propriedades (físicas e químicas) dos sedimentos e da água, entre outros.

É válido ressaltar que a intensidade do aporte e taxa de deposição dos sedimentos é altamente variável com o tempo, sendo influenciados pelas seguintes características:

- Tamanho e aspecto das dimensões espaciais do reservatório;
- Composição dos solos e processos erosivos a montante do reservatório;
- Composição do leito do rio tributário;
- Regimes de vazão e densidade do rio tributário;
- Configuração de estruturas hidráulicas na barragem;
- Regimes de operação do reservatório; e
- Medidas de contenção de assoreamento.

De uma maneira geral, reservatórios pequenos tendem a um processo mais acelerado do assoreamento, capazes de serem assoreados em um evento de enchente (CARVALHO *et al*, 2000). Em contrapartida, estima-se que reservatórios grandes, como o da usina de Itaipu (Brasil), Lago Nasser (Egito), Três Gargantas (China) são assoreados em escalas de centenas a milhares de anos (CARVALHO *et al*, 2000; BARBER & RYDER, 1990, MORRIS & FAN, 2010).

Ao se falar do tempo de assoreamento de reservatórios é fundamental ter em mente o conceito de vida útil. Batuca e Jordaan (2000) e Morris e Fan (2010) citam o trabalho de Murthy (1977) que apresenta as seguintes classificações para a vida útil de reservatórios (tradução livre):

Vida útil de projeto (design life): período de tempo planejado para que o reservatório seja capaz de atender seus objetivos primários, também é o período utilizado para se realizar a análise econômica do empreendimento;

Vida útil econômica: período de tempo onde os custos de manutenção são inferiores aos benefícios econômicos da exploração;

Vida útil explorável (usable life): período de tempo em que o reservatório continua a atender seus objetivos primários, porém o custo de manutenção é maior que o benefício econômico. Esta fase só existe em empreendimentos os quais o benefício social, político, ambiental e/ou outros fatores (como segurança energética) superam o prejuízo econômico. Geralmente estas usinas operam com subsídios.

Vida útil total (full life): período que corresponde à vida útil econômica mais a vida útil explorável. Pode incluir atendimento parcial dos objetivos primários, ou mesmo mudança dos objetivos iniciais. Este período se encerra quando o reservatório está completamente cheio de sedimentos.

A vida útil de reservatórios também pode ser descrita em termos geomorfológicos. Segundo Morris e Fan (2010) este modo de classificação adota uma perspectiva muito mais longa do que a tradicional abordagem econômica. Nesta abordagem a evolução da vida de um reservatório é dividida em três estágios e mais um estágio adicional que é o correspondente a período anterior a construção da barragem. A seguir são apresentados os estágios propostos pelos autores:

Estágio Zero - Balanço sedimentológico pré-construção: neste caso existe um balanço sedimentológico quase estável no local quanto aos sedimentos afluentes e defluentes, podendo haver acúmulos ou processos erosivos temporários no local devido as variações do regime hidrológico. Deve-se ressaltar que nenhum rio possui um balanço sedimentológico estável, ele constantemente possui zonas de erosão e zonas de deposição, o que referimos como "balanço sedimentológico quase estável" é uma condição contínua do local ao longo do tempo, seja ela uma constante erosão ou uma zona de deposição.

Estágio 1 - Retenção de sedimentos continuamente: A construção da barragem altera drasticamente as condições hidráulicas do escoamento do rio, passando de águas correntes para um ambiente com baixas velocidades, favorecendo assim a deposição dos sedimentos nesta região de baixas velocidades. O material mais grosseiro se deposita primeiro, logo na entrada do reservatório, formando um delta de deposição de sedimentos, enquanto que o material mais fino é capaz de ser mantido em suspensão por mais tempo e adentra o trecho de reservatório. O material mais fino, principalmente os sedimentos coesivos irão se depositar nas regiões mais profundas, configurando depósitos horizontais, fazendo desaparecer o talvegue do rio;

Estágio 2 - Estrutura de planície de inundação com presença de canais: Em determinado período, o reservatório muda de uma característica típica de zona deposicional para uma troca entre regimes de deposição de sedimentos e de erosão do leito. Neste momento, em reservatórios com grande largura também é apresentada a transição de depósitos horizontais para uma configuração de planície de inundação com a presença de canais de drenagem. Isto ocorrerá naturalmente quando o depósito de sedimentos atingir a soleira dos vertedores, canais de drenagem serão estabelecidos pelo processo de erosão dos depósitos de sedimento, enquanto que nas zonas menos expostas à erosão, áreas da planície de inundação, ocorrerá deposição dos sedimentos. No caso de reservatórios estreitos, pode ocorrer de não se apresentar uma planície de inundação e o canal de drenagem ocupar toda a extensão do reservatório. Esta configuração de planície de inundação com presença de canais pode ser também criada durante eventos de rebaixamento do reservatório, como eventos de descarga de sedimentos, onde os depósitos de sedimento expostos são erodidos no formato de canais. Neste caso, quando o reservatório retorna ao seu nível operacional normal os canais ficarão submersos. Os sedimentos removidos pela descarga compreendem em sua maioria os que foram removidos para a formação do canal, e não os que configuram a planície de inundação.

Estágio 3 - Restabelecimento do balanço sedimentológico: o restabelecimento do balanço sedimentológico é estabelecido quando os sedimentos mais grosseiros transportados pelo rio atingem e transpõem a barragem, seguindo para a região de jusante. O ponto determinante deste estágio é a descarga para jusante de material grosseiro. Neste caso, os depósitos de montante do reservatório podem se elevar acima do coroamento da barragem. Deve-se notar que o regime sedimentológico não necessariamente será igual ao anterior à construção da barragem, a nova configuração pode, por exemplo, reter os sedimentos em eventos menores e liberar cargas de sedimentos maiores em eventos de grande proporção.

A Figura 2 ilustra os estágios de um reservatório segundo a classificação apresentada por Morris e Fan (2010).

Figura 2 – Estágios da vida de um reservatório sob ótica da geomorfologia.

Fonte: Adaptado de Morris e Fan (2010).

Diversos estudos (nacionais e internacionais) apresentam os problemas decorrentes do assoreamento. Dentre estes estudos, cabe destacar a *Environmental Protection Agency - EPA* (1976), Muller (1995), Morris e Fan (2010) e Carvalho (2008) que citam que o assoreamento tem como principais consequências:

- Redução do volume de água armazenado no reservatório;
- Obstrução de canais de irrigação, navegação e trechos de cursos d'água;

- Dificuldade ou impedimento da entrada de água em estruturas hidráulicas de sistemas de captação para abastecimento;
- Formação de bancos de areia dificultando e alterando rotas de navegação;
- Afogamento de locais de desovas, alimentação e abrigo de peixes;
- Degradação da qualidade da água para consumo e consequente aumento dos custos de tratamento;
- Alteração, destruição e degradação de ecossistemas aquáticos;
- Veiculação de poluentes (fertilizantes, inseticidas, produtos químicos), bactérias e vírus;
- Interrupção do fluxo natural de sedimentos;
- Erosão nos trechos de jusante;
- Retração de deltas de rios.

A Figura 3 ilustra alguns problemas ocasionados pela deposição de sedimentos nos reservatórios, tendo em vista que as distribuições dos mesmos não ocorrem de maneira uniforme e originam diferentes tipos de depósitos e problemas.

Figura 3 – Formação de depósitos de sedimentos nos reservatórios e seus principais problemas.

Fonte: Carvalho (2008).

Embora os problemas de assoreamento de reservatórios e transporte de sedimentos sejam uma preocupação antiga, Simmons e Sentürk (1992) relatam que os primeiros indícios de estudos hidráulicos e transporte de sedimentos datam de 4000 a.C. na China, Mesopotâmia e Egito e uma fase mais moderna com os estudos de Leonardo Da Vinci em 1452, segundo Cabral (2005) as pesquisas sobre este tema apareceram com mais frequência na literatura internacional após 1930, através dos trabalhos de Fiock² (1934), Grover e Howards³ (1938) e Eakin⁴ (1939).

No Brasil, publicações na área de sedimentologia foram raras até 1970. Segundo Carvalho (2008), a primeira publicação sobre o tema foi o livro “Regularização de Rios” de autoria de Octávio Dias Moreira, publicado em 1951 pelo Departamento Nacional de

² FIOCK, L.R. (1934). Records of silt carried by the Rio Grande and its accumulation in elephant butte reservoir. *American Geophys. Union Trans*, v.15, pp. 468-473.

³ GROVER, H.G; HOWARDS, C.S. (1938). *The passage of turbid water through lake mead*. Tran ASCE, 103, pp. 720-736.

⁴ EAKIN, H.M. (1939). *Silting of reservoirs*. Washington DC: United States Department of Agriculture. Tech Bulletin, 524, pp. 90-167.

Obras de Saneamento (DNOS). Ainda segundo o autor, algumas publicações merecem destaque por terem sido precursoras nesta área, como: “A Erosão no Brasil” de Wanderbilt Duarte de Barros (1956); “Rio Camaquã, Estudo sobre o Transporte de Sólidos” de autoria de Rubens R. Nebrick (1958); “Hidráulica Fluvial” de Alfredo Bandini (1958); “Manual de Hidrometria” publicado em três volumes e elaborado pela Divisão de Hidrologia da Diretoria Técnica da CEMIG (1965) e dois trabalhos publicados pelo DNAEE (Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica) intitulados “Definições, Finalidade, Estabelecimento e Aplicações da Técnica de Hidrograma Unitário para uma Bacia Hidrográfica – Descarga Sólida, Estudos e Exemplificações em Rios Brasileiros” (1966) e “Guia Prático para Estabelecimento de uma Curva-Chave – Vida Útil dos Reservatórios” (1970), ambos de autoria de Roberto Serebrenick e Newton de Oliveira Carvalho.

Na literatura mais recente um panorama geral do assoreamento de reservatórios dos Estados Unidos é compilado no trabalho do Instituto de Pesquisa de Energia Elétrica – *EPRI* (EPRI, 2000), em 1995 a Comissão Reguladora Federal de Energia (*FERC*) dos Estados Unidos em conjunto com o *EPRI* realizou estudos e levantamentos em projetos hidrelétricos licenciados na *FERC* para determinar a frequência e gravidade dos problemas de sedimentação nos reservatórios do país. Os resultados destas pesquisas indicaram que aproximadamente um em cada quatro reservatórios nos Estados Unidos tinha problemas de sedimentação que incluíam desde a perda de armazenamento do reservatório e problemas de operação até degradação ambiental e comprometimento de lazer, entre outros. Deste modo, os resultados indicaram que a sedimentação era um problema importante nos projetos hidrelétricos e que deveriam ser tomadas medidas para redução dos impactos deste problema no setor elétrico e em outros setores como abastecimento, navegação, irrigação e recreação.

O trabalho de Kashiwai (2005), que apresenta como é tratada a questão da sedimentação e gestão de sedimentos nos reservatórios japoneses. O estudo enfatiza o possível aumento dos problemas de sedimentação que devem ocorrer em curto prazo no seu país ante ao avanço da idade dos reservatórios e possível aumento da taxa de assoreamento. Destaca alguns métodos que vêm sendo empregados para controle deste problema, como a retirada dos sedimentos dos reservatórios (dragagem). No trabalho, também é apresentada uma compilação de dados que relacionam o volume assoreado em 26 reservatórios do País com os tamanhos das partículas de sedimentos encontrados, buscando compilar subsídios para a identificação de um padrão de assoreamento em reservatórios japoneses. O trabalho Liu e colaboradores (2002) ilustra a grande

preocupação de alguns países asiáticos (como China, Índia e Japão) na influência do assoreamento na gestão dos seus reservatórios. Neste estudo é possível observar algumas medidas que vêm sendo adotadas por estes países para redução dos problemas de sedimentação, com destaque à dragagem.

O governo Britânico, por meio do Departamento de Meio Ambiente, Transporte e Regiões e da contratação da consultoria *Halcrow Water* realizou a compilação das informações e elaboração de um panorama do assoreamento dos reservatórios britânicos, com um enfoque principal nos reservatórios destinados a abastecimento público (Green 2001). Foi encontrado que apesar de uma relativa baixa taxa de assoreamento, 0,13% ao ano, com reservatórios antigos e crescente pressão sobre os reservatórios de abastecimento devido ao aumento populacional o assoreamento é significativo para a realidade local. É também destacado a preocupação com o aumento dos problemas decorrentes do assoreamento, sendo apontado o possível crescente aumento da taxa de assoreamento devido a mudanças climáticas e maiores picos de cheia como temas a serem melhor estudados.

Numa linha mais generalista de busca de uma estimativa média do assoreamento de reservatórios, um trabalho que merece destaque relacionado ao assoreamento de reservatório é o estudo realizado pelo Banco Mundial (MAHMOOD, 1987⁵ citado por CARVALHO *et al.*, 2000), que apresenta que a redução da vida útil média dos reservatórios no mundo de 100 para 22 anos e destaca que a perda média anual de volume dos reservatórios, devido ao assoreamento, era de 1% variável de um local para o outro. Com relação aos reservatórios brasileiros, Carvalho (2008) apresenta um estudo realizado pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) em 1994, para a Eletrobrás, que concluiu que a perda média anual de volume de armazenamento dos reservatórios no país era de aproximadamente 0,5%.

Um estudo realizado no Instituto de Meteorologia e Gestão Hidrológica em Varsóvia (Polônia) revisou as taxas de sedimentação de 19 reservatórios da Europa Central e constatou que a taxa média de sedimentação dos mesmos era de 0,51% ao ano (GLYMPH, 1973). Segundo Goldsmith e Hildyard (1984), estas taxas são bem menores em reservatórios localizados em zonas temperadas do que em regiões de zonas tropicais,

⁵ MAHMOOD, K. (1987). *Reservoir sedimentation – impact, extent and mitigation*. World Bank Tech. Paper No. 71. Washington, DC.

principalmente devido às consequências dos desmatamentos nestas áreas e pela quantidade de sedimentos produzidos e transportados nos solos tropicais.

Xiaoqing (2003) apresenta também uma tentativa de estimativa de dados de assoreamento médio para reservatórios chineses, correlacionando as taxas médias de assoreamento com a localização dos reservatórios, apontando valores entre 0,20 a 3,02 % de taxa anual de perda de volume entre reservatórios de províncias diferentes. O autor apresenta em resumo os resultados dos trabalhos de Gottschalk (1964)⁶ que apresenta as taxas médias anuais de assoreamento de 66 reservatórios do Estados Unidos analisados de acordo com sua região geográfica, apresentando taxas variando de 0,30 a 1,28 %.

Apesar da relativa grande variabilidade apresentada, valores médios de taxa de assoreamento são interessantes para se proporcionar panoramas gerais da condição dos reservatórios e para efeitos de comparação. É destacado por Xiaoqing (2003) a grande correlação entre a taxa de assoreamento e as características da área de drenagem, onde quanto maior a taxa de perda de solo da bacia, maior a taxa média anual de assoreamento, sendo essa uma maneira de se adequar melhor a escolha de qual taxa de assoreamento de referência utilizar.

Existem inúmeras incertezas associadas aos estudos do assoreamento, tanto aos dados de campo coletados, bem como dos métodos e suposições utilizadas para a previsão dos cenários futuros. Podemos destacar os erros associados a: medição da descarga líquida; amostragem do sedimento; cálculo do transporte de sedimentos (diversos métodos e equações para representação deste fenômeno); previsão do cenário hidrológico, destacando tanto a possibilidade de variabilidade climática quanto a natureza estocástica (componente aleatório intrínseco) dos dados hidrológicos; previsão da operação do reservatório; e previsão da variação do aporte de sedimento devido a mudança de uso e ocupação da bacia de drenagem.

Tento pela acurácia do método de cálculo do assoreamento, quanto pelos erros associados aos dados de entrada e da previsão decenários futuros, é relativamente comum que os estudos de previsão do assoreamento da fase de projeto e estudo de viabilidade de barragens possua divergências com o assoreamento observado durante a operação do reservatório.

⁶ Gottschalk, L. G. (1964). *Reservoir sedimentation. Handbook of Applied Hydrology*, (ed.) V.T. Chow, McGraw-Hill.

Uma compilação de dados de assoreamento reservatórios da Índia realizada por Thakkar e Bhattacharyya (2006) apontam pelo menos 14 dos 27 reservatórios apresentam taxa anual de assoreamento superiores as previstas nos seus estudos de viabilidade, chegando em números de até 27 vezes. É apontado no estudo a deficiência e limitação dos dados utilizados, e que na maioria dos outros 13 casos não foi possível fazer a comparação devido a ausência de dados de projeto. Apesar de todas as limitações apresentadas, os resultados apontam a existência de uma grande incerteza nos estudos de previsão do assoreamento, e que esta pode levar a sérios problemas de gestão da segurança hídrica e energética.

Goldsmith & Hildyard (1984), em referência ao *United States Committee on Large Dams – USCOLD* (1982), destacam alguns estudos sobre assoreamento precoce de reservatórios chineses não previstos nos estudos da fase de projeto. O Reservatório de Laoying que foi assoreado antes mesmo da construção da sua barragem ser concluída, e o emblemático caso do Reservatório de Sanmenxia, que foi concluído em 1960, teve de ser desativado em 1964 devido ao seu assoreamento prematuro. Após construção de adufas adicionais e operação com descarregamento contínuo de sedimentos das cotas inferiores do barramento a usina de Sanmenxia passou a operar com vazão turbinada reduzida (Xiaoqing, 2003).

O Brasil, apesar de, segundo Almeida & Carvalho (1993), possuir diversos aproveitamentos hidrelétricos com sua capacidade de geração reduzida ou até mesmo a operação interrompida devido a problemas de assoreamento, pouca documentação técnico-científica de domínio público é encontrada. Possivelmente, isto se deve às condições do mercado de energia nacional dominado por empresas de capital aberto, onde assumir publicamente problemas com empreendimentos hidrelétricos podem afetar o mercado de ações.

Pode-se destacar na literatura nacional o trabalho de Carvalho e Lôu (1986) que apresenta o caso da UHE de Mascarenhas localizada no Rio Doce (ES). Inaugurada em 1974 teve o seu reservatório planejado para regularizar uma vazão de 600 m³/s e gerar 120 MW, porém dispunha na maior parte do tempo, de uma vazão de 400 m³/s e em períodos de estiagem este valor se reduzia a 190 m³/s. Além das divergências no estudo hidrológico, foi observado problemas de assoreamento do reservatório. Segundo os autores, a principal causa deste problema encontrava-se na ausência de estudos sedimentológicos na bacia hidrográfica onde o reservatório estava inserido, desconsiderando-se assim, na fase de projeto da usina, a grande quantidade de sedimentos produzida no local. Carvalho (2000)

acrescenta que a realização de estudos sedimentológicos de maneira adequada na fase de estudo poderia ter alterado o projeto como foi construído, sendo previstos órgãos de descarga ou outra maneira de se lidar com o assoreamento.

No centro-oeste brasileiro pode-se citar os casos da PCH Casca I que foi desativada antes do previsto, as UHE's Casca II e Casca III que tiveram sua geração reduzida em relação ao previsto em projeto em função da alta concentração de sedimentos em seus reservatórios, as três localizadas no norte do Mato Grosso (RIBEIRO & SALOMÃO, 2001).

Carvalho e colaboradores (2000a) citam o caso da UHE Itiquira no Mato Grosso que na época do estudo já apresentava problemas com assoreamento precoce. O estudo revisou estudos sedimentológicos do empreendimento e estimou uma vida útil reduzida de 8 anos. Concluiu-se que a operação normal da usina seria interrompida devido ao assoreamento, sugerindo-se a adequação do projeto e regras de operação inicialmente propostos para a UHE, sugerindo a construção de um desarenador, ou regras de operação prevendo remoção periódica dos sedimentos por meio de descarga de fundo e/ou dragagem.

No estado de Minas Gerais a usina de Brecha é outro exemplo de reservatório assoreado, sua capacidade de armazenamento inicial que era de 2.000.000 m³ em 1958, teve uma redução de 800.000 m³ (40%) em 1992, passando para 1.200.000 m³. Este assoreamento ocasionou uma diminuição significativa na geração de energia, sendo a diferença entre a energia produzida e a capacidade de produção prevista em projeto era de 9.000.000 kWh/ano em 1992, representando uma perda na ordem de 400 mil a 500 mil dólares (Paiva, 1993).

Mauad e colaboradores (2009) realizaram o estudo do assoreamento do reservatório da UHE Três Irmãos, a qual apresentou aproximadamente 14,5% de redução de seu volume útil. É reportado que o resultado encontrado foi superior ao esperado, porém não é citado o estudo sedimentológico de projeto. Baseado nestes dados, Miranda (2011) realizou simulações da capacidade de regularização do reservatório após o seu assoreamento. Foi constatado que durante o período de estiagem o reservatório não conseguiria suprir integralmente as suas demandas de projeto, deixando de gerar, em média, 377 MWh por mês durante os 15 anos do período estudado.

Apesar de não fazer referência a previsão de assoreamento e vida útil dos estudos de viabilidade, os trabalhos de Paiva e colaboradores (1998) e de Dill (2002) permitem observar a tendência crescente da taxa de assoreamento do reservatório gaúcho de Vacáí-Mirim. Com sua construção iniciada em 1961 e seu enchimento em 1972, ao longo dos

primeiros 25 anos de operação (1972 a 1997) houve uma redução de aproximadamente 23% na capacidade de armazenamento do reservatório, 0,92% ao ano (PAIVA *et. al*, 1998). Posteriormente Dill (2002) realizou um novo estudo no local e através de levantamentos batimétricos realizados em 2001 constatou que a redução do volume do reservatório era de 29,45% com relação ao seu volume original, mostrando que no período de 4 anos (1997 até 2001) houve 6,45 % de assoreamento em relação ao volume original, traduzindo-se em uma taxa de 1,61 % ao ano.

Ainda dando destaque a casos de assoreamento relatados na literatura nacional o trabalho de Paiva (1993) apresenta o estudo na UHE de Taquaruçú (MG), construída em 1935, e constatou que o reservatório da mesma, teve uma considerável perda de capacidade de armazenamento no decorrer dos anos de operação. O reservatório que inicialmente tinha capacidade de 2.200.000 m³, passou a 700.000 m³ em 1992. Ou seja, perda de 70% de sua capacidade. Como consequência, a produção de energia que era de 20.000.000 kWh/ano em 1935, diminuiu para 12.000.000 kWh/ano em 1992 (40% da capacidade produtiva da central). A perda de rendimento financeiro estimado para o ano de 1992 foi de 400 a 500 mil dólares.

Em relação aos prejuízos financeiros decorrentes, Almeida e Carvalho (1993) também relatam que uma das paralisações da UHE Funil (BA) foi devido ao assoreamento do reservatório (ocorrida entre o período de janeiro de 1992 a março de 1993) e acarretou para a Companhia Hidrelétrica do São Francisco – CHESF, uma perda no faturamento na ordem de 1,2 milhões de dólares, além do custo para dragagem do sedimento do reservatório (32.880 m³) e dos condutos forçados (1.000 m³), de aproximadamente 220 mil dólares.

Apesar da ênfase dos estudos de Almeida e Carvalho (1993), Paiva (1993) e Miranda (2011) na perda financeira e de geração de energia das concessionárias de energia, o propósito de se citar estes trabalhos é ilustrar o fato de reservatórios assoreados não conseguem atender (total ou parcialmente) o seu propósito.

Como exemplo de estudos da influência do assoreamento na operação de reservatórios com finalidades diferentes podemos citar o trabalho de Lee e You (2011) que analisaram a capacidade de amortecimento de cheia e o risco de transbordamento do reservatório de Shihmen em Taiwan sob diferentes cenários hidrológicos considerando variação da previsão do volume de assoreado. É apontado que a variação do aporte de sedimento não é linear com o deflúvio, e que no cenário de menores picos de vazão (mudanças climáticas mais brandas) a vida útil seria de 50 anos e que num horizonte de 40

anos haveria risco de transbordamento para eventos de 100 anos de período de retorno, já no caso de cenário com maiores picos de vazão (mudança climática severa) o reservatório teria sua vida útil reduzida de 10-15 anos e num horizonte de 20 anos eventos de 10 anos de período de retorno poderiam causar o transbordamento, situação essa que poderia levar a inviabilidade de operação do reservatório antes do previsto.

Ainda retratando sobre a capacidade de amortecimento de cheias e o risco hidrológico de barragens Gebregiorgis e Hossain (2012) destacam o papel importante de se considerar a redução do volume dos reservatórios causado pelo assoreamento. Fazem ainda uma referência a limitação da análise apresentado por não se aprofundarem na previsão do assoreamento, destacando que o aporte de sedimento varia com o tempo, assim como a eficiência de retenção dos sedimentos no reservatório, e que estes fatores não eram considerados na estimativa do assoreamento empregada.

Estigoni e colaboradores (2014a) destacam que o volume do reservatório e o cálculo do assoreamento são dados base para estudos de diferentes finalidades, e que os erros e incertezas são propagados, e talvez potencializados, no resultado final de tais estudos, destacando o importante papel desta linha de pesquisa. A literatura é vasta quando em se tratando das diferentes abordagens para a redução das incertezas associadas aos estudos do assoreamento, em geral dividindo-se em focos de estudo nos dados de entrada dos modelos de previsão de assoreamento (como a medição de descargas sólida e de levantamento batimétrico) e nos modelos de previsão propriamente ditos.

O cálculo do aporte de sedimentos é geralmente realizado por meio da relação instantânea da descarga sólida com a vazão, sendo esta uma relação expressa do por uma equação do tipo potência. Esta relação caracteriza que o aporte de sedimento cresce mais rápido que a vazão.

Livros técnicos e manuais, como Vanoni (1977), Yuqian (1989), Xiaoqing (2003), Carvalho (2008), Morris e Fan (2010), entre outros, apresentam os procedimentos convencionais para a medição do assoreamento, os quais possuem um erro associado conhecido, bem como procedimentos e técnicas de cálculo para a minimização destes erros de amostragem. Porém as medidas convencionais são demasiadamente demoradas, trabalhosas e podem requerer grandes volumes de amostra para posterior análise em laboratório, muitas vezes inviabilizando a coleta de dados em quantidade suficiente.

Dentre os métodos desenvolvidos para a redução do esforço de coleta de dados no monitoramento destacam-se as técnicas de medição indireta de concentração de sedimentos por meio de turbidímetros, analisadores granulométricos por difração *laser* (LISST) e

medidores acústicos de vazão por efeito *Doppler*. As três técnicas citadas correspondem ao estabelecimento de uma correlação entre medidas convencionais de concentração de sedimentos com os dados obtidos pelos equipamentos, os quais possuem a capacidade de coletar dados continuamente, o que possibilita não só a obtenção de um maior número de dados para o estabelecimento de curva-chave de sedimentos como o monitoramento contínuo e de picos de cheia.

Deines (1999) apresenta o trabalho pioneiro do uso de medidores acústicos de vazão por efeito *Doppler* na estimativa de concentração do sedimento. É explicado em seu trabalho que o ruído (*backscatter*) apresentado no eco do sinal dos medidores de vazão é causado, entre outros fatores, pelas partículas em suspensão, os quais são compostos principalmente por minerais (sedimentos) e matéria orgânica viva (plâncton) e morta (partículas de folhas, material em decomposição, etc.). Conhecendo-se a parcela deste material que se refere ao sedimento pode se estabelecer uma correlação entre o ruído do sinal e o material em suspensão.

De maneira análoga, a turbidez da água é fortemente relacionada com a concentração de sedimentos, de modo que estas grandezas apresentam boa correlação. Os medidores granulométricos LISST por sua vez conseguem medir o tamanho e concentração das partículas em suspensão, porém fornecem dados em volume e não são capazes de fazer a diferenciação entre matéria orgânica e sedimentos. Tanto o uso de turbidímetros quanto de analisadores granulométricos LISST realizam a medida em um único ponto da seção de medição, enquanto que os medidores *Doppler* quando fixos medem a faixa para onde são apontados (limitando-se a área pela atenuação do sinal) (STRAUB, 2012), ou medem toda a seção quando em movimento (Dinehart & Burau, 2005) viabilizando a coleta de dados distribuídos espacialmente para a calibração de modelos de transporte de sedimento em mais de uma dimensão (Mauad *et. al*, 2014).

Visando melhor entendimento do comportamento sedimentológico dos locais de medição, bem como o parâmetros que de influenciam na medição indireta dos sedimentos Topping e colaboradores (2006), Williamson e Crawford (2011) e Daphne (2011) têm realizado experimentos com a aplicação conjunta das três técnicas e medidas convencionais, sendo apontado que medidores *Doppler* são afetados pela granulometria dos sedimentos e a distância percorrida pelo sinal, enquanto que os turbidímetros se mostram mais robustos quando não se tem rios ricos em matéria orgânica. Sendo apontado como promissor o uso em conjunto das três técnicas para a obtenção de um monitoramento contínuo, ou, como apontado em Mauad e colaboradores (2014).

Destaca-se o importante papel das pesquisas de melhoria dos procedimentos de coleta de dados sedimentológicos e da viabilização do monitoramento contínuo de sedimentos por meio dos resultados das pesquisas de Koch e Smillie (1986) Meade e colaboradores (1990), Horowitz (2003) e Requena Sanchez e colaboradores (2016). Todos estes trabalhos apontam para o fato de que a maioria do transporte de sedimentos se dá em eventos de cheia, fazendo a ressalva que medições durante esses eventos são importantes para a boa estimativa da curva-chave de sedimentos em grandes vazões. Destaca-se que dificilmente serão medidos eventos de cheia com monitoramento convencional, seja pelos fatores limitantes quanto a segurança de se fazer medições em cheias, quanto pela probabilidade de coincidir as esparsas medições com o evento de cheia, no Brasil, por exemplo, os órgãos competentes requerem que sejam feitas quatro campanhas de medições de sedimentos anualmente (ANEEL-ANA, 2010).

Ainda em relação à redução das incertezas nos dados de entrada de modelos de previsão de assoreamento, Grigorescu e colaboradores (2007), Furnans e Austin (2008), Estigoni (2012) e Estigoni e colaboradores (2014a,b,c) propõe técnicas para melhorar a acurácia da medição do volume de reservatórios por meio de levantamentos batimétricos. Destacando-se os trabalhos de Estigoni e colaboradores (2014a,b) que propõe um método de compatibilização dos resultados de levantamentos batimétricos realizados com diferentes níveis de detalhamento e estimando o possível erro associado a esta comparação.

Em relação a parâmetros específicos dos métodos empíricos de estimativa de assoreamento Imanshoar e colaboradores (2014) utilizam dados de campo para a calibração do método de estimativa do peso específico dos depósitos de sedimento para melhorar os resultados da previsão do assoreamento. Garg e Jothiprakash (2008) propõe a melhoria dos métodos de estimativa da eficiência de retenção de sedimentos nos reservatórios por meio do uso de dados de campo, sugerindo alterações nos coeficientes das curvas utilizadas. Miranda (2015) aborda a redução da incerteza dos métodos empíricos por meio da padronização da interpretação os ábacos utilizados por meio de uma ferramenta computacional.

As incertezas relacionadas a variabilidade da vazão afluente podem ser reduzidas com o uso de séries de dados hidrológicos mais longas. Enquanto que a incerteza relacionada à produção de sedimento na bacia é mais difícil de ser reduzida, pois a previsão da alteração do uso e ocupação do solo, adoção de medidas de controle a erosão, construção de barragens e/ou obras no trecho de montante do rio são fatores imprevisíveis no longo prazo, de modo que o presente trabalho não abordará esta questão.

Nem todo o sedimento que adentra a um reservatório se deposita, existe uma parcela que permanece em suspensão e que passa pelos órgãos de descarga, continuando seu curso natural pelo rio. Deste modo, é comum na área de engenharia de sedimentos mencionar que os reservatórios possuem uma determinada eficiência de retenção de sedimentos (Er), sendo este um parâmetro fundamental para se determinar calcular o assoreamento do reservatório.

Em linhas gerais, a eficiência de retenção de um reservatório é função das características do sedimento (tamanho das partículas) e da velocidade do escoamento, a qual é determinada pela combinação da área da seção transversal e da vazão afluente. A deposição de sedimentos ao longo dos anos causa e redução do volume do reservatório e da área da seção transversal, culminando em velocidades de fluxo maiores e na redução da Er .

Existem diferentes abordagens para a previsão do assoreamento. A abordagem mais simplista é a previsão da Er por ábacos, a qual analisa somente o volume total do reservatório e não o local de deposição dos sedimentos. Dos métodos convencionais encontrados na literatura para a determinação da Er , o mais utilizado é o da curva de Brune. A análise pautada na eficiência de retenção possibilita somente a análise da vida útil do reservatório, não capaz de avaliar em separado a alteração do volume morto e útil, e nem de prever problemas da capacidade de regularização de vazão.

Diversos são os métodos empíricos e semi-empíricos encontrados na literatura para a estimativa da Er , Issa e colaboradores (2015) e Garg & Jothiprakash (2008) apresentam em seus estudos um os métodos de Brown (1944)⁷, Churchill (1948)⁸, Brune (1953), Borland (1971)⁹, Dendy (1974), Gill (1979), Ward (1980)¹⁰, Heinemann (1981) e Jothiprakash e Garg (2008). Como todos os métodos empíricos e semi-empíricos, os métodos citados foram criados baseados em uma quantidade limitada de dados de medições de reservatórios assoreados, possuindo limitações em suas aplicações conforme os dados

⁷ Brown, C.B. (1944) *Discussion of Sedimentation in Reservoirs*. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 69, 1493-1500.

⁸ Churchill, M.A. (1947) *Discussion of "Analysis and Use of Reservoir Sedimentation Data"*. Proceedings of the Federal Inter-Agency Sedimentation Conference, Denver, 6-8 May 1947, 139-140.

⁹ Borland W.M. (1971) *Reservoir Sedimentation*, in: *River Mechanics*, edited by H.W. Shen, Chapter 29, Forth Collins: Water Resources Publication.

¹⁰ Ward, P.R.B. (1980) Sediment Transport and a Reservoir Siltation Formula for Zimbabwe-Rhodesia. *Die Siviele Ingenier in Suid-Afrika*, 9-15 (Januarie).

utilizados para sua calibração. Dentre os métodos de estimativa citados, sem dúvida os mais difundidos são o de Brune e de Churchill.

Diversos materiais bibliográficos apresentam o gráfico para obtenção dos parâmetros para uso do método da curva de Brune, como exemplo: Carvalho (2008); Morris e Fan (2010); Strand (1987); e Vanoni (1977), entre outros. Apresenta no eixo das ordenadas o valor da eficiência de retenção de sedimentos (em porcentagem ou fração) e no eixo das abscissas, a capacidade de afluência (que corresponde ao volume do reservatório dividido pelo deflúvio médio anual afluente) (CARVALHO *et al.*, 2000b). A Figura 4 apresenta a curva de Brune.

Figura 4 – Curvas de eficiência de retenção de sedimentos em reservatórios, segundo Brune (1953).

Fonte: Carvalho (2008).

Faz-se a ressalva que o trabalho original de Brune (Brune, 1953) se limita a exposição da correlação entre a razão da capacidade pela vazão afluente e a eficiência de retenção, não entrando no mérito do seu uso para estimativa da vida útil dos reservatórios. Para Carvalho e colaboradores (2000b), Carvalho (2008) Eletrobrás (2000) a previsão do assoreamento de um reservatório e o tempo de assoreamento de um determinado volume do mesmo (volume total, morto ou útil) podem ser obtidas por meio das Equações 1 e 2. É feita uma ressalva que case se espere aumento da erosão na bacia deve-se utilizar D_{st}

multiplicado por dois ou utilizar dados sedimentológicos históricos para prever o aumento do aporte de sedimentos.

$$S = \frac{D_{st} \cdot E_r}{\gamma_{ap}} = \frac{365 \cdot Q_{st} \cdot E_r}{\gamma_{ap}} \quad (1)$$

$$T = \frac{V_{res}}{S} \quad (2)$$

Em que:

S = volume de sedimento retido no reservatório (m^3 /ano);

D_{st} = deflúvio sólido total médio anual afluyente ao reservatório (t/ano);

E_r = eficiência de retenção do sedimento afluyente ao reservatório (% e fração);

γ_{ap} = peso específico aparente médio dos depósitos (t/m^3);

Q_{st} = descarga sólida total média afluyente ao reservatório (t/dia);

T = tempo de assoreamento de um determinado volume do reservatório (anos);

V_{res} = volume do reservatório a ser analisado, como o total ou morto (m^3).

Chama-se a atenção que esta abordagem parametriza a E_r do reservatório como uma constante e o aporte de sedimentos em taxa média anual também constante, mesmo que considerado um fator de correção devido ao aumento esperado no futuro. Ao se assumir estes parâmetros se desconsidera a variabilidade da eficiência E_r ao longo do tempo, causada tanto pela redução do volume do reservatório, quanto pela variação da vazão e nível de operação do reservatório.

A abordagem apresentada em Strand (1987) aconselha o cálculo de maneira iterativa nos casos onde se espera significativa redução do volume de armazenamento, utilizando intervalos de tempo de 10 anos para a atualização do valor de E_r . É também afirmado que não seria prática a análise do assoreamento utilizando cálculo com intervalos de tempo menores, justificando também devido à variabilidade da vazão e aporte de sedimentos na escala anual, sendo proposto o uso de um valor médio constante para o aporte de sedimentos.

Com o avanço tecnológico a presente facilidade de realização de cálculos iterativos com auxílio de computadores as limitações de cálculo relatadas por Strand (1987) deixaram de existir, possibilitando o uso de intervalos de tempo menores para a melhoria

da previsão do assoreamento. Para se minorar a influência do fator variável da *Er* alguns autores propõem adaptações no método. Issa e colaboradores (2015) destacam o problema da *Er* constante no tempo e utilizaram passo de tempo mensal para estudos e compararam com a medição direta do assoreamento por meio de batimetrias na Barragem de Mosul no Iraque. A abordagem utilizando passo de tempo mensal reduziu o erro do cálculo do assoreamento em praticamente metade quando comparado com o uso de intervalo de tempo anual. O estudo não realizou a previsão do assoreamento.

Lewis e Colaboradores (2013) realizaram uma adaptação para a avaliação diária da eficiência de retenção no reservatório da barragem de Burdekin Falls no nordeste da Austrália e relatam melhoras no resultado em relação a intervalos de tempo superiores quando comparado com medições diretas do assoreamento.

Destaca-se também a possibilidade de calibração dos ábacos tradicionais com dados do reservatório estudado. Como exemplo, cita-se o estudo de Garg e Jothiprakash (2008) que utilizou dados de medição do assoreamento ao longo de 40 anos para a calibração dos coeficientes da equação proposta por Brune (1953) e Gill (1979) no Reservatório de Gobindsagar (Barragem de Bhakra) na região do Himalaia na Índia. Os estudos de Lewis e Colaboradores (2013) citados anteriormente também realizaram a calibração dos parâmetros das equações de Brune e de Churchill.

Carvalho e colaboradores (2000b), Carvalho (2008), Eletrobrás (2000), Morris & Fan (2010) citam o método empírico da eficiência de retenção como um método de estudo preliminar, porém é comum nos estudos de reservatórios se brasileiros não se realizar estudos mais aprofundados quando se prevê uma vida útil maior que o esperado para a exploração comercial do empreendimento. Levando a construção e reservatórios que, apesar de exploráveis por muitos anos, podem sofrer precocemente com problemas decorrentes de assoreamento e não serem capazes de atender suas finalidades como previstas em projeto, o que poderia até mesmo mudar o resultado de análise de viabilidade técnico financeira da barragem.

O aprofundamento dos estudos de assoreamento de reservatórios na fase de estudo de viabilidade compreende desde coleta de dados em campo (para aumentar a série de dados hidrossedimentológicos) e em especial o uso de métodos de cálculo que proporcionarão o conhecimento do comportamento do assoreamento (deposição no volume morto ou volume útil). Lopes (1993) relata a prática de se assumir que os depósitos de sedimentos são acumulados em camadas horizontais a partir do pé da barragem, destacando

que esta é uma prática “completamente inverossímil”, denominado como “método clássico” de estimativa de distribuição dos depósitos.

Uma abordagem capaz de prever a localização dos depósitos é a de Borland & Miller, apresentado em Xiaoqing (2003), Carvalho (2008), Morris e Fan (2010), entre outros livros e manuais, também chamado de método empírico de redução de área. Pautase no estudo do assoreamento de 30 reservatórios localizados nos Estados Unidos onde se analisou a distribuição dos depósitos dos sedimentos e se correlacionou com características do reservatório (vazão, formato, volume, tipo de operação, entre outros) e do sedimento (peso específico e tamanho das partículas). Este método é capaz de prever a cota em que o sedimento se depositará, permitindo assim avaliar a redução do volume morto e útil em separado, bem como a chegada do depósito de sedimentos nos órgãos de descarga. No cenário nacional, destaca-se os trabalhos de Mendes (2008) no desenvolvimento dos programas computacionais SEDIMENT e DEPOSIT comercializados juntamente com o livro “*Hidrossedimentologia Prática*” (Carvalho, 2008), a descrição dos programas e do método de Borland & Miller pode ser encontrada no anexo XV do referido livro.

Há também relatos na literatura previsão do assoreamento e estimativa de vida útil de reservatórios por meio da comparação de levantamentos batimétricos e datação de sedimentos, considerando a taxa de assoreamento do passado como sendo replicada no futuro, a qual é uma abordagem simplista e desconsidera efeitos físicos do escoamento hidráulico e das alterações das condições do local estudado. Apesar de a comparação entre batimetrias ser um método confiável para a medição do assoreamento (no período entre a coleta de dados dos levantamentos), a adoção de uma taxa de assoreamento constante e baseada na comparação de batimetrias não é realista, pois desconsidera as características hidráulicas do escoamento no reservatório que afetam a deposição de sedimentos, a eventual variabilidade da vazão afluyente (o período base da análise pode ser um período atípico seco ou chuvoso) e do aporte de sedimento (variação do deflúvio e da produção de sedimento da bacia). Exemplos dessa abordagem são apresentados em Bufon e colaboradores (2009), Cabral e colaboradores (2009), Silva e colaboradores (2011), e Haregeweyn e colaboradores (2012).

Em contraste com os métodos empíricos e semi-empíricos citados, e com a comparação entre levantamentos batimétricos, temos os métodos analíticos, os quais correspondem ao cálculo de fato do transporte das partículas de sedimento e de sua deposição no reservatório. De uma maneira simplificada, calcula-se o transporte das partículas em função das forças de atrito entre o fluxo da água e da partícula, sendo

necessário o conhecimento do comportamento do fluxo da água e das características físicas do sedimento.

Modelos hidrodinâmicos são utilizados para calcular o movimento da água em um corpo d'água, já os modelos de transporte de escalares (nos quais se enquadram modelos de transporte de sedimentos) utilizam-se de modelos hidrodinâmicos para calcular o transporte de calor e de material dissolvido e em suspensão (i.e., sedimentos) na coluna d'água em função das características hidrodinâmicas, representando os processos de advecção, convecção e dispersão em um corpo d'água. O intuito desses modelos é obter a variação do escoamento (i.e., velocidade de fluxo, nível de água, e pressão) e concentração de escalares (i.e., temperatura, salinidade, poluentes, sedimentos, e etc.) no espaço e no tempo em função de suas forçantes (Estigoni *et. al*, 2012). Em especial no caso do transporte de sedimentos, incluem-se os termos de deposição, erosão e ressuspensão no modelo (Simões & Yang, 2006). Tais fenômenos acarretam na modificação da geometria do local, e consequentemente, no escoamento hidrodinâmico. A modelagem da alteração da geometria é chamada de morfodinâmica. Quando a velocidade obtida do escoamento hidrodinâmico é utilizada para o cálculo de transporte, e esse fornece valores para o cálculo de densidades no modelo hidrodinâmico, e fornece também uma nova geometria ao modelo hidrodinâmico a cada iteração do cálculo, diz-se que os modelos hidrodinâmicos, de transporte de sedimentos e morfodinâmicos estão acoplados.

A literatura sobre o assunto é extensa, dada a vasta aplicação dessas equações em problemas de engenharia, limnologia e oceanografia. No Brasil, a primeira publicação amplamente difundida sobre o assunto foi o livro Métodos Numéricos em Recursos Hídricos, vol. 1, lançado pela ABRH em 1989 (Wrobel *et al.*, 1989). Na literatura internacional pode-se destacar os trabalhos pioneiros nas aplicações de modelagem tridimensionais e bidimensionais integradas Leendertse (1967, 1970), Edinger e Buchak (1975) e Leendertse e Liu (1978). Exemplos de aplicações de modelos de transporte de sedimentos acoplados a modelos hidrodinâmicos podem ser encontrados em Vasquez (2012), Vasquez *et. al.* (2013), Chung e colaboradores (2009), entre muitos outros.

Pode ser realizada em uma, duas ou três dimensões (1D, 2D ou 3D), cada abordagem com suas vantagens e limitações. Utilizam os princípios da hidráulica e (em geral) teorias bem estabelecidas na literatura para cálculo da capacidade da água em mobilizar sedimento do leito do rio, transportá-lo e eventualmente depositá-lo. A forma do reservatório é discretizada no espaço como dados de entrada do modelo (e não

parametrizada como nos métodos apresentados anteriormente), o que permite a análise local do comportamento de deposição/erosão do sedimento.

A abordagem tridimensional é a que melhor representa o fenômeno do transporte de sedimento, porém, devido ao elevado esforço computacional, comumente são derivadas para simplificações das equações de fluxo para uma ou duas dimensões (Cancino & Neves, 1999), assim como simplificações da representação geométrica do local estudado. Nos modelos 1D a geometria é representada por seções transversais e o fluxo é assumido como perpendicular a seção, e a velocidade do escoamento em toda a seção é assumida como a velocidade média do escoamento. Nos modelos 2 e 3D a geometria é representada por uma superfície tridimensional discretizada no espaço por uma malha, os modelos 2D utilizam em cada local da malha a velocidade média entre a superfície e o fundo do escoamento (modelos verticalmente integrados) ou a velocidade média do escoamento em toda a largura do rio em uma dada profundidade (modelos lateralmente integrados). Os modelos 3D realizam a discretização horizontal e vertical do escoamento conforme o tamanho da malha da representação da geometria utilizada, sendo assim o mais próximo ao escoamento observado.

Como exemplo dos modelos hidrodinâmicos e de transporte de sedimentos podemos citar os modelos unidimensionais HEC-RAS, Mike 11, SRH-1D e Mascaret-1D. os modelos bidimensional integrados verticalmente (2DV) Telemac-2D+Sisyphe (respectivamente modelos hidrodinâmicos e morfodinâmico + transporte de sedimento), River2D-MOR, Mike 21 ST FM e Delft2D, o modelo bidimensional lateralmente integrada (2DH) *CE-QUAL-W2*, e os modelos tridimensionais Telemac-2D+Sisyphe (respectivamente modelos hidrodinâmicos e morfodinâmico + transporte de sedimento), TufLOW-FV3D, Mike 3 MF FM, SSIIMM, Delft3D, entre outros.

Os modelos quando acoplados calculam as propriedades hidráulicas para cada passo de tempo da simulação. O dado de forma do reservatório é atualizado (considerando a deposição/erosão de sedimentos no leito) a cada passo, representando ao longo do tempo as variações do volume do reservatório e suas implicações na hidráulica do escoamento e, conseqüentemente, no comportamento de deposição/erosão de sedimento no instante seguinte da simulação. Em linhas gerais é possível se detalhar a representação da geometria local e do intervalo de tempo (i.e., segundos ou décimos de segundos) tanto quanto se queira, porém ao custo de se aumentar o tempo de processamento da simulação. Assim como apontado por Cancino & Neves (1999) é comum o uso de simplificações da

representação geométrica (uso de escalas de representação maiores) e intervalos de tempo maiores entre as etapas de cálculo para se ganhar em tempo de processamento.

Além do esforço computacional, a resolução dos dados de campo demandados para a calibração de modelos em 2 ou 3 dimensões pode ser um fator limitante a aplicação dos mesmos, sendo a abordagem unidimensional mais simples de ser aplicada. Do mesmo modo que assumir simplificações facilitam o uso e calibração de modelos, estas também limitam sua aplicabilidade. Modelos unidimensionais, por exemplo, não são adequados para representar trechos sinuosos onde ocorrem fenômenos como correntes secundárias, formação de vórtices, diferenciação da velocidade do escoamento entre o talvegue e a região próxima as margens. Apesar de relativamente simples, modelos unidimensionais têm sido largamente utilizados nos estudos de previsão de assoreamento de reservatórios (Gibson e Boyd, 2014; Shelley *et. al*, 2015; Tiwari e Sharma, 2012), apresentando como vantagens a maior facilidade de se realizar estudos de longo períodos, e com menor quantidade de dados de campo.

Considerando que esta abordagem, no geral, utiliza de parâmetros do estudo de caso discretizados no tempo e espaço, e não generalizações realizadas a partir de um espaço amostral limitado de reservatórios estudados, a abordagem do uso de modelo hidrodinâmico, de transporte de sedimentos e morfodinâmico acoplados é por definição o recurso de maior detalhamento para o estudo do assoreamento de reservatórios, e, em teoria, produzirá resultados mais confiáveis.

A modelagem do transporte de sedimento, assim como qualquer outro modelo matemático, passa por um processo de validação que corresponde ao “Ciclo de Modelagem Computacional” proposto por Simões & Yang (2006) (Figura 5).

Figura 5 – Ciclo de Modelagem Computacional.

Fonte: Adaptado de Simões & Yang (2006).

O Protótipo corresponde ao caso a ser pesquisado, no caso o reservatório da PCH Mogi-Guaçu. Ele é definido pelas condições de contorno (dados de entrada no modelo) que correspondem à: modelo digital do terreno do reservatório (levantamento batimétrico ou levantamento topográfico anterior ao enchimento do reservatório); séries históricas de descargas líquidas e sólidas; caracterização dos sedimentos do reservatório, tanto do leito como em suspensão (granulometria, peso específico, concentração, etc.); temperatura da água; da qual se infere a viscosidade; formulações matemáticas para a representação do transporte e deposição do sedimento, dentre outros parâmetros.

A Interpretação identifica no protótipo todos os processos relevantes e os traduz em equações que são então compiladas no Modelo Matemático. Este é o primeiro passo rumo à solução do problema, o modelo matemático necessário para a elaboração do Modelo Numérico.

Na etapa Solução, o Modelo Matemático é resolvido. São incorporadas técnicas de métodos numéricos para resolver o conjunto de equações que regem o Modelo Matemático. A outra etapa Solução é corresponde à utilização de ferramenta computacional para solução do Modelo Numérico. Esta etapa gera os resultados do modelo.

Na Interpretação é feito o fechamento do ciclo. Os resultados obtidos são analisados e consistidos, gerando finalmente a resposta ao problema inicial. Caso os resultados obtidos não correspondam aos parâmetros conhecidos do protótipo o ciclo é refeito, sendo os modelos matemáticos e numéricos reajustados até que a resposta obtida seja validada. Estes ensaios repetitivos correspondem à calibração e validação do modelo.

É válido ressaltar que a escolha de um modelo, bem como das soluções matemáticas e métodos numéricos serem adotados é feita baseada em cada problema específico, sendo um dos principais fatores determinantes a disponibilidade de dados (SIMÕES & YANG, 2006). É comum a utilização de aproximações de parâmetros de calibração para dados teóricos, usualmente já incorporados nos modelos e utilizados como configuração padrão. Porém a utilização de dados coletados em campo aumenta a confiabilidade do modelo e representar a situação real do estudo de caso. Sendo assim, no caso de estudos de assoreamento de reservatórios, um extensivo trabalho de campo para se conhecer o protótipo deve ser a primeira etapa do ciclo.

Uma vez calibrado e validado o modelo utiliza-se cenários hipotéticos de previsão das condições futuras para se realizar a previsão do assoreamento.

Como rapidamente apresentado na introdução deste texto, os dados hidrológicos possuem um comportamento estocástico (Righetto, 1998), o que confere um comportamento aleatório inerente a estes dados. Deste modo, a previsão de cenários futuros de vazões por meio de modelos estocásticos, em especial quando utilizados pequenos intervalos de tempo (vazão média diária ou sub-diária), possui incertezas intrínsecas ao método de geração de séries temporais de dados.

A influência do intervalo de tempo entre os dados de vazão utilizados para o cálculo de descargas sólidas é um tema de grande destaque na área de sedimentologia fluvial. Em geral, a relação entre a carga de sedimento de sedimentos com a vazão de um corpo hídrico (denominada curva-chave de sedimentos) é caracterizado por uma expressão exponencial, exemplificada na equação 3 (Mossa, 1989; Meade *et. al*, 1990; Jansson, 1996; Asselman, 2000; Syvitski et al., 2000; Horowitz *et al.*, 2001; Horowitz 2003; Carvalho, 2008; Zhang *et al.*, 2012). Sendo caracterizado que a descarga sólida cresce em relação à vazão praticada de maneira não linear para valores de n maiores que 1,0.

$$Q_s = a \cdot Q^n \quad (3)$$

Onde:

Q_s = descarga sólida (unidade de massa/unidade de tempo)

Q = descarga líquida (unidade de volume/unidade de tempo)

a, n = parâmetros da curva de tendência.

Devido a esta variação não linear no comportamento da carga de o uso de valores médios de vazão para a estimativa de descarga sólida não é fiel, produzindo valores subestimados. A abordagem mais comum e simplista de se mostrar este fato consiste em se calcular a carga sólida total de um dado período baseado em: a) sua vazão média; e b) somatória das vazões em intervalos de tempo menores utilizados para o cálculo da vazão média.

Requeña Sanches (2014) apresenta que a diferença do valor estimado de descarga sólida mensal seco de uma bacia no Andes Peruanos baseado em vazões médias mensais pode ser até 94 % menores que a estimativa baseada na somatória dados horários de vazão horários no período. Em contrapartida, outros trabalhos apresentam valores da diferença bem distintos, como exemplo Merten e colaboradores (2007) que apresenta que a diferença de 48 % em um estudo de caso brasileiro. Mostrando assim a grande variabilidade que esta diferença pode ter, mudando de caso para caso.

Além da carga de sedimentos, a velocidade do fluxo em um dado local e a tensão cisalhante que este exerce sobre as partículas de sedimento varia (dentre outros fatores) em função da velocidade do escoamento, a qual numa aproximação unidimensional varia com a relação da área do escoamento de cada seção e a vazão. Destaca-se que além da variação espacial (alteração ao longo do eixo do rio) a área será alterada ao longo do tempo em função da ocorrência de processos erosivos ou de deposição de sedimentos, e que essas alterações são também influenciadas pela vazão. No caso específico de reservatórios é observada a predominância da deposição dos sedimentos, a qual apresenta uma redução ao longo dos anos devido a redução da área da seção transversal e, consequente, aumento da velocidade de escoamento, ou em se analisando o reservatório como um sistema único, a redução de se volume acarreta na redução da sua eficiência de retenção de sedimentos.

Considerando o exposto, infere-se que a escala de tempo diária ou sub-diária se mostra necessária para a realização dos estudos de assoreamento de reservatórios. Porém deve-se considerar que a previsão de cenários de vazões diárias é pautada na análise de tendência de das vazões mensais decomposta com um fator de aleatoriedade de distribuição normal, em outras palavras, um mesmo método de geração de séries baseado numa mesma amostra de dados produzirá diferentes vazões diárias se aplicado iterativamente.

A variabilidade aleatória das vazões diárias acarreta na magnitude dos eventos de vazões máximas. O que, considerando a relação não linear entre a vazão e a carga de sedimentos, indica uma possível diferença nos volumes de aporte de sedimentos calculados a partir das séries geradas.

Além disso, as séries podem apresentar períodos com maior concentração de eventos de vazões cheia e de maior aporte de sedimentos ao reservatório. Estes períodos são distribuídos no tempo aleatoriamente ao longo da série de dados criada. Assumindo que a *Er* do reservatório diminui com o passar do tempo, acredita-se que o período de ocorrência da maior parte do aporte (primeiros anos de operação do reservatório ou fim do horizonte de simulação após o reservatório já se encontrar parcialmente assoreado) influenciará na previsão do volume total assoreado. Por exemplo, acredita-se que realizando o a previsão do assoreamento utilizando uma série de vazões com concentração de eventos de cheia em seu início, a maior parte dos sedimentos será aportada no reservatório quando este apresenta maior *Er*. Invertendo-se a ordem da série a carga total de sedimentos é mantida, porém a maior parte deles será aportada no reservatório após o mesmo já se encontrar com certo grau de assoreamento e *Er* reduzida, de modo que o volume total dos sedimentos retidos no reservatório nos dois casos será diferente.

Deste modo, a previsão do assoreamento por dados diários de vazão, apesar de mais adequada para a representação dos fenômenos sedimentológicos, trará grande incerteza advinda do procedimento de geração das séries. Neste âmbito, a análise de múltiplos cenários com determinação das incertezas e do intervalo de confiança das previsões se mostra como uma potente ferramenta capaz de fornecer informações em maior quantidade para o tomador de decisão.

Considerando que a modelagem hidrodinâmica apresenta resultados melhores que modelos empíricos ou semi-empíricos para a previsão do assoreamento de reservatórios, pois considera a complexidade dos fenômenos físicos que regem o comportamento do transporte dos sedimentos. Acredita-se que o uso da modelagem computacional do transporte de sedimentos considerando múltiplos cenários de afluência de vazões diárias produzirá resultados de grande confiabilidade às previsões de assoreamento de reservatórios.

Considerando também que modelos de duas ou três dimensões demandam elevado esforço computacional (podendo levar dias ou semanas para a simulação do assoreamento de um reservatório em um cenário de múltiplos anos), até o presente momento sua aplicação para a geração de múltiplos cenários de longa duração se mostra inviável. Sendo assim, para a viabilização da simulação de cenários em quantidade suficiente para se possibilitar análises estatísticas dos resultados é aconselhado o uso de modelagem em unidimensional.

5. Materiais e Métodos

Para testar as três hipóteses fundamentais desta pesquisa foram elaborados três experimentos distintos, utilizando dados teóricos para a elaboração de cenários ideais simplificados para teste das hipóteses 1 e 2, e dados reais do estudo de caso de um reservatório já em operação para teste da hipótese 3. Também foi realizado a previsão do assoreamento do reservatório estudo de caso para teste e validação das hipóteses, sendo elaborado, descrito e aplicado um procedimento metodológico que visa reduzir as incertezas nos estudos de assoreamento.

As técnicas, ferramentas e métodos de cálculo utilizados para a composição dos experimentos e do teste no estudo de caso são descritos primeiramente, seguidos das descrições dos experimentos e da descrição do procedimento metodológico PRIPAR-NH. A apresentação dos dados utilizados é feita no Capítulo 8.

5.1. Previsão do assoreamento por meio da técnica da Curva de Brune

De maneira simplista, o método da Curva de Brune para previsão do assoreamento consiste em utilizar o ábaco desenvolvido pelo autor (Brune, 1953) para se calcular a E_r do reservatório e calcular, baseado no aporte de sedimentos e densidade do depósito de sedimentos, o volume assoreado no intervalo de tempo adotado.

A estimativa do aporte de sedimento é realizada a partir de dados do monitoramento sedimentométrico e é realizada de acordo com valores médios do intervalo de tempo adotado para o cálculo iterativo.

Em seguida, baseado nas informações da capacidade de armazenamento do reservatório e descarga afluente, denominadas de capacidade de afluência, encontra-se o valor do eixo da abscissa do gráfico da Curva de Brune, o qual permite então encontrar o valor do eixo das ordenadas correspondente a E_r . Como apresentado durante a revisão de literatura, o gráfico do método da curva de Brune pode ser encontrado em diversas referências, como nas obras clássicas de Strand (1987) e Vanoni (1977), no popular livro brasileiro Carvalho (2008) e materiais disponíveis na internet como Carvalho e colaboradores (2000b) e Morris e Fan (2010), entre outros. Para conveniência do leitor, é apresentado novamente o gráfico da Curva de Brune na Figura 6.

Figura 6 – Curvas de eficiência de retenção de sedimentos em reservatórios, segundo Brune (1953).
Fonte: Carvalho (2008).

O terceiro passo para a aplicação do método está na definição do peso específico aparente dos depósitos de sedimentos. O procedimento adotado consiste em um método indireto baseado em Strand (1987), que considera o modo de operação do reservatório; a textura e a granulometria das partículas de sedimento; a compactação (ou grau de consolidação) dos depósitos; além de outros fatores de menor influência, como: densidade da corrente, declividade do talvegue e o efeito da vegetação na região das cabeceiras do reservatório, para estimativa por deste parâmetro.

Para determinação do peso específico aparente utilizam-se as equações a seguir (Equações 4 à 7), sendo que cada parcela será calculada tendo em vista o tipo de operação do reservatório (CARVALHO, 2008).

$$\gamma_{ap} = W_c \cdot p_c + W_m \cdot p_m + W_s \cdot p_s \quad (4)$$

$$\gamma_T = \gamma_i + K \cdot \log T \quad (\text{para camadas de depósitos específicos}) \quad (5)$$

$$\gamma_T = \gamma_i + 0,4343 \cdot K \left[\frac{T}{T-1} \cdot (\ln T) - 1 \right] \quad (\text{valor médio das camadas}) \quad (6)$$

$$K = K_c \cdot p_c + K_m \cdot p_m + K_s \cdot p_s \quad (7)$$

Em que:

γ_{ap} = peso específico aparente do depósito (t.m^{-3});

γ_i = peso específico aparente inicial (t.m^{-3});

W_c, W_m, W_s = coeficientes de compactação, ou seja, pesos específicos iniciais de argila, silte e areia, que são obtidos segundo o tipo de operação do reservatório (Tabelas 1 e 2);

p_c, p_m, p_s = frações de quantidade de argila, silte e areia contidas no sedimento afluente;

γ_T = peso específico aparente médio em T anos (t.m^{-3});

T = tempo de compactação do sedimento depositado (anos);

K = constante que depende da granulometria do sedimento, obtida a partir do tipo de operação do reservatório (Tabela 2);

Tabela 1 – Tipo de operação de reservatório.

Tipo	Operação do reservatório
1	Sedimento sempre ou quase sempre submerso
2	Depleção do reservatório de pequena a média
3	Reservatório com consideráveis variações de nível
4	Reservatórios normalmente vazios

Fonte: Adaptado de Strand (1987).

Tabela 2 – Constantes W e K para cálculo do peso específico aparente em função do tipo de operação do reservatório (de uso no sistema métrico).

Tipo de operação do reservatório	Argila		Silte		Areia	
	Wc	Kc	Wm	Km	Ws	Ks
1	0,416	0,2563	1,121	0,0913	1,554	0,0
2	0,561	0,1346	1,137	0,0288	1,554	0,0
3	0,641	0,0	1,153	0,0	1,554	0,0
4	0,961	0,0	1,169	0,0	1,554	0,0

Fonte: Adaptado de Strand (1987).

5.2. Modelo de transporte de sedimentos – SRH-1D

Dentre os modelos de transporte de sedimentos disponíveis, o SRH-1D (*Sedimentation and River Hydraulics – One Dimension*) foi escolhido ser robusto e ter sido aplicado com sucesso em diversos casos práticos de estudo de projeto de barragens. A apresentação do modelo desenvolvida neste capítulo é baseada em seu manual do usuário (USBR, 2012)

Desenvolvido inicialmente pelo *U.S. Bureau of Reclamation* com o nome de GSTAR-1D (entre 2005 e 2007), o SRH-1D é um modelo unidimensional que resolve as equações hidráulicas e regime permanente e não-permanente em rios e reservatórios. Pode simular a entrada de fluxos laterais ao corpo hídrico (entrada de um afluente) ou mesmo simular uma rede de drenagem com vários rios. Resolve o transporte de sedimentos não-coesivos e coesivos, podendo representar os fenômenos de agregação deposição, erosão e consolidação.

Considerando que não existe na literatura uma solução única para o cálculo da carga de sedimentos, o modelo SRH-1D se mostra muito flexível ao fornecer 13 diferentes opções de equações de transporte de sedimento (Tabela 3). Também é realizada a compensação do percentual do sedimento por classe granulométrica para aquelas equações concebidas para o tamanho médio dos sedimentos.

Tabela 3 – Equações disponíveis no modelo e o seu tipo (B = Transporte da carga de leito; BM = transporte da carga total).

Equação	Tipo
Meyer-Peter and Müller (1948) and Wong and Parker (2006)	B
Laursen (1958)	BM
Modified Laursen's Formula (Madden, 1993)	BM
Engelund and Hansen (1972)	BM
Ackers and White (1973)	BM
Ackers and White (HR Wallingford, 1990)	BM
Yang (1973) + Yang (1984)	BM
Yang (1979) + Yang (1984)	BM
Brownlie (1981)	BM
Yang <i>et al.</i> (1996)	BM
Parker (1990)	B
Wilcock and Crowe (2003)	B
Wu (2004)	BM

O leito é aproximado para estrutura de camadas e é assumido a troca de massa entre elas, correspondendo ao efeito de consolidação dos depósitos. Somente a camada superior (camada ativa) realiza troca de matéria com o escoamento (erosão ou deposição). A espessura desta camada é definida proporcionalmente ao diâmetro do sedimento mais grosseiro encontrado, e é capaz de representar o fenômeno do encouraçamento (*armouring*) e também de inibição da erosão pela mistura de sedimentos coesivos no espaço intersticial dos sedimentos não-coesivos.

A alteração das seções transversais segue a lei de conservação de massa e a erosão do leito pode ser configurada para ocorrer no alinhamento do talvegue, sendo a largura do cone de remoção de sedimentos definida em função da vazão.

Maiores detalhes sobre o modelo SRH-1D podem ser encontrados em USBR (2012).

5.3. Modelagem hidrológica e criação de séries sintéticas de vazões

O procedimento adotado para o cálculo consistiu no uso do método tipo auto regressivo Markoviano, que é um modelo que possui comportamento estocástico, o qual possui um fator aleatório, o qual confere a característica de que se utilizado mais de uma vez o mesmo método utilizando os mesmos parâmetros, produzirão séries ligeiramente diferentes. Observa-se que não só o modelo adotado neste estudo, mas que outros modelos

de geração de séries de dados de comportamento estocástico apresentam o fator aleatório, como pode ser encontrado em livros e manuais de métodos estatísticos em hidrologia, como Haan (1941), Clarke (1994), Hipel e McLeod (1994), entre outros, sendo assim pode-se inferir que este comportamento aleatório um fenômeno inerente aos modelos de geração de séries de dados hidrológicos.

Por entender-se que esse é um fenômeno comum ao processo de geração de séries sintéticas em hidrologia, maiores discussões sobre os métodos não se mostram necessárias ao escopo do trabalho, principalmente pelo fato de o modelo hidrológico, apesar de ser uma importante ferramenta na presente pesquisa, não ser o foco do estudo.

A característica aleatória do modelo utilizado foi criada por meio da construção de uma planilha de trabalho no programa Microsoft Excel para a geração dos parâmetros aleatórios e decomposição das vazões médias mensais em vazões diárias. Esta planilha também teve o papel de compatibilizar os dados das séries hidrológicas como formato do dado de entrada requerido pelo modelo de transporte de sedimento.

O método de geração de séries utilizado calcula a vazão Q no intervalo de tempo definido (vazão média diária) baseado nos parâmetros estatísticos de vazão média mensal (Q_{med}), coeficiente de correlação (R_n), desvio padrão (S) um componente de aleatoriedade (T_i), como apresentado na equação 8:

$$Q_{i,n} = Q_{med,n} + R_n (Q_{i-1,n} - Q_{med,n}) + T_i S_n (1 - R_n^2)^{0.5} \quad (8)$$

A componente aleatória (T_i) apresenta distribuição normal assimétrica com coeficiente de assimetria dos dados mensais de vazão (G_n). O procedimento para a criação de dados aleatórios foi realizado com auxílio da função do programa Microsoft Excel “ALEATÓRIO” sem o uso de argumentos, a qual retorna a cada atualização do cálculo valores entre 0 e 1 seguindo a distribuição normal da probabilidade de ocorrência.

Os valores de desvio padrão das descargas diárias para cada mês são utilizados para o cálculo do coeficiente de variação (CV), calculados tomando como referência os 10 anos de registros de descarga do monitoramento realizado pela concessionária. O coeficiente de variação é multiplicado pelos valores de descargas médias de acordo com a equação 9:

$$S_n = CV_n \times Q_{med,n} \quad (9)$$

Adicionalmente, um código de programação em *Visual Basic for Applications* (VBA) foi criado para a criação das múltiplas séries. O procedimento consistiu em atualizar automaticamente os dados criados pela função “ALEATÓRIO” da planilha, criar uma nova planilha de trabalho e copiar os valores gerados para cada atualização realizada, possibilitando a criação das múltiplas séries de vazão diária, já em formatação compatível com o modelo SRH-1D, com um único comando.

A formatação, estrutura e organização da planilha cálculo das séries hidrológicas dependera da formatação dos dados de entrada, e, principalmente, da preferência do desenvolvedor (organizar por blocos de dados anuais, em coluna única, dados mensais e cada coluna, e etc.), deste modo, apesar de um processo laborioso, a descrição da formatação da planilha utilizada é dispensável. Por outro lado, código de programação utilizado para o procedimento automático de geração de séries diárias desenvolvido em programação VBA podem ser adaptados e utilizados para outros estudos de casos. Sendo assim é apresentado o código de programação comentado do processo de geração automática das séries no Apêndice I.

5.4. Testes das hipóteses

5.4.1. Experimento I – Influência da variabilidade de vazões e da relação não linear entre descarga sólida e vazão no cálculo do assoreamento

Optou-se por se realizar a estimativa de assoreamento pelo método da Curva de Brune por sem um método amplamente difundido e necessitar de poucos dados de entrada quando comparado à abordagem da modelagem do transporte de sedimentos, minimizando assim incertezas provenientes da idealização de um caso hipotético.

Escolheu-se a abordagem de se utilizar o processo iterativo de atualização dos valores de Er a cada ano. Visando avaliar especificamente o fator da Er , foi assumido como sendo constante o peso específico dos depósitos de sedimento.

Os testes foram feitos para um mesmo valor médio de vazão e descarga sólida anual, sendo a variabilidade das vazões representada por uma função senoidal. A amplitude foi utilizada para a avaliação da influência da variabilidade no cálculo do assoreamento. Definiu-se arbitrariamente o valor médio de deflúvio anual ($\bar{Q}$) como sendo $500 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. A Figura 7 mostra as séries utilizadas no experimento.

Figura 7 – Séries de deflúvio médio anual utilizadas no Experimento I.

Adicionalmente, também foi variado o parâmetro n , expoente da equação de curva chave de sedimentos, o qual representa o grau de linearidade da correlação entre a vazão e a descarga sólida. Por definição, o valor 1 representa uma relação linear entre vazão e descarga sólida, e valores maiores que 1 uma relação do tipo potência, sendo quanto maior o valor maior a não-linearidade observada. Foram analisados valores de n entre 1,0 e 2,5.

O valor de aporte de sedimento correspondente ao deflúvio médio anual ($\overline{Q_s}'$) foi também definido de maneira arbitrária, adotou-se o valor $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. A demonstração da influência do expoente n no cálculo do aporte de sedimento (Q_s) foi realizada por meio da normalização do valor do deflúvio (Q), como apresentado na equação 10

$$Q_s = \overline{Q_s}' * \left(\frac{Q}{\overline{Q}}\right)^n \quad (10)$$

5.4.2. Experimento II – Influência do período de ocorrência da maior parte do aporte de sedimentos no assoreamento de reservatórios

Analogamente ao Experimento I optou-se por se realizar a estimativa de assoreamento pelo método da Curva de Brune utilizando processo iterativo de atualização dos valores de Er a cada ano e assumindo como sendo constante o peso específico dos depósitos de sedimento.

Os testes foram feitos para um mesmo valor médio de vazão e descarga sólida anual, sendo a avaliação da influência do período de ocorrência do maior aporte de sedimentos no cálculo do assoreamento computado por meio de variação linear da vazão, sendo elaborados cenários com vazão crescente e decrescente. As séries utilizadas são de mesmo valor médio, e os cenários crescentes e decrescentes correspondem a séries invertidas no tempo (Figura 8).

Analogamente ao Experimento I os cenários tiveram um deflúvio médio anual definido arbitrariamente como $500 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ e o valor de aporte de sedimento correspondente ao deflúvio médio anual ($\overline{Q}_s'$), também foi definido arbitrariamente, como sendo $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. O valor de n foi definido como sendo 2,5 (mesmo valor para todos os cenários analisados neste experimento). Também foram simulados três cenários adicionais com aporte de sedimentos constante superior ao aporte médio adotado.

Figura 8 – Séries de deflúvio médio anual utilizadas no Experimento II.

5.4.3. Experimento III – Criação e análise de séries de vazão quanto ao deflúvio e aporte de sedimentos total

Neste experimento utilizou-se dados do estudo de caso do reservatório da PCH Mogi-Guaçu, o qual será apresentado em detalhes no item 7 deste texto.

Foi utilizado o modelo hidrológico descrito no item 5.3 para criação de 25 séries de dados de vazões médias diárias. Os dados de vazão foram utilizados para o cálculo da descarga sólida diária, por meio da correlação entre a vazão e a descarga de sedimentos apresentada na equação 11.

$$Q_s = 0.401Q^{1.712} \quad (11)$$

Os parâmetros a e n da equação 11 foram obtidos durante o processo de calibração do modelo SRH-1D que é descrito no item 7.5.2.

O cálculo do aporte anual dos sedimentos foi feito pela somatória das descargas sólidas médias diárias, do mesmo modo que o deflúvio anual foi calculado com os dados de vazão média diária. Os resultados foram analisados quanto as médias anuais de deflúvio e aporte de sedimentos.

5.5. Proposta de Procedimento Metodológico para Redução de Incertezas na Previsão do Assoreamento de Reservatórios: PRIPAR – NH

Considerando a hipótese central do trabalho de que os estudos de assoreamento devem ser conduzidos com séries de dados de curto intervalo de tempo, e que estes dados seguem um comportamento estocástico e os modelos e técnicas de geração de cenários futuros nesta escala temporal necessariamente apresenta um fator de aleatoriedade em seus resultados, propõe-se um procedimento metodológico para a realização de estudos de assoreamento e previsão de vida útil em reservatórios que permite a redução a análise de incertezas e aumento de confiabilidade dos resultados dos estudos.

O método proposto, denominado “Procedimento Metodológico para Redução de Incertezas na Previsão do Assoreamento de Reservatórios” (PRIPAR – NH), foi desenvolvido focado no cenário brasileiro, onde é comum não se dispor de muitos dados os dados hidrossedimentológicos. O método combina práticas comuns de engenharia na previsão de assoreamento de reservatórios, como apresentado em Vanoni (1977), Strand (1987), Carvalho e colaboradores (2000b), Xiaoqing (2003), Carvalho (2008), Morris e Fan

(2010), entre outros. Na descrição do “passo a passo” do PRIPAR-NH é dada ênfase na descrição e métodos de escolha de dados e parâmetros para a aplicação de modelagem hidrodinâmica, o qual geralmente não é apresentado com aprofundamento necessário nas referências citadas, bem como maneiras de se lidar com dados disponíveis limitados, cenário comum em estudos nacionais. O PRIPAR-NH consiste em oito passos listados na sequência e descritos em detalhe nas próximas páginas. A Figura 9 ilustra o cronograma de atividades proposta pelo procedimento.

- I. Revisão dos dados disponíveis e identificação da necessidade de coleta de campo
- II. Definição do domínio computacional
- III. Definição do Período de Calibração
- IV. Definição do Período de Simulação
- V. Calibração e validação do modelo de transporte de sedimentos
- VI. Criação de múltiplos cenários futuros por meio da criação de séries sintéticas de vazões
- VII. Simulação do assoreamento do reservatório para os múltiplos cenários
- VIII. Análise estatística dos resultados para o tempo de vida útil e do volume de assoreamento

Fluxograma de atividade PRIPAR – NH

Figura 9 – Fluxograma de atividades propostas pelo Procedimento Metodológico para Redução de Incertezas na Previsão do Assoreamento de Reservatórios PRIPAR – NH.

I. Revisão dos dados disponíveis e identificação da necessidade de coleta de campo

Para aplicação do procedimento proposto é necessária a criação de múltiplos cenários futuros de vazão afluente ao reservatório, os quais são gerados a partir de um modelo hidrológico. A escolha de qual modelo hidrológico se utilizar é geralmente baseado nos dados disponíveis e familiaridade do usuário, porém o modelo selecionado deve ser capaz de produzir séries de vazões de pequeno intervalo de dados (média diária ou sub-diária). Se disponível em quantidade suficiente é desejável o uso de dados de monitoramento fluviométrico com intervalo de medições sub-diários ou diários. Os dados geralmente serão obtidos de maneira secundária nos bancos de dados oficiais (Hidroweb da ANA ou junto aos órgãos estaduais). Por se tratar de dados de fonte secundária, geralmente estes não serão exatamente no local de estudo, sendo necessário técnicas de transposição de vazão com relação a área de drenagem. Aconselha-se a seleção de mais de um posto do próximo ao local de estudo para que seja feita análise de consistência e eventual preenchimento de falhas. Na ausência de dados de monitoramento fluviométrico pode-se utilizar dados de precipitação e modelos chuva-vazão para a geração das séries de vazão.

É desejável dados do nível operacional do reservatório e/ou regras de operação definidas para serem utilizadas como condição de contorno de jusante.

Os modelos de transporte de sedimentos em geral utilizam o mesmo tipo de dados de entrada. Será necessário ao menos um dado geométrico, podendo ser o levantamento topográfico de projeto da barragem ou levantamento batimétrico, este deve se estender até cota superior ao nível máximo *maximorum* do reservatório, e potencialmente em trecho e montante. Para reservatório já em operação é desejável se ter ao menos dois dados geométricos que permitam a comparação do relevo de fundo do reservatório para cálculo do assoreamento no intervalo entre os levantamentos. Ainda sobre o dado de geometria a ser utilizado é necessário informações dos órgãos de descarga e da barragem.

Dados de carga de sedimentos afluentes ao reservatório devem ser obtidos por meio da série histórica do monitoramento sedimentométrico. Por serem dados mais difíceis de serem coletados, e, portanto, menos abundantes que os dados hidrológicos, modelos de erosão da bacia hidrográfica (i.e. Equação Universal, de Perda de Solo - EUPS, modelo SWAT, etc.) modelos teóricos para determinação da concentração de equilíbrio de sedimentos em suspensão podem ser utilizados para a extensão da série de dados. Porém, ressalta-se que algumas medições de descarga sólida ao longo de um ano hidrológico, com

maior enfoque em tentar se fazer medidas em eventos de cheia, são necessárias para a obtenção de resultados confiáveis. Na ausência completa de dados de medição de descarga sólida, ao menos um ano hidrológico de monitoramento deve ser praticado. Para estes casos aconselha-se o uso de técnicas indiretas de medição de sedimentos para a obtenção de uma maior quantidade de dados em curto período de tempo, como o uso de turbidímetros, analisadores granulométricos automáticos por difração laser e o espalhamento do sinal de medidores de vazão por efeito *Doppler*. Uma melhor descrição dos procedimentos de medição indireta de descarga de sedimentos pode ser encontrada em Deines (1999), Dinehart e Burau (2005), Topping (2006), Williamson e Crawford (2011), Daphne (2011) e Santos e Colaboradores (2014, 2015ab). Destaca-se que nestes casos o monitoramento deve continuar para que o estudo de previsão de assoreamento seja refeito num futuro com maior base de dados.

Deve-se também realizar análise granulométrica do sedimento do leito ao longo do perfil longitudinal do reservatório. A granulometria do sedimento em suspensão é desejável, porém não necessária, podendo a mesma ser estimada com base no material de leito e no processo de calibração do modelo de transporte de sedimentos, assim como temperatura, peso específico do sedimento, taxas e velocidade de queda das partículas, entre outros dados de características físicas do sedimento.

II. Definição do domínio computacional

O domínio computacional corresponde a área representada geometricamente e utilizada como entrada no modelo hidrodinâmico, morfológico e de transporte de sedimentos. No caso específico da modelagem 1D, onde a geometria é representada por seções transversais, o modelo geométrico deve sempre garantir o escoamento confinado, ou seja, em ambos os extremos a seção deve apresentar cotas mais elevadas que o nível d'água para todas as regras operacionais e cenários de vazão a serem avaliados (não apresentar “vazamentos pela lateral”).

Em casos de reservatórios com sedimentos muito grosseiros ou que se espere por algum outro motivo se espere grande taxa de depósito de sedimentos na entrada do reservatório e efeito de remanso à montante, pode ser interessante se estender o modelo no trecho de rio. A ideia por trás deste artifício é criar uma zona de adaptação do escoamento e do transporte de sedimentos. Na ausência de dados reais este trecho pode ser criado virtualmente baseado no julgamento profissional, devendo ser testado no modelo se tais

zonas sofrerão alterações morfológicas significativas, o que alteraria os resultados do modelo no trecho de interesse.

III. Definição do Período de Calibração

Deverá ser definida em função dos dados existentes. Partindo do princípio que toda análise do assoreamento do reservatório se dará baseada na sua representação geométrica, de modo que o período de calibração deverá corresponder ao intervalo entre os levantamentos de dado.

O início do período da calibração será a data da coleta do dado geométrico confiável mais antigo, ou uma data próxima. No caso de levantamento topográfico anterior à construção da barragem a data de início será a data do enchimento do reservatório. No caso de o dado geométrico mais antigo ser um levantamento batimétrico a data de início da calibração será correspondente a data da coleta dos dados de campo, ou data próxima. Analogamente, o fim do período de calibração deve corresponder a data da coleta dos dados de campo de levantamento batimétrico, ou data próxima.

Na hipótese da inexistência de dados batimétricos, pode-se utilizar dados de eficiência de retenção do reservatório obtidos pelo monitoramento sedimentométrico em postos de montante e jusante do barramento.

Na existência de dados de batimetria e de monitoramento, aconselha-se a definição do período de calibração baseada nos levantamentos batimétricos, pois estes tendem a apresentar menos incertezas que o monitoramento.

Se possível é interessante a realização de testes de validação da calibração do modelo. Este procedimento consiste em utilizar o modelo já calibrado para simular um período que possua dados disponível para que o resultado da calibração seja validado. Neste caso são necessários ao menos três dados geométricos, de modo que seja feita a calibração para um intervalo e validação para o segundo intervalo, ou dados de monitoramento sedimentométrico longos o suficiente para que seja feita a calibração em uma parcela dos dados e validação com a parcela restante.

Na inexistência dos dados de uma segunda batimetria e dados reais de monitoramento sedimentométrico, pode-se utilizar cálculos teóricos para a definição de valores médios de Er e se utilizar este valor como referência para a configuração do modelo. Neste caso se diz que o modelo não foi calibrado. Modelos sem calibração devem ser utilizados com muita ressalva, porém podem ser um passo inicial, sendo aconselhado, assim que possível (após coleta de dados), uma nova estimativa do assoreamento.

IV. Definição do Período de Simulação

Sempre que possível deve ser utilizado período de simulação que compreendo o assoreamento completo do reservatório. Porém deve ser considerado as incertezas associadas aumentam com o horizonte das previsões, tanto por questões das soluções matemáticas e numéricas dos modelos utilizado, como por fenômenos que ocorrerão na bacia hidrográfica, alteração do uso do solo, eventual construção de barragens ou outras obras no trecho de montante, alteração no regime hidrológico devido a mudanças climáticas, etc.

Deve-se também considerar que estes estudos buscam subsidiar o planejamento das empresas e seus investimentos, geralmente analisados em horizontes de no máximo algumas décadas (período comum das concessões), e/ou para o planejamento energético nacional, que se dá por num horizonte de uma década. Aconselha-se um horizonte máximo de 100 anos.

Para otimização do esforço aconselha-se o uso de uma estimativa inicial do assoreamento baseada nos métodos convencionais de fácil aplicação (i.e., Curva de Brune).

V. Calibração e validação do modelo de transporte de sedimentos

Para o período de calibração definido previamente se realiza a calibração do modelo de transporte de sedimentos. Nesta etapa se dará a configuração do modelo para parâmetros como equações de transporte de sedimentos, métodos para cálculo da erosão do leito, consolidação dos depósitos, características do sedimento (granulometria, peso específico, velocidade de queda, etc.), e testes sensibilidade do modelo a discretização espacial (detalhamento da geometria utilizada) e temporal. Devem ser utilizados os dados hidrológicos e da operação do reservatório (nível) observados.

Chama-se em especial a atenção para a definição da carga de sedimentos afluente. Via de regra este parâmetro tem grande influência nos resultados do modelo.

O detalhamento espacial e temporal do modelo estão diretamente ligados ao tempo de processamento da simulação. É interessante do ponto de vista de eficiência de processamento. Neste sentido estes testes consistem em se variar tanto a discretização espacial e temporal na configuração do modelo, mantendo os demais parâmetros constantes, sendo avaliado se há ou não alteração significativa nos resultados quando comparada a uma configuração de grande detalhamento assumida como base. A configuração a ser escolhida deve ser a que proporcione em menor tempo de simulação sem comprometimento da qualidade dos resultados.

O procedimento para calibração de modelos hidrodinâmicos de transporte de sedimentos é via de regra feita por tentativa e erro, porém pode-se fazer o uso de ferramentas de calibração automática. A escolha do procedimento de calibração deve ser realizada de acordo com a compatibilidade do modelo com ferramentas de calibração automática e familiaridade do usuário com tais ferramentas.

Uma vez definida a calibração do modelo é desejável que seus resultados sejam validados em período diferente com disponibilidade de dados necessários para se avaliar os resultados do modelo, podendo ser confrontado com os dados de um levantamento batimétrico ou de monitoramento hidrossedimentológico de jusante da barragem. Na impossibilidade de validação do modelo por indisponibilidade de dados é aconselhado que, assim que permitido (após coleta de dados em quantidade suficiente), uma nova análise do assoreamento seja feita com o uso de modelos validados.

VI. Criação de múltiplos cenários futuros por meio da criação de séries sintéticas de vazão

Existem várias técnicas e modelos para a análise, previsão e criação de séries sintéticas, sendo a escolha de qual técnica/modelo utilizar baseada nos dados disponíveis e familiaridade do usuário. A única restrição feita é que os dados produzidos devem ser na escala de tempo diária ou menor, podendo inclusive ser realizado o uso conjunto de duas ou mais técnicas (desde que compatíveis).

De maneira resumida, o procedimento de geração das séries diárias se dá primeiro com a geração de um cenário base de previsão de vazões médias mensais por método estocástico compatível com os dados disponíveis. As vazões mensais são então decompostas em dados diários ou sub-diários com o uso de abordagem probabilística.

A escolha da técnica de/ou do modelo hidrológico a ser utilizado será condicionada as características do local do estudo, disponibilidade de dados e familiaridade do operador com modelos. O uso de programas estatísticos pode facilitar na análise da série de dados histórica e na previsão estocástica do cenário base, porém alerta-se que a geração de múltiplas séries em programas não desenvolvidos para esta finalidade pode ser demasiadamente trabalhosa.

Independente do modelo escolhido para a geração dos múltiplos cenários os dados gerados devem ser compatíveis com o formato de entrada do modelo hidrodinâmico de transporte de sedimentos. Por este fato, caso os dados permitam o uso de modelos baseados em cálculos de relativa fácil implementação, como os modelos Auto Regressivos, Auto

Regressivos de Média Móvel, Auto Regressivo Markoviano, entre outros, aconselha-se um uso em conjunto de técnicas de programação em VBA e ferramentas do Microsoft Excel para criação do modelo de geração de séries, podendo se automatizar o processo de geração de múltiplos cenários e de formatação dos dados. Um exemplo da aplicação destas ferramentas em conjunto é apresentado no estudo de caso desta pesquisa, e o código de programação é apresentado no Apêndice I.

VII. Simulação do assoreamento do o reservatório para os múltiplos cenários

Para cada um dos cenários de previsão de vazões diárias afluentes é realizada a simulação de transporte de sedimentos para a estimativa do assoreamento. Os parâmetros do modelo são aqueles previamente definidos no processo de calibração (etapa V).

No caso da existência de levantamento batimétrico recente (assumido como parâmetro do término do período de calibração) aconselha-se o uso do seu dado de geometria como base para as simulações. Caso a calibração tenha sido realizada tomando como base dados de eficiência de retenção e/ou do monitoramento sedimentométrico, o dado de geometria a ser utilizado é o dado resultante da modelagem do período de calibração.

O início do período de simulação deve ser definido em função do dado de geometria utilizado.

As condições de contorno de jusante devem ser definidas com base nas regras de operação e não devem impor condições hidráulicas que levem a níveis operacionais fora do esperado. Aconselha-se utilizar condições de contorno do tipo “nível de operação *versus* tempo”. No caso de ausência de regras operativas bem definidas, ou no caso onde as mesmas sejam complexas e incompatíveis com os dados de entrada no modelo, sugere-se utilizar regras de operação de reservatórios da mesma cascata (caso existentes e disponíveis), ou a adoção do nível mínimo operacional durante o período de cheia e o nível máximo operacional no período de seca (regra simples que traduz a busca por amortecimento de ondas de cheia no período chuvoso e maximização da geração nos períodos secos).

VIII. Análise estatística dos resultados para o tempo de vida útil e do volume de assoreamento

O grupo de resultados deve ser analisado em relação ao volume assoreado em determinados intervalos de tempo, sugere-se de 5 a 10 anos de intervalo, e em relação ao tempo de vida útil do empreendimento. Os dados devem ser processados estatisticamente fornecendo distribuições de probabilidade de ocorrência e intervalos de confiança dos resultados. Análises de box-plot se mostram uma boa ferramenta para a representação visual da estatística dos resultados.

Ressalta-se que o objetivo desta análise estatística é o fornecimento de uma maior quantidade de dados aos agentes tomadores de decisão utilizem ferramentas apropriadas para a decisão de regras de operação e/ou sobre a viabilidade de novos empreendimentos.

6. Resultados e discussão dos experimentos

6.1.1. Experimento I – Influência da variabilidade de vazões e da relação não linear entre descarga sólida e vazão no cálculo do assoreamento

Os resultados do aporte de sedimento calculado para os diferentes cenários de amplitude da vazão em torno de um mesmo valor médio e do expoente n da equação de correlação entre vazão e descarga sólida aponta que para casos de n maior que 1 (relação não linear) quanto maior variação dos dados de vazão (maior amplitude), maior é o aporte de sedimentos, mesmo para valor médio de vazão. Sendo que quanto maior o valor de n maior é o valor calculado para o aporte de sedimentos. A Figura 10 apresenta a variação do aporte de sedimentos calculado para os diferentes cenários analisados.

O tempo de assoreamento foi calculado utilizando o método da Curva de Brune, sendo calculado em período de 45 anos para o completo assoreamento (capacidade do reservatório reduzida a zero) do cenário base (deflúvio constante e, consequentemente, aporte de sedimentos constante) (Figura 11).

Nos cenários de correlação linear entre vazão e descarga sólida, n igual a 1,0 (cenário não realista), foi observado que a variabilidade da vazão possui efeito desprezível no cálculo do tempo de assoreamento, sendo encontrada diferença de 1 ano para os três cenários (Figura 12). Destaca-se que o ano 44 coincide com o valor máximo da senoidal utilizada para a simulação da variabilidade do deflúvio.

Para valores de n superiores a 1,0 a variabilidade dos dados de vazão passa a interferir no aporte total de sedimentos e no tempo de assoreamento, sendo quanto maior o valor de n , maior seus efeitos nos cálculos. A influência do valor de n no tempo de assoreamento pode ser notado nas Figuras 13 a 15.

De maneira análoga, a variabilidade dos dados de vazão, expressos neste experimento por meio da amplitude, também afetam no aporte de sedimentos médio, sendo quanto maior a variabilidade em torno de um mesmo valor médio de deflúvio, maior será o aporte de sedimento calculado. A influência da variabilidade da vazão no tempo de assoreamento é apresentada nas Figuras 16 a 18.

O resultado do cálculo do aporte de sedimento anual médio e o tempo para o assoreamento completo para todos os cenários analisados é apresentado na Tabela 4.

Figura 10 – Aporte de sedimentos em função da amplitude dos dados de vazão e do expoente n da equação de correlação entre vazão e descarga de sedimentos.

Figura 11 – Tempo de assoreamento de 45 anos para o cenário base, deflúvio médio constante. A variação do expoente n não tem efeitos no tempo de assoreamento quando não há variação da vazão.

Figura 12 – Tempo de assoreamento para valor do expoente n da equação de correlação entre vazão e descarga de sedimentos igual a 1,0. Tempo de assoreamento de 44 anos os três cenários de diferentes amplitudes analisados.

Figura 13 – Tempo de assoreamento para valor do expoente n da equação de correlação entre vazão e descarga de sedimentos igual a 1,5. Tempo de assoreamento de 44 anos para amplitude de vazão de 100 m³/s; 43 anos para amplitude de vazão de 200 e 300 m³/s.

Figura 14 – Tempo de assoreamento para valor do expoente n da equação de correlação entre vazão e descarga de sedimentos igual a 2,0. Tempo de assoreamento de 44 anos para amplitude de vazão de 100 m³/s; 42 anos para amplitude de vazão de 200; e 36 anos para amplitude de vazão de 300 m³/s.

Figura 15 – Tempo de assoreamento para valor do expoente n da equação de correlação entre vazão e descarga de sedimentos igual a 2,5. Tempo de assoreamento de 43 anos para amplitude de vazão de 100 m³/s; 37 anos para amplitude de vazão de 200; e 34 anos para amplitude de vazão de 300 m³/s.

Figura 16 – Tempo de assoreamento para da amplitude dos dados de vazão de 100 e diferentes valores do expoente n da equação de correlação entre vazão e descarga de sedimentos. Tempo de assoreamento de 44 anos para n igual a 1,0 e 1,5; e 43 anos para n igual a 2,0 e 2,5.

Figura 17 – Aporte de sedimentos em função da amplitude dos dados de vazão e do expoente n da equação de correlação entre vazão e descarga de sedimentos. Tempo de assoreamento de 44 anos para n igual a 1,0; 43 anos para n igual a 1,5; 42 anos para n igual a 2,0; e 38 anos para n igual a 2,5.

Figura 18 – Aporte de sedimentos em função da amplitude dos dados de vazão e do expoente n da equação de correlação entre vazão e descarga de sedimentos. Tempo de assoreamento de 44 anos para n igual a 1,0; 42 anos para n igual a 1,5; 36 anos para n igual a 2,0; e 34 anos para n igual a 2,5.

Tabela 4 – Resumo dos resultados do Experimento I, destacando a diferença no tempo e o aporte total de sedimentos necessário para o assoreamento completo.

Expoente n	Cenário		Tempo de assoreamento (anos)
	Amplitude (m ³ /s)	Q_s médio (10 ⁶ m ³ /ano)	
1,0	0	5,00	45
1,5	0	5,00	45
2,0	0	5,00	45
2,5	0	5,00	45
1,0	100	5,00	44
1,5	100	5,04	44
2,0	100	5,10	44
2,5	100	5,19	43
1,0	200	5,00	44
1,5	200	5,15	43
2,0	200	5,40	42
2,5	200	5,75	38
1,0	300	5,00	44
1,5	300	5,34	42
2,0	300	5,90	36
2,5	300	6,68	34

6.1.2. Experimento II – Influência do período de ocorrência da maior parte do aporte de sedimentos no assoreamento de reservatórios

Foram analisados sete cenários, o cenário base com deflúvio constante, que produz aporte de sedimento, também, constante, e cenários com deflúvio crescentes e decrescentes (séries invertidas no tempo), considerando diferentes amplitudes, mas sempre com o mesmo valor médio igual ao cenário base.

Assim como nos resultados do Experimento I observou-se que a variação da amplitude acarreta em diferença no cálculo do aporte de sedimentos, enquanto que a média de sedimentos para a vazão constante é de 5,00 10⁶ m³/ano, para as séries de amplitude de 100 m³/s o aporte médio de sedimentos é de 5,13 10⁶ m³/ano, para as séries de amplitude de 200 m³/s aporte médio de sedimentos é 5,52 10⁶ m³/ano e para as séries de amplitude de 300 m³/s aporte médio de sedimentos é 6,16 10⁶ m³/ano, uma diferença de 3, 10 e 23 % no aporte anual médio respectivamente.

Apesar da grande diferença do aporte de sedimento, as séries que apresentavam pouco aporte de sedimentos no início da operação do reservatório apresentaram tempo de assoreamento igual ou maior que o cenário de vazões constantes no tempo tomado como

base, sendo calculado tempo de assoreamento de 46 anos para as séries de amplitude de 100 e 200 m³/s, 1 ano a mais que o cenário base, e 45 anos para a séries de amplitude 300 m³/s, igual ao previsto para o cenário base.

Já no caso de séries invertidas no tempo, com maior parte do aporte de sedimentos nos primeiros da operação do reservatório, observou-se um tempo de assoreamento mais rápido, mesmo quando se comparando as séries com mesma quantidade de aporte médio de sedimentos. O caso mais extremo é o das séries de amplitude 300 m³/s, o qual quando invertida no tempo apresentou diferença de 24 anos no cálculo do tempo para completo assoreamento, sendo o tempo para o completo assoreamento calculado em 45 anos para série com menor aporte nos primeiros anos da operação e 21 anos para a série invertida (maior aporte nos primeiros anos). Um assoreamento mais rápido também foi observado para os cenários de amplitudes de 100 e 200 m³/s com maior aporte de sedimentos nos primeiros anos de operação, sendo respectivamente 40 e 30 anos, o que significa uma diferença de 6 e 16 anos no tempo de assoreamento calculado para as mesmas séries de dados invertida no tempo.

Observou-se tempo de assoreamento de 45 anos para deflúvio constante; 46 anos para séries crescentes de amplitude de vazão de 100 e 200 m³/s; 45 anos para séries crescentes de amplitude de vazão de 300 m³/s; 40 anos para séries decrescentes de amplitude de vazão de 100 m³/s; 30 anos para séries decrescentes de amplitude de vazão de 200 m³/s; e 21 anos para séries decrescentes de amplitude de vazão de 300 m³/s. A Figura 19 apresenta a evolução da perda de capacidade de armazenamento para os cenários simulados.

Figura 19 – Tempo de assoreamento para os diferentes cenários de amplitude e de ocorrência de maior aporte de sedimentos no início (séries decrescentes) ou fim da vida do reservatório (séries crescentes).

Para se evidenciar que o período de ocorrência do maior aporte de sedimentos afeta no cálculo do tempo de assoreamento também foram analisados cenários com vazão e aporte de sedimentos constantes equivalentes aos valores médios de aporte de sedimentos encontrados nas séries com amplitude de 100, 200 e 300 m^3/s , correspondendo respectivamente a 5,13; 5,52 e 6,16 $10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. Como esperado, um maior aporte de sedimentos que o cenário de referência produziu menor tempo de assoreamento, porém, quando comparados entre os cenários de mesmo aporte de sedimentos, aquele com a maior parte do aporte nos primeiros anos da operação do reservatório apresentaram um assoreamento mais rápido, como pode ser observado nas Figuras 20, 21 e 22.

Figura 20 – Tempo assoreamento para os cenários de aporte total iguais a $5,13 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Figura 21 – Tempo assoreamento para os cenários de aporte total iguais a $5,52 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Figura 22 – Tempo assoreamento para os cenários de aporte total iguais a $6.16 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Os resultados deste experimento corroboram os resultados do Experimento I mostrando que mesmo se mantendo o mesmo valor médio de vazão a variação da vazão e amplitude de vazão afetarão a o cálculo do aporte de sedimento, sendo quanto maior a amplitude, maior o aporte de sedimentos observado.

Também pode-se notar um segundo mecanismo pelo qual a variação das vazões afeta o cálculo do assoreamento, que é o período de ocorrência da maior parte do aporte de sedimentos. Os resultados apontam que o tempo de assoreamento do reservatório é menos sensível as variações do aporte de sedimento quando a maior parte do aporte ocorre após vários anos de operação e o reservatório já se encontrar parcialmente assoreado. Isto se deve ao fato de que neste estágio da vida do reservatório seu volume encontra-se reduzido pelo assoreamento ao longo dos anos, este fato associado a vazão mais elevada (maior aporte de sedimentos) acarreta em uma Er reduzida, de modo que uma menor quantidade do sedimento aportado ao reservatório é efetivamente transformada em assoreamento. Nos casos das séries com maior aporte de sedimento nos primeiros anos de operação do reservatório (e com Er perto do seu valor máximo) o tempo de assoreamento do reservatório é bem mais sensível a variação do aporte de sedimento, o que é evidenciado pela grande diferença na estimativa do tempo de completo assoreamento observado nos três cenários.

Ainda destacando o papel da *Er*, observou-se que o aporte total de sedimentos necessário para o completo assoreamento do reservatório foi diferente para os casos das séries invertidas. Realizando a somatória do aporte anual até o momento em que o reservatório atingisse seu completo assoreamento, para a série de vazão com amplitude de $100 \text{ m}^3/\text{s}$, observou-se que foram necessários $238,4$ e $229,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ para as séries de menor aporte e maior aporte nos primeiros anos, respectivamente, uma diferença de aproximadamente 4%. O aporte total observado para o cenário de deflúvio e aporte de sedimentos constante foi de $230,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. A Tabela 5 apresenta um quadro resumo do aporte total de sedimentos requerido para o completo assoreamento.

Tabela 5 – Resumo dos resultados do Experimento II, destacando a diferença no tempo e o aporte total de sedimentos necessário para o assoreamento completo.

Comportamento do deflúvio	Cenário		Tempo de assoreamento (anos)	Aporte total de sedimentos (10^6 m^3)
	Amplitude (m^3/s)	Q_s médio ($10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$)		
Constante	0	5,00	45	230,0
Crescente	100	5,13	47	238,4
Decrescente	100	5,13	40	229,6
Constante	100	5,13	44	230,9
Crescente	200	5,52	41	231,8
Decrescente	200	5,52	30	237,0
Constante	200	5,52	46	231,0
Crescente	300	6,16	45	239,3
Decrescente	300	6,16	21	237,6
Constante	300	6,16	37	234,2

6.1.3. Experimento III – Criação e análise de séries de vazão quanto ao deflúvio e aporte de sedimentos total

O modelo hidrológico descrito no item 5.3 foi utilizado para a geração de séries utilizando dados do estudo de caso do reservatório da PCH Mogi-Guaçu. A descrição dos dados disponíveis adotados e da obtenção dos parâmetros de entrada do modelo são detalhados nos itens 7.1 e 7.6, respectivamente.

Como citado anteriormente, dados hidrológicos possuem um comportamento estocástico (Righetto, 1998), o qual possui um fator aleatório na descrição dos dados, e é inerente aos modelos matemáticos que representam fenômenos estocásticos a dependência

do fator aleatório (Haan, 1941; Clarke, 1994; e Hipel e McLeod, 1994), criando séries ligeiramente distintas caso aplicados iterativamente. Por entender-se que esse é um fenômeno comum ao processo de geração de séries sintéticas em hidrologia, maiores discussões sobre os métodos não se mostram necessárias ao escopo do trabalho, principalmente pelo modelo hidrológico, apesar de ser uma importante ferramenta na presente pesquisa, não é o foco do estudo. As discussões aqui apresentadas se limitam a influência que a aleatoriedade inerente aos modelos hidrológicos de geração de cenários futuros causa na previsão aporte de sedimentos.

Uma análise do deflúvio anual das séries apontou que houve desvio do valor médio entre 16.4 e -9.6 %. Deve-se ressaltar que a correlação entre aporte de sedimentos e deflúvio não é linear, de modo que o aporte anual de sedimentos apresentou desvio do valor médio entre 44.8 e -21.7 %.

A variação do aporte total de sedimentos e deflúvio total e apresentam um certo correlação positiva dos dados, porém apresentando pontos fora da curva de tendência. Houve casos que deflúvio líquido foi maior que a média e o aporte de sedimentos menor, como os casos das séries 11 e 12, e casos em que o deflúvio líquido similar e resultados diferentes para o aporte de sedimentos, como as séries 25 e 20, séries 06 e 21 e séries 12 e 19 (Tabela 6).

Tabela 6 – Desvio apresentado pelas séries sintéticas em relação aos valores médios de deflúvio e aporte de sedimentos.

Série	Deflúvio médio anual	Aporte de Sedimento médio anual	Série	Deflúvio médio anual	Aporte de Sedimento médio anual	Série	Deflúvio médio anual	Aporte de Sedimento médio anual
S-01	16.4%	44.8%	S-10	-5.0%	-7.3%	S-19	4.7%	8.6%
S-02	4.0%	3.7%	S-11	2.1%	-8.4%	S-20	-3.8%	-11.2%
S-03	-2.5%	-10.8%	S-12	4.9%	-0.5%	S-21	-0.2%	-4.7%
S-04	14.5%	47.3%	S-13	-6.4%	-16.3%	S-22	-0.9%	-2.8%
S-05	5.5%	20.2%	S-14	-2.7%	-6.3%	S-23	-9.6%	-21.7%
S-06	-0.1%	1.7%	S-15	0.0%	-1.8%	S-24	0.1%	-1.9%
S-07	-6.3%	-13.4%	S-16	-3.3%	-10.3%	S-25	-3.9%	-4.7%
S-08	-8.1%	-17.7%	S-17	-2.3%	-1.0%			
S-09	0.3%	-4.4%	S-18	2.5%	18.9%			

Atribui-se este comportamento dos resultados a combinação da aleatoriedade dos dados hidrológicos em um curto intervalo de tempo (diário) e a correlação exponencial entre vazão líquida e descarga sólida, em que séries que apresentem mais picos de vazão

em detrimento à um comportamento mais contínuo, como exemplificado na Figura 23, mesmo que apresentando mesmo valor médio de deflúvio pode apresentar comportamento diferenciado em relação ao aporte de sedimento. Esta observação vem de encontro com os resultados do Experimento I que analisou e comprovou que para um mesmo que para um mesmo valor médio de vazão a que a variação dos dados de vazão (espalhamento representado pela amplitude no experimento) e o expoente n da equação da correlação entre vazão e descarga sólida afetavam o cálculo do aporte de sedimentos, de maneira que quanto maior o espalhamento e quanto maior o expoente, maior seria o aporte de sedimento calculado para uma mesma vazão média.

Figura 23 – Comparação entre séries com deflúvio médio similares e aporte de sedimentos diferente.

A análise dos os resultados corroboram com a afirmação de que o fator aleatório inerente aos métodos estocásticos produzirá séries de vazão diferentes entre si. Pode-se observar que as diferenças observadas na vazão e no deflúvio total e médio são potencializados quando utilizadas para cálculo de descarga sólida e aporte de sedimentos, fator este explicado pelos resultados do Experimento I o qual comprova a influência do espalhamento dos dados em torno da média é do expoente n da equação de correlação entre vazão e descarga sólida no cálculo do aporte de sedimentos.

7. Aplicação do PRIPAR – NH no reservatório da PCH Mogi-Guaçu

Localizada entre os municípios de Mogi-Guaçu e Mogi - Mirim, o barramento que represa as águas do rio que dá nome às cidades e ao empreendimento (Rio Mogi-Guaçu) possui uma potência instalada de 7,2 MW. Suas obras foram iniciadas em 1990 e entrou em operação em 1994. Inicialmente de propriedade da CESP (Companhia Energética de São Paulo) foi adquirida pela AES Tietê S.A no fim da década de 90 durante a grande privatização do setor elétrico e permanece sob concessão dessa empresa. A Tabela 7 apresenta suas características técnicas.

Tabela 7 – Características técnicas da PCH Mogi-Guaçu. Fonte: Adaptado de AES Tietê (2012).

Características técnicas	
Entrada em operação	1999
Localização	Rio Mogi-Guaçu
*Reservatório	Área de 5,73 km ²
	Volume de 32,89 x 10 ⁶ m ³
Barragem	Aterro compactado
	Comprimento 150 m
Turbina	Tipo Kaplan Tubular S
	Queda bruta de 11,6 m
Gerador	Síncrono de eixo horizontal
	Potência total de 2 x 3,6 = 7,2 MW
Vertedouro	Comporta de superfície e
	Descarga total de 4 x 524,8 = 2.099 m ³ /s
Número de Turbinas	2
Número de Circuitos	1
Tensão Nominal	13,8 kV
Cota Máxima Útil	598,50 m
Cota Mínima Útil	596 m
*Volume Útil de Água Acumulado	8,08x10 ⁶ m ³
Eclusa	Não possui eclusa

*dados anteriores ao levantamento realizado neste trabalho e considerando toda a extensão do mesmo.

A Figura 24 mostra a localização do reservatório estudado em um plano geral e a Figura 25 apresenta a barragem PCH Mogi-Guaçu e sua localização no Estado de São Paulo.

Figura 24 – Localização do geral do reservatório da PCH Mogi-Guaçu.

Figura 25 – Vista aérea e localização no estado da PCH Mogi-Guaçu.

Fonte: Mogiana Turismo (2001).

O Rio Mogi-Guaçu, com 473 km de extensão, nasce no sul de Minas Gerais, no Município de Bom Repouso, numa altitude média de 1.700 metros, percorrendo 95,5 km em terras mineiras, e através de uma garganta na Serra da Mantiqueira, a 825 metros do nível do mar, penetra no Estado de São Paulo. Suas águas passam por 377,5 km das terras paulistas desaguando no Rio Pardo, e formam com seus afluentes a Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu, com 15.004 km² de área de drenagem e que abrange 38 municípios paulistas onde vivem 1,4 milhões de habitantes, e ocorre intensa atividade industrial, agroindustrial, agrícola e pecuária, com forte e expressiva representação na formação do PIB paulista (CBH MOGI, 2008).

Segundo CBH MOGI (2008) as águas do reservatório da PCH Mogi-Guaçu enquadram-se como classe 2, seu entorno é utilizado predominantemente para cultura de cana-de-açúcar, apresentando também pequenas áreas de pastagem e de cultivo de café e sua área de influência encontra-se em zona caracterizada como de alta suscetibilidade à erosão, bem como grande parte da área de drenagem da bacia do reservatório.

O mesmo estudo também apresenta um mapa de suscetibilidade ao assoreamento, o qual basicamente apresenta regiões de fundos de vale correspondente a calha dos principais rios. Uma das regiões apontadas como sendo de alta suscetibilidade corresponde à área onde se encontra o reservatório de Mogi-Guaçu e a calha de seus principais afluentes.

Além da geração, a barragem possui a finalidade de amortecimento de picos de cheia e abastecimento das cidades de Mogi - Mirim e Mogi-Guaçu. Ambos os municípios possuem em sua malha urbana áreas de alta suscetibilidade a enchente ao longo da calha do rio no trecho de jusante da barragem de Mogi-Guaçu.

O reservatório em si apresenta características interessantes do ponto de vista morfológico e hidráulico. Existem dois pontos onde se observa um estreitamento da seção transversal do reservatório, restringindo o escoamento a uma área pouco superior à da condição natural do rio em seu trecho de montante. Os levantamentos batimétricos realizados em 2004 e 2014 apontam quase nenhuma deposição de sedimento nestes locais. Estes dois pontos separam o reservatório em três zonas de deposição de sedimentos apresentadas na Figura 26a, atuando (do ponto de vista sedimentológico) quase que como reservatórios em cascata.

As visitas de campo, dados dos levantamentos batimétricos e imagens aéreas, indicam que cada zona do reservatório se encontra em um estágio de assoreamento diferente segundo classificação de Morris & Fan (2010) apresentada na revisão de literatura deste trabalho. A zona 1 é caracterizada por um assoreamento avançado, com depósitos acima do nível normal operacional (formando ilhas), com o escoamento sendo concentrado somente na calha fluvial (estágio 3 do assoreamento). Deve-se ressaltar que este estágio somente é alcançado quando os sedimentos já atingiram os órgãos de descarga. Neste caso, o estreitamento da calha fluvial é a responsável pela alteração do regime hidráulico e retenção do sedimento na zona 3 nas cotas superiores.

Figura 26 – a) Representação das zonas de deposição de sedimentos formada pelos estreitamentos da seção transversal; e b) Imagem aérea mostrando a predominância de macrófitas na zona 1, presença de ilhas e macrófitas na zona 2, e predominância de espelho d'água aparente na zona 3.

A zona 2 é caracterizada por uma intensa exploração de areia por meio de dragagem hidráulica. Esta atividade dificulta o entendimento do assoreamento nesta zona, pois os bancos de sedimentos ali formados são dragados de tempos em tempos e o traçado do leito do rio é desenhado artificialmente pelas dragas (Figura 27). São observadas zonas com planície de inundação acima do nível normal de operação, o que leva a acreditar que sem a contínua dragagem do local esta zona se encontraria em situação semelhante a zona 1 e em um estágio mais avançado do assoreamento. No momento do levantamento de dados de campo desta pesquisa (2012 – 2014), este local se encontrava como uma contínua deposição de sedimentos nas cotas inferiores, apresentando profundidades entre 8 e 10 m.

Figura 27 – Zonas 2 e 3 do Reservatório da PCH Mogi-Guaçu nos anos de 2006 (a) e 2013 (b). As setas destacam os locais com evidências de alteração do traçado do talvegue pela dragagem.

Assim como na zona 2, a zona 3 apresenta contínua deposição de sedimentos, ambas se caracterizando como estágio 1 de assoreamento. O início da zona 3 é caracterizada por uma expansão lateral de 100 para 700 m. Dados dos levantamentos batimétricos realizado em 2004 e 2014 mostram uma elevação do leito logo após este local, evidenciando que o alargamento e aumento da área da seção transversal neste local proporciona condições para a formação de um grande depósito de sedimentos em forma de delta (2 – 3 m de profundidade).

Uma maior discussão quanto a caracterização dos processos sedimentológicos do reservatório pode ser encontrada em Estigoni *et al.* (2015).

No âmbito desta pesquisa os dados do monitoramento fluviométrico da PCH Mogi-Guaçu são utilizados pelo Experimento II e para a previsão do assoreamento do estudo de caso, sendo os mesmos apresentados a seguir. Já os dados da caracterização física do reservatório e dos sedimentos são utilizados somente na previsão do assoreamento, de modo que para melhor fluidez de ideias e buscando ser didático na apresentação do procedimento proposto para estudo de assoreamento, o detalhamento dos dados físicos e sedimentológicos do reservatório, bem como a descrição das atividades de campo para o levantamento de dados, serão apresentados ao longo dos subitens deste capítulo.

A seguir são descritas as atividades das etapas I a VIII do PRIPAR – NH. Por conveniência e estética do texto, as etapas serão numeradas como subitens.

7.1. Revisão dos dados disponíveis e identificação da necessidade de coleta de campo

No início do projeto foi realizado o levantamento dos dados existentes junto aos bancos de dados públicos, junto a concessionária, banco de dados do acervo de trabalhos do núcleo de Hidrometria EESC-USP.

7.1.1. Levantamento de dados Hidrológicos

Os dados de monitoramento fluviométrico de interesse para o estudo de caso foram pesquisados nos bancos de dados hidrológicos oficiais além de consulta a concessionária de energia AES Tietê S.A.. Os bancos de dados utilizados para a pesquisa foram:

→ Hidroweb: Banco de dados disponibilizado pela Agência Nacional de Águas (ANA);

→ AES Tietê.

Verificou-se que a concessionária mantém uma rede de monitoramento hidrológico na área de influência da PCH Mogi-Guaçu. É composta por postos de monitoramento de nível e vazão dos rios, nível do reservatório de montante e jusante e dados pluviométricos. Também são monitoradas as vazões que saem do reservatório (turbinada e vertida). Foi observado que o banco de dados Hidroweb apresenta o cadastro dos postos telemétricos operados pela AES Tietê S.A. e dados convencionais operados por outras instituições. A Tabela 8 apresenta os respectivos dados fornecidos pela concessionária de energia AES Tietê S.A. e informações obtidas no banco de dados Hidroweb.

Tabela 8 – Dados fornecidos pela concessionária de energia AES Tietê.

Nome AES	Código ANA	Área de Drenagem* (km² - %)	Data de registro dos dados fornecidos	Variáveis fornecidas	Intervalo entre as medições
Cristália	61875000	269 km² 7.1%	22/12/2006 a 27/07/2012	Nível Vazão	1h até 31/12/2008 15min posteriormente
Duas Pontes	61880000	1390 km² 36.6%	01/01/2002 a 27/07/2012	Nível Vazão Chuva Intervalo Chuva Horária Chuva coletada	1h até 31/12/2008 15min posteriormente
Sítio Marangone	61874000	1980 km² 52.1%	01/01/2002 a 27/07/2012	Nível (Não foi medido em 2008) Vazão (Não foi medido em 2008) Chuva Intervalo Chuva Horária	1h até 31/12/2008 15min posteriormente
José Roberto Bueno	61884090	3800 km² 100%	22/07/2008 a 27/07/2012	Nível Vazão (somente a partir de 21/01/2009)	1h até 31/12/2008 15min posteriormente
Usina Mogi Jus	61884080	3800 km² 100%	01/01/2002 a 27/07/2012	Nível (poucos e curtos períodos de dados) Chuva Intervalo Chuva Horária	1h até 31/12/2008 15min posteriormente
Usina Mogi Mont.	61884080	3800 km² 100%	27/02/2002 a 27/07/2012	Nível	1h até 31/12/2008 15min posteriormente

* As informações técnicas dos postos foram obtidas na base de dados da ANA.

As séries fornecidas correspondem aos postos denominados Cristália, Duas Pontes e Sítio Marangone, localizadas respectivamente no Córrego da Penha, Rio do Peixe e Rio Mogi-Guacú, os principais rios afluentes ao reservatório, correspondendo a praticamente a totalidade da vazão afluente; o posto Jose Roberto Bueno a jusante da barragem, além de monitoramento de nível de jusante, do nível do reservatório e também as vazões turbinadas

e vertidas. Os dados seguem os padrões do monitoramento automatizado preconizado pela ANA-ANEEL com dados sub-horários. A Figura 28 apresenta a localização dos postos.

Figura 28 – Localização do reservatório e de alguns postos de monitoramento da empresa.

O dado corresponde a vazão afluente total e nível operacional do reservatório foi determinado com base na análise dos dados dos postos de montante.

Foi observado que havia falhas nas séries e foi feita análise de consistência dos dados e preenchimento de falhas. O procedimento de preenchimento de falhas pautou-se no percentual das áreas de contribuição e nos dados dos demais postos. Observou-se que a contribuição do posto Cristália na variabilidade dos dados era muito pequena, de modo que se optou por se utilizar a soma dos dados dos postos Sítio Marangone e Duas pontes corrigidos por sua área de drenagem (88.7%) para o cálculo da vazão. Estes dados foram confrontados e observou-se boa concordância com os dados do posto de jusante (José Roberto Bueno).

No ano de 2008 houve uma grande falha em todos os postos operados pela AES Tietê S.A.. Para este período foi utilizado o banco de dados da ANA de monitoramento convencional, posto 61884002 operado pelo DAEE. Dados deste posto também foram utilizados para a correção de valores observados no ano de 03/01/2011 à 27/07/2012, período onde observa-se um aumento sistemático das vazões do posto Duas Pontes. Os dados do posto neste período foram confrontados com a soma das vazões turbinada e vertida e com dados dos postos localizados a jusante, ficando claro que erros de medição

foram cometidos (provavelmente descalibração ou movimentação do sensor de medição do nível d'água). A Figura 29 apresenta em detalhe a série no período do erro de medição identificado.

Em um segundo momento foi fornecido dados de 28/07/2012 até 26/03/2014, período correspondente ao encerramento da coleta de dados de campo do projeto de P&D. Este segundo arranjo de dados já havia sido consistido pela equipe da AES Tietê S.A. e apresentavam o cálculo da vazão afluyente total. A Figura 30 apresenta os dados consistidos de vazão afluyente ao reservatório.

Figura 29 – Série de vazões afluentes ao reservatório da PCH Mogi-Guaçu, destaque para o período do ano de 2011 e 2012 onde foi identificado erro sistemático nos dados.

Figura 30 – Série de vazões afluentes ao reservatório da PCH Mogi-Guaçu.

Os dados aqui apresentados foram utilizados no Experimento III como base do modelo hidrológico para a geração das séries de vazão dos cenários futuros, e também durante a etapa de calibração do modelo hidrodinâmico e de transporte de sedimentos empregado no estudo do assoreamento do estudo de caso. As séries de vazão geradas durante o Experimento III também foram utilizadas no estudo do assoreamento do reservatório da PCH Mogi-Guaçu.

7.1.2. Dados de geometria do reservatório

Na aplicação de modelos de transporte de sedimentos, dados do volume do reservatório, bem como seu formato são utilizados como dados de entrada. Mauad *et al.* (2005) verificou que os dados de levantamento topográfico de projeto do reservatório não haviam ficado de posse da CESP (antiga concessionária) e havia se perdido/deteriorado nos arquivos da companhia, possivelmente queimados durante um incêndio. Na impossibilidade de encontrar dados do projeto, os autores conduziram o levantamento batimétrico do reservatório no ano de 2004. O levantamento batimétrico foi realizado pela equipe do Núcleo de Hidrometria da EESC - USP em um projeto de P&D da ANEEL intitulado "Previsão do assoreamento de reservatórios formados por barragens, a ser realizado com o estudo dos 10 (dez) reservatórios da AES Tietê: Barra Bonita, Bariri, Ibitinga, Promissão, Nova Avanhandava, Água Vermelha, Caconde, Euclides da Cunha, Limoeiro e Mogi-Guaçu" (Mauad *et al.*, 2005).

Foi identificada a necessidade de obtenção de um novo dado de geometria do reservatório os quais foram levantados no ano de 2014 durante a presente pesquisa.

A determinação do relevo de fundo do reservatório é feita por meio de levantamentos batimétricos. Os métodos mais comuns de se realizar o levantamento batimétrico são o levantamento de contorno e o levantamento de linhas topobatimétricas (ICOLD, 1989). A evolução dos equipamentos nos permite hoje incluir um terceiro item o qual é a varredura completa do leito. É comum o uso de métodos em conjunto explorando suas potencialidades (Estigoni *et al.*, 2014a).

Optou-se também por se reprocessar os dados do levantamento batimétrico realizado em 2004 utilizando técnicas e métodos mais modernos para a melhoria do dado. Em ambos os casos, o processamento dos dados seguir a premissa de se combinar os dados de levantamento de linhas topobatimétricas com dados advindos do levantamento de contorno, e curvas de nível de levantamentos topográficos.

7.1.2.1. Dados do Levantamento batimétrico do ano de 2004

Deve-se atentar que as normas nacionais que dispões sobre os levantamentos batimétricos em reservatórios são recentes, tendo sido editadas a partir de 2012 (ANA, 2011, 2013). Deste modo, os métodos para definição do espaçamento entre seções, bem como os equipamentos utilizados, foram definidos baseados em livros e manuais nacionais e internacionais disponíveis na época (Carvalho *et al* 2000b, Morris & Fan 1998).

A coleta de dados de posição foi feita com dispositivo GNSS que utiliza a constelação GPS modelo GS 20 da *Leica Geosystems* empregando correções diferenciais via satélite providas do extinto serviço *RACAL Landstar*, sendo que a precisão obtida com esta técnica é submétrica para 99% do tempo segundo os fornecedores do serviço. As profundidades foram mensuradas com um medidor de vazão por efeito *doppler* da *Sontek Inc.*, modelo ADP 1200 kHz. A integração e acoplamento dos dados foi realizada com o software *RiverSurveyor* (*Sontek Inc.*). A Figura 31 ilustra a configuração dos equipamentos utilizados.

Figura 31 – a) Configuração de montagem do ADP acoplado ao computador de bordo e ao GPS. b) Esquema de funcionamento do ADP.

Fonte: Estigoni *et al.* (2009).

O espaçamento entre seções foi variável. O maior espaçamento utilizado foi de aproximadamente 250 metros que era aconselhado pelo Guia do Assoreamento de Reservatórios publicado pela ANEEL (CARVALHO *et al.*, 2000b). Porém, observou-se a necessidade de utilizar espaçamento mais restritivo que o aconselhado pela ANEEL, principalmente nas regiões mais estreitas do reservatório. A Figura 32 mostra as seções batimétricas realizadas no levantamento de 2004.

Figura 32 – Seções de levantamento batimétrico realizadas no ano de 2004.

Buscando um melhor resultado do que o encontrado na época do estudo, os dados originais foram retrabalhados no âmbito desta pesquisa utilizando técnicas de tratamento de dados batimétricos desenvolvidos nos últimos anos, como a técnica IMP de modelagem de terrenos apresentada em Estigoni e colaboradores (2014ab), além do uso de dados auxiliares como a obtenção do contorno por imagem de satélite de alta resolução e o uso de dados do projeto da barragem.

As pequenas dimensões do reservatório possibilitaram o uso de imagem do banco de dados do Google Earth sem perda de resolução (pixel resultante de 2,16 x 2,16 m) para aplicação da técnica de levantamento do contorno do reservatório. A imagem que mais se aproximava da data do levantamento disponível do satélite Digital Globe de 25/04/2006 (Figura 33). A imagem foi georreferenciada com auxílio de levantamento topográfico de apoio realizado com dispositivo de posicionamento via satélite, GNSS (*Global Navigation System Satellite*) de alta precisão.

O levantamento do contorno do reservatório (espelho d'água) em seu nível operacional normal (cota 600,0 m) foi delimitado por meio da técnica de fotointerpretação baseado em imagens aéreas de alta resolução, utilizando feições como a linha das plantações e diferenciação na vegetação (Matos, 2012; Estigoni, 2012; e Estigoni *et. al.*, 2014ab), também se mostrou de grande importância a visita prévia ao local e reconhecimento de locais de bancos de macrófitas. As Figura 34 apresenta exemplo do traçado do contorno do reservatório.

Adicionalmente, a planta planialtimétrica do barramento (Figura 35) foi utilizada para fornecer detalhes do relevo de fundo do reservatório nas regiões próximas a barragem onde, por questões de segurança (possibilidade de a embarcação ser arrastada para os órgãos de descarga), não foi realizado o levantamento batimétrico. Devido à posição dos órgãos de descarga serem junto ao leito, assumiu-se que as características hidrodinâmicas locais não favoreceriam a deposição de sedimentos no local. Deste modo, foram mantidas as cotas altimétricas apresentadas na planta do projeto para a criação do MDT do reservatório para o ano de 2004.

Figura 33 – Imagem georreferenciada do Satélite Digital Globe.

Figura 34 – Detalhe da digitalização do contorno em local com banco de macrófitas no trecho do porto de areia abandonado.

Figura 35 – Detalhe da digitalização do contorno baseado na planta do projeto da PCH Mogi-Guaçu.

Foram utilizados os dados do mapeamento topográfico do projeto MAPEIA (EMPLASA, 2011) em escala 1:10000 e equidistância das curvas de nível é de 5 metros, da região próxima ao reservatório para a extrapolação dos dados até cota superior ao nível d'água máximo a ser observado nas simulações. O MDT foi gerado até o limite de 605 m.

A geração do MDT foi feita pelo método da Inserção de Malha de Pontos - IMP desenvolvido pelo Núcleo de Hidrometria da EESC-USP, inicialmente por Estigoni (2012) e aperfeiçoado por Matos (2012). Outras aplicações são apresentadas posteriormente por Estigoni *et al.* (2012, 2014ab). A principal vantagem deste método está na minimização da influência das bordas no processo de modelagem, principalmente nas zonas entre seções de levantamento. Nestes locais, a conectividade dos dados da borda até regiões mais centrais ao reservatório produzem modelos com regiões rasas que inexistem, há também a formação de superfícies planas de cota correspondente a cota limite utilizada na modelação quando os dados do contorno do reservatório são interpolados entre si. Minimizando esses efeitos o método IMP fornece dados de volume do reservatório mais próximos da realidade.

Os procedimentos realizados são:

1. Extrair o contorno da batimetria (pontos extremos) e gerar um polígono
2. Gerar um TIN utilizando somente os dados da batimetria do reservatório
3. Gerar um Raster com o TIN obtido na segunda etapa
4. Extrair uma máscara do Raster utilizando o contorno da batimetria obtido na primeira etapa
5. Converter em pontos a máscara do Raster extraída na quarta etapa
6. Gerar o TIN final utilizando a malha de pontos obtido na quinta etapa (*masspoint*), os transectos da batimetria (*masspoint*) e a borda original do reservatório (*softclip*).

Maiores detalhes sobre o desenvolvimento e algumas aplicações do método IMP podem ser encontrados em Estigoni (2012), Matos (2012) e Estigoni *et al.* (2012, 2014ab).

A Figura 36 apresenta o mapa batimétrico do reservatório para o ano de 2004 gerado.

Figura 36 – Mapa batimétrico do reservatório de Mogi-Guaçu para o ano de 2004.

7.1.2.2. Levantamento batimétrico - Ano 2014

Como mencionado anteriormente, o levantamento batimétrico do ano de 2014 foi realizado no âmbito desta pesquisa, sendo o levantamento de dados de campo e o processamento realizados pelo autor.

Assim como no caso da batimetria de 2004, foi utilizada a imagem do satélite Digital Globe obtida gratuitamente no banco de dados do Google Earth da data mais próxima ao levantamento (28/07/2013), servindo não só para subsidiar o levantamento do contorno do reservatório, mas também como base para o planejamento do levantamento de campo. A Figura 37 apresenta a imagem de satélite utilizada e os pontos de controle utilizados no processo de georreferenciamento.

Também foram utilizados como dados de apoio o levantamento aerofotogramétrico do Projeto Mapeia do Governo do estado de São Paulo (EMPLASA, 2011) e da planta planialtimétrica do barramento.

Figura 37 – Imagem georreferenciada do Satélite Digital Globe.

Segundo o método previsto pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2013), o valor de referência de espaçamento entre seções seria de 56 m., porém, como apontado em Estigoni (2012), regiões mais estreitas de reservatórios necessitam de maior grau de detalhamento, sendo assim praticou-se um espaçamento variável entre seções, variando de

10 a 50 m. Deve-se ressaltar que o levantamento realizado em 2014 apresenta maior detalhamento do leito que o levantamento de 2004.

O levantamento da batimétrico propriamente dito se deu em janeiro de 2014. Foi empregada a técnica da eco-batimetria com posicionamento horizontal via GNSS de precisão.

O ecobatímetro utilizado é do modelo BATHY-500MF da fabricante *SyQwest*. Inc. Este aparelho pode fornecer dados de profundidade tanto em papel térmico em gráficos completos de alto contraste como por interface versátil com computadores. O equipamento utilizado proporciona uma precisão das medidas de profundidade da ordem de centímetros para profundidades de até 100m com erro associado é de 0,5% da profundidade medida.

Foram utilizados dois dispositivos para obtenção do posicionamento planimétrico (bidimensional). O receptor GNSS do modelo GS20, PDM (*Professional Data Mapper*) e a antena modelo AT 201 (ambas da empresa *Leica Geosystems*), que operam utilizando a constelação de satélites GPS, foram acoplados ao receptor DGPS 3000L da empresa Fugro, com a antena AT 51, modelo Mk4 da empresa *RACAL Landstar* que fornece as correções diferenciais via satélite (DGPS) utilizando o serviço privado fornecido pela empresa OMNISTAR. A Figura 38 mostra o GS20 e o receptor 3000L. A configuração de equipamentos e as técnicas de correção empregadas proporcionam precisão de posicionamento horizontal em 95% do tempo de uso inferior a 1m e em 99% do tempo próximo à 1m (OMNISTAR, 2012).

Figura 38 – a) Equipamento GPD - GS20 da Leica Geosystems; b) Receptor 3000L da Fugro.

Fonte: Leica (2014).

A comunicação do ecobatímetro com o GNSS foi feita com o *software* HYPACK MAX da homônima HYPACK, Inc.. O programa constituído por vários módulos e, foi também utilizado para o planeamento do levantamento batimétrico, orientação da navegação, coleta de dados, tratamento e processamento dos dados.

A montagem esquemática dos dispositivos e o princípio de funcionamento de um ecobatímetro são apresentados nas Figura 39 e 40.

Figura 39 – Arranjo dos equipamentos no barco durante a coleta de dados em campo. A Antena do receptor GPS e o transdutor do ecobatímetro (não representados) são montados na mesma haste (em extremidades opostas) e colocados na lateral do barco.

Figura 40 – a) Esquema da montagem dos equipamentos; b) Princípios de funcionamento de uma sonda acústica.

Fonte: Adaptado de USACE (2004).

A calibração da velocidade do som foi feita diariamente utilizando método *bar-check*. Devido as pequenas dimensões, a declividade da lâmina d'água foi assumida como constante, sendo a leitura de nível do reservatório junto a barragem assumida como cota de referência do dia de levantamento.

A Figura 41 mostra as seções de levantamento realizadas

Figura 41 – Seções de levantamento batimétricas realizados no reservatório de Mogi-Guaçu.

Além dos equipamentos específicos utilizados para a realização de levantamento batimétrico, para a execução dos trabalhos de campo foram utilizados equipamentos auxiliares comumente conhecidos (não necessitando maiores explicações ou especificações técnicas) os quais são apresentados a seguir:

- Barco de alumínio de 18 pés;
- Motor de popa 25Hp Mercury;
- Motor de popa reserva de 15Hp Yamaha;
- Caminhonete com engate e carreta para deslocamento de barcos;
- Gerador Elétrico à Gasolina Honda – EU 10i;
- Nobreak;
- Toughbook (computador de bordo);
- Caixa de ferramentas;
- Bateria;
- EPI's.

Após o trabalho de campo, parte-se para o processamento das informações coletadas, com o objetivo de se analisar os dados obtidos e filtrar as informações necessárias à elaboração do MDT do reservatório.

A origem de dados discrepantes das medidas de profundidade nos levantamentos batimétricos está relacionada a diversos fatores, como o balanço do barco, perda de sinal GPS, presença de vegetação de fundo, erro na paridade de dados entre ecobatímetro e GPS, etc.. Existem modelos prontos de correção de dados de batimetria, mas que o próprio fabricante da HYPACK alerta no manual do usuário que este deve ser utilizado com muita cautela. A Figura 42 mostra uma seção com dados anômalos, depois esta após tratamento com o filtro automático e após tratamento manual.

Foi feita a análise individual de cada seção, sendo o comportamento destas comparado a das seções de levantamento próximas, de forma a verificar a existência ou não de um padrão de comportamento da anomalia encontrada. Observações da equipe de campo sobre a coleta de dados também são consideradas no momento da identificação de possíveis erros. A Figura 43 apresenta uma das seções levantadas no Reservatório de Mogi-Guaçu antes e após o tratamento.

Figura 42 – Exemplo de uma seção de seção após tratamento automático e manual.

Figura 43 – Exemplo de correção de dados anômalos no reservatório de Mogi-Guaçu.

Ainda no HYPACK foi feita a correção da velocidade do som utilizando os dados dos testes do *bar-check*.

A compatibilização do formato dos dados exportados pelo HYPACK MAX com os dados de importação do ArcGIS 9.3® foi feita com auxílio do *software* Microsoft Excel®. A correção do posicionamento do transdutor a 0,40 m de profundidade da lâmina d'água (*offset*) e do nível operacional do reservatório (transformação de profundidade em altura geométrica) foi feita no Microsoft Excel®.

Foi então aplicada o método IMP para a geração do MDT descrita anteriormente.

A Figura 44 mostra o mapa do relevo de fundo do reservatório do ano de 2014.

Figura 44 – Mapa batimétrico do reservatório de Mogi-Guaçu

7.1.3. Dados do monitoramento e caracterização dos sedimentos

Nenhuma das estações fluviométricas próximas, e a montante do reservatório apresentavam histórico de dados de descarga sólida até o momento da obtenção dos dados junto a concessionária. Também não se encontrou dados referentes a características físicas dos sedimentos afluentes e depositados no reservatório.

Foi planejado campanhas de coleta de dados durante as estações seca e chuvosas do ano de 2014 para subsidiar a estimativa das cargas sólidas de sedimento, bem como a caracterização do mesmo.

7.1.3.1. Coletas de dados

Durante a primeira etapa de atividades de campo (janeiro de 2014) foi realizado amostragem do sedimento do leito. A técnica empregada foi a do *piston core* a qual coleta amostras indeformadas (ou quasi-indeformadas) do leito em um perfil, possibilitando que seja realizada a análise de camadas do leito. Foram coletados seis perfis de sedimento apresentados na Figura 45, porém, devido a grande sinuosidade do trecho, bem como a intensa atividade de mineração de areia, os *cores* 1 e 2 foram descartados, sendo somente os dados dos Cores 3 à 6 utilizados no presente estudo.

Figura 45 – Locais onde foram realizadas as amostras de sedimentos de leito no reservatório de Mogi-Guaçu.

A Tabela 9 apresenta a relação das profundidades alcançadas em cada ponto de coleta (testemunho) e o número de sub-amostras em que os testemunhos foram divididos. A profundidade amostrada nos *cores* 4, 5 e 6 foi de 40 cm. Cada perfil foi dividido em sub-amostras de 10 cm cada. Salvo a amostra mais profunda do core 3 com 9 cm (entre profundidades de 30 e 39 cm). As divisões em sub-amostras foram feitas ainda em campo.

Tabela 9 – Profundidade alcançada e número de sub-amostras analisadas em cada testemunho amostrado.

Ponto amostrado	Profundidade máxima (cm)	Número de sub-amostras
Core 3 - Ponto 12	39	4
Core 4 - Ponto 14	40	4
Core 5 - Ponto 16	40	4
Core 6 - Ponto 20	40	4

Os ensaios de laboratório para determinação da curva granulométrica foram baseados na NBR 7181 de 1984 - Solo: Análise Granulométrica (ABNT, 1984). O método consiste na análise granulométrica conjunta, ou seja, envolvendo os procedimentos de peneiramento para partículas maiores e densímetro para as frações mais finas. As peneiras utilizadas são as especificadas na NBR 5734 (ABNT, 1980).

A Figura 46 mostra um exemplo da curva granulométrica da sub amostra entre 20 e 30 cm de profundidade do core 4. Os resultados das análises de cada sub-amostra são apresentados nas Tabelas 10, 11, 12 e 13 e em resumo na Figura 47. Deve-se atentar que em nenhuma das amostras foi encontrada a fração pedregulho, portanto a mesma não é apresentada nas tabelas.

Figura 46 – Curva granulométrica da sub-amostra entre 20 e 30cm de profundidade do core 4.

Tabela 10 – Distribuição das frações granulométricas do core 3.

Profundidade (cm)	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila
0	11,6%	8,6%	11,5%	21,6%	46,7%
10	11,6%	8,6%	11,5%	21,6%	46,7%
20	19,3%	21,8%	13,6%	13,4%	31,9%
30	21,3%	20,6%	14,0%	13,7%	30,3%
39	26,9%	22,5%	12,6%	10,8%	27,3%

Tabela 11 – Distribuição das frações granulométricas do core 4.

Profundidade (cm)	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila
0	27,2%	13,7%	9,6%	18,6%	30,9%
10	27,2%	13,7%	9,6%	18,6%	30,9%
20	17,5%	11,3%	14,4%	18,2%	38,5%
30	16,5%	13,9%	11,3%	17,2%	41,1%
40	11,7%	12,4%	11,0%	20,1%	44,8%

Tabela 12 – Distribuição das frações granulométricas do core 5.

Profundidade (cm)	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila
0	15,3%	16,7%	12,5%	16,6%	39,0%
10	15,3%	16,7%	12,5%	16,6%	39,0%
20	13,0%	22,1%	11,6%	15,4%	37,9%
30	8,1%	15,1%	16,4%	18,6%	41,7%
40	10,1%	16,3%	15,8%	17,7%	40,1%

Tabela 13 – Distribuição das frações granulométricas do core 6.

Profundidade (cm)	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila
0	3,8%	4,7%	7,8%	25,8%	57,9%
10	3,8%	4,7%	7,8%	25,8%	57,9%
20	5,9%	3,6%	12,6%	22,0%	55,8%
30	20,8%	6,3%	10,5%	19,0%	41,7%
40	5,9%	12,6%	16,2%	19,6%	45,7%

Figura 47 – Figura esquemática apresentando em resumo as análises dos testemunhos 3 a 6 Profundidade alcançada e distribuição das frações granulométricas.

Todas as amostras de superfície, a qual troca sedimentos com a coluna d'água (erosão e deposição) apresenta elevados percentuais de argila, sendo classificados segundo o método proposto por Flemming (2000) (Figura 48) como Lodo Arenoso muito argiloso (Cores de 3 a 5) e Lodo Argiloso ligeiramente arenoso (core 6). Nota-se também no o menor percentual de argila na camada ativa do leito é apresentado no Core 4, região atualmente muito assoreada e de baixa profundidade. Este local corresponde ao início do delta de deposição de sedimentos, hoje o delta já se propagou para jusante e, segundo a batimetria realizada, seu limite está próximo de onde foi realizado o core 5. É comum o aparecimento de frações granulométricas mais grosseiras na região de início dos deltas, isto se deve tanto pelo fato de as partículas mais grosseiras se depositarem primeiro, quanto ao fato de, com a redução de profundidade e, conseqüentemente, maior velocidade de escoamento nesta região, as partículas mais finas que eventualmente se depositariam neste local são erodidas e carregadas para jusante em eventos de cheias.

Figura 48 – Diagrama ternário para classificação de sedimentos.

Fonte: Flemming (2000).

Para a estimativa da descarga de sedimentos foram realizadas amostragem de sedimentos em suspensão concomitantes com medições de fluxo utilizando medidor de vazão Doppler.

Todas as amostras de sedimentos em suspensão foram devidamente identificadas, transportadas à cidade de São Carlos (SP) e armazenadas seguindo as orientações de APHA

(2002). Já em São Carlos foi reservada uma alíquota de 500 mL das amostras de 5 L para a realização dos ensaios de concentração de sólidos de sedimento em suspensão. Visando coleta maior número de dados de sedimentos em suspensão para a construção da curva chave de sedimentos também foram empregadas técnicas de medição indireta de sedimentos em suspensão. Foram realizadas medições de turbidez, do ruído e espalhamento (*backscatter*) dos sinais de medidores acústicos de vazão por efeito *Doppler* e uso de medidor granulométrico por difração laser, semelhante ao proposto em Deines (1999), Dinehart e Burau (2005), Topping (2006), Williamson e Crawford (2011) e Daphne (2011).

As coletas em campo foram programadas para ocorrerem durante o período de chuvas e de seca para abranger uma maior gama de cenários de vazão observados. Porém, o ano de 2014 foi caracterizado como um ano demasiadamente seco, mesmo nos meses historicamente chuvosos, as condições observadas foram típicas de período seco. Durante a campanha de coleta de dados realizada em janeiro de 2014 não se observou vazões superiores a 30 m³/s, enquanto que a média histórica para este mês é 172 m³/s, e máxima vazão média diária observada de 653 m³/s.

As técnicas de medição de descarga de sedimentos pelos métodos indiretos citados foram empregadas para o cálculo da descarga sólida, porém, apesar dos bons resultados da correlação entre sedimentos em suspensão e as técnicas empregadas, devido a condição hidrológica observada não permitiu coletar dados em quantidade suficiente para a construção de uma curva-chave de sedimentos. Sendo assim, maiores detalhes sobre os equipamentos e procedimentos de medição indireta de sedimentos não são abordados no texto. Para maiores detalhes dos resultados da aplicação destas técnicas no reservatório de Mogi-Guaçu vide os trabalhos de Santos e colaboradores (2014, 2015ab).

7.2. Definição do domínio computacional

O domínio computacional corresponde a área a ser representada geometricamente e utilizada como entrada no modelo. No caso específico na modelagem 1D, onde a geometria é representada por seções transversais, o modelo geométrico deve sempre garantir o escoamento confinado, ou seja, em ambos os extremos a seção deve apresentar cotas mais elevadas que o nível d'água (não apresentar “vazamentos pela lateral”). Considerando o histórico da operação do reservatório fornecido pela concessionária, definiu-se como limite superior a cota 602 m.

A abordagem unidimensional da modelagem hidráulica assume que o escoamento possui a mesma velocidade em toda a seção (velocidade média). Esta hipótese não é fiel na

representação de escoamentos em locais sinuosos, com correntes secundárias helicoidais, com correntes de densidade, principalmente no caso da modelagem do transporte de sedimento.

Considerando a intensa atividade de exploração de areia na zona 2 do reservatório a qual traz incertezas a qualquer previsão do comportamento sedimentológicos neste local específico, associado ao fato que esta região é altamente sinuosa, e, portanto, não adequada para a utilização de um modelo unidimensional, optou-se pela limitação da modelagem do assoreamento do reservatório na zona 3.

Retoma-se aqui a afirmação de que o reservatório estudado apresenta comportamento hidráulico e sedimentológico distinto nas três zonas. No limite entre as zonas 2 e 3, existe uma singularidade hidráulica confinando o escoamento da seção transversal com uma rápida expansão lateral, formação esta inerente a entrada de reservatórios. Esta afirmação também é suportada pelos levantamentos batimétricos os quais evidenciam a formação e evolução para jusante de um depósito de sedimentos em formato de delta, características estas intrínsecas a trechos de entrada de reservatórios.

7.3. Definição do Período de Calibração

O período de calibração adotado foi o intervalo de tempo entre os levantamentos batimétricos. Definiu-se como data de início o dia 01 de janeiro de 2004 e encerramento 31 de dezembro de 2013, totalizando 10 anos. As datas escolhidas não correspondem a data exata dos levantamentos, mas sim a datas próximas e que permitiam a análise de um período que compreendesse anos completos. Foram contabilizados anos normais e bissextos.

Os dados de vazão utilizados correspondem aos dados observados e consolidados como vazões médias diárias no referido período.

7.4. Definição do Período de Simulação

Foi definido o horizonte de 50 anos, contados a partir do dia 01 de janeiro de 2014 (data aproximada do levantamento batimétrico mais recente). Este horizonte foi escolhido com base nas estimativas do da vida útil do reservatório feitas por Miranda (2015) que utilizou o método da Eficiência de Retenção por parâmetros empíricos e semi-empíricos. Em seu estudo ele estimou a vida útil em 36 anos para condições hidrológicas de repetição de um ano típico normal.

7.5. Calibração e validação do modelo de transporte de sedimentos

7.5.1. Dados de entrada

7.5.1.1. *Dados de vazão afluyente*

Os dados de vazão utilizados correspondem aos dados observados e consolidados de vazão afluyente no referido período. O intervalo temporal utilizado foi a média diária. A Figura 49 apresenta os dados utilizados.

Figura 49 – Série de vazões afluentes ao reservatório da PCH Mogi-Guaçu.

7.5.1.2. *Condição de contorno de Jusante*

Corresponde a imposição de condições hidráulicas a serem assumidas pelo modelo nos cálculos. Como o modelo respeita a conservação de massa e as séries de vazão apresentava falhas e tiveram que ser preenchidas, uma eventual não paridade nos dados da vazão de entrada e de saída o reservatório poderia se deplecionar demasiadamente (abaixo do nível mínimo de operação) ou ter o nível d'água calculado acima da cota de coroamento da barragem. Deste modo, optou-se pelo uso de condição de contorno do tipo nível operacional em função do tempo em detrimento ao uso de vazão em função do tempo.

A Figura 50 apresenta a série de dados utilizada.

Figura 50 – Nível operacional do reservatório da PCH Mogi-Guaçu entre os anos de 2004 e 2013.

7.5.1.3. *Dados de geometria do reservatório*

O modelo SRH-1D não possui interface gráfica para edição do arquivo da geometria, porém seus desenvolvedores fornecem um programa auxiliar que converte arquivos de geometria do programa HEC-RAS, desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE, 20110) no formato do SRH-1D. A criação de arquivos de geometria do HEC-RAS pode ser feita manualmente no próprio programa com uso de interfaces visuais, e por meio do programa HEC-GeoRAS, também desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE, 2012).

O HEC-GeoRAS é uma extensão do programa ArcGIS. Nela se utiliza todas as ferramentas do ArcGIS para a criação de arquivos tipo vetores, cada um com uma tabela de características próprias inerentes ao tipo de estrutura a ser criada. Possibilita a criação de arquivos de geometria baseado nos MDTs, e a obtenção de parâmetros de maneira automática (baseados nas ferramentas do ArcGIS), como: comprimento do talvegue, distância entre as seções transversais, numeração sequencial de acordo com a posição (i.e., jusante para montante), entre outras funcionalidades. A Figura 51 mostra a tela de trabalho do HEC-GeoRAS e ArcGIS.

Figura 51 – Programa ArcGIS 9.3 com destaque para a barra de ferramentas da extensão HEC-GeoRAS.

Mesmo com o uso de técnicas avançadas de processamento de para modelagem de terrenos, as regiões entre seções batimétricas (onde é realizada a interpolação) terão erros inerentes ao processo de interpolação. De maneira a minimizar a propagação destes erros, optou-se por se definir as seções do modelo hidrodinâmico quase que coincidentes com as do levantamento batimétrico.

Foram criadas seções distribuídas por todo o domínio computacional de maneira relativamente uniforme desde o limite das zonas 2 e 3 do reservatório até a barragem, totalizando 19 seções transversais ao fluxo. A localização das seções foi mantida a mesma para a criação dos modelos geométricos do relevo do reservatório dos anos de 2004 e 2014. A Figura 52 apresenta a distribuição das seções e a localização dos dados do levantamento batimétrico de 2004.

Figura 52 – Seções transversais utilizadas para a criação da geometria do reservatório.

7.5.1.4. Dados do monitoramento e caracterização dos sedimentos

Não existem dados de granulometria do leito para o início da simulação, sendo então assumido os dados coletados no ano de 2014 como para o início da calibração, sendo assumidos a camada de 0 a 10 cm de profundidade como camada ativa do modelo e da camada mais profunda como as demais camadas. Foi utilizada interpolação linear (do próprio modelo) para o cálculo da granulometria inicial das seções intermediárias.

Como relatado anteriormente, os dados de descarga de sedimentos não puderam ser coletados em quantidade satisfatório para a obtenção de uma curva-chave de sedimentos devido a pequena vazão observada no período de coleta. Sendo assim este foi um parâmetro assumido como variável na calibração.

7.5.2. Parâmetros de Calibração

O modelo foi calibrado em função do volume do reservatório realizando a comparação dos seus resultados com os dados do levantamento batimétrico de 2014.

Inicialmente foi feita uma análise de dependência do intervalo de tempo e observou-se que intervalos inferiores a 3 horas não apresentavam alterações significativas. O modelo

foi executado com a opção de regime permanente, e a modelagem de sedimentos seguindo os conceitos de Exner (Exner, 1920; 1925 *apud* USBR, 2012).

Os primeiros testes apontaram instabilidade do modelo e elevado depósito de sedimentos na primeira seção de montante, sendo esta removida.

O tamanho das classes de sedimento padrão do modelo foram alteradas para coincidir com as classes medidas seguindo as normas brasileiras (ABNT, 1980; ABNT, 1984). Utilizou-se duas camadas no leito além da camada ativa (calculada pelo modelo em função do tamanho da maior partícula de sedimento encontrada). Baseado no conhecimento do reservatório onde observa encostas íngremes mesmo abaixo da lâmina d'água definiu-se o ângulo de repouso como sendo 60°. A adoção deste valor relativamente elevado evita que o modelo cause erroneamente o desmoronamento das encostas íngremes, as quais são observadas no levantamento de campo. Por outro lado, essa configuração permitiria de um delta íngreme ao longo do eixo longitudinal. Tal efeito foi minimizado com o uso do “fator de acomodação do transporte de sedimento” que o SRH-1D possui, o qual tem como efeito prático fazer com que as partículas sejam transportadas e se depositem de maneira mais distribuída ao longo do eixo longitudinal, minimizando, na prática, o declive do delta.

Das opções de equações para o cálculo do transporte de sedimentos apresentadas no modelo foram selecionadas as de Engelund e Hansen (1972) e de Yang para areias (1973) para serem testadas, as demais foram descartadas por não se adequarem à simulação de sedimentos finos (Gray & Simões, 2008), como os apresentados no reservatório de Mogi-Guaçu. Dentre elas a que apresentou melhor resultado foi a de Yang para areias (1973), apesar do seu nome, esta equação é adequada para partículas entre 0.063 e 2.0 mm de diâmetro. As equações utilizadas na formulação de Yang para areias (1973) são apresentadas nas equações 12 e 13 (YANG, 1973 *apud* USBR, 2012).

$$\log C_{ts} = 5.435 - 0.286 \log \frac{w_f d}{\nu} - 0.457 \log \frac{u_*}{w_f} + \left(1.799 - 0.409 \log \frac{w_f d}{\nu} - 0.314 \log \frac{u_*}{w_f} \right) \log \left(\frac{VS}{w_f} - \frac{V_{cr} S}{w_f} \right) \quad (12)$$

Onde: C_{ts} = concentração total de areias in partes por milhão por unidade de massa

w_f = velocidade de deposição da partícula de sedimento;

d = diâmetro da partícula;

ν = viscosidade cinemática da água;

u_* = velocidade de cisalhamento;

VS = velocidade média do escoamento;

S = linha d'água ou linha do gradiente de energia; e

V_{cr} = velocidade média crítica de início de movimentação das partículas (*incipient motion*)

Sendo que o parâmetro V_{cr} é calculado pela equação 13.

$$\frac{V_{cr}}{\omega} = \begin{cases} \frac{2.5}{\log(u_* d/v) - 0.06} + 0.66 & \text{se } 1.2 < \frac{u_* d}{v} < 70 \\ 2.05 & \text{se } 70 \leq \frac{u_* d}{v} \end{cases} \quad (13)$$

Nesta opção oferecida pelo SRH-1D o cálculo do transporte de partículas entre 0.063 e 2.0 mm de diâmetro é, de fato, realizado pela equação de YANG para areias de 1973 (YANG, 1973 *apud* USBR, 2012) (equação 12), já as partículas maiores que 2 mm é feito com base na equação adimensional para *stream power* do transporte de cascalho de Yang (1984) (equação 14) (YANG, 1984 *apud* USBR, 2012). Os coeficientes desta equação são baseados em experimentos de laboratório de 167 cenários simulados de transporte de partículas, sendo adequado para partículas entre 2 e 10 mm, o manual do modelo SRH-1D não é claro em como é feito o cálculo de partículas acima de 10 mm neste caso, porém como não é observado material deste diâmetro no estudo de caso isto não se mostra como um problema para o uso desta equação.

$$\log C_{tg} = 6.681 - 0.633 \log \frac{w_f d}{v} - 4.816 \log \frac{u_*}{w_f} + \left(2.784 - 0.305 \log \frac{w_f d}{v} - 0.282 \log \frac{u_*}{w_f} \right) \log \left(\frac{VS}{w_f} - \frac{V_{cr} S}{w_f} \right) \quad (14)$$

Onde: C_{tg} = concentração total de cascalho in partes por milhão por unidade de massa

Como as equações de Yang são baseadas em experimentos laboratoriais com uso de granulometria uniforme de sedimentos, e como sedimentos naturais de rios e reservatórios compreendem uma mistura de tamanhos, o modelo SRH-1D calcula para cada classe de material o transporte de acordo com o diâmetro médio da classe. A distribuição

granulométrica dos sedimentos afluentes foi feita baseado nas análises do sedimento do leito, após os testes se definiu a distribuição granulométrica para três faixas de vazão conforme apresentado na Figura 53.

Figura 53 – Distribuição granulométrica dos sedimentos afluentes ao reservatório.

Após a busca de configuração dos parâmetros para obtenção de uma representação geométrica parecida com o dado batimétrico de 2014, foi feito o ajuste da equação da curva-chave de sedimentos. Definiu-se o valor de referência de concentração de 40 a 50 mg/L para a vazão de 25 m³/s (dados medidos em campo), e se alteraram os parâmetros da equação até a calibração do modelo.

Após exaustivo processo iterativo, definiu-se os parâmetros como sendo 0,401 e 1,712 para a e n , respectivamente. Cabe-se destacar que o valor de n está dentro do esperado, sendo comparável a rios de porte semelhante, como o Rio Ivaí no posto Tereza Cristina (estação ANA 64625000) que apresenta n igual a 1.5478 (Carvalho, 2008), Rio Araguaia no posto Barra do Peixe (estação ANA 24180000) que apresenta n igual a 1.6153 para vazões acima de 200 m³/s e 1.3481 para vazões inferiores (MENDES, 2014)

Os resultados da calibração produziram resultados de assoreamento comparáveis ao dado do levantamento batimétrico de 2014, sendo para o nível máximo normal operacional o assoreamento total segundo o modelo foi diferente do dado real em 0,87 %, e para o nível mínimo operacional 2,51 %, enquanto que comparando o volume útil o resultado foi de - 1,59 %. A Figura 54 apresenta a curva comparação da curva Cota x Volume da batimetria

de 2014 e do resultado do modelo calibrado, mostrando boa concordância dos resultados do modelo para previsão do volume do reservatório, e por consequência, do volume assoreado.

Figura 54 – Curva Cota x Volume do reservatório da PCH Mogi-Guaçu da batimetria de 2014 e do resultado da calibração do modelo para o ano de 2014.

O arquivo de configuração do modelo SRH-1D resultante da calibração e que foi utilizada para a simulação dos cenários encontra-se no Apêndice II. O arquivo foi mantido na linguagem do modelo, para entendimento do significado das siglas utilizadas para identificar os parâmetros vide o manual do usuário do modelo SRH-1D (USBR, 2012)

7.6. Criação de múltiplos cenários futuros por meio da criação de séries sintéticas de vazões

O modelo para a criação de séries hidrológicas utilizado foi o Auto Regressivo Markoviano descrito no item 5.3. A obtenção dos parâmetros para a geração das séries futuras foi feito tomando como base os dados de vazão afluente do reservatório da PCH Mogi-Guaçu entre o início de 2004 até o fim de 2013, totalizando 10 anos de dados de vazão média diária de dados.

O procedimento utilizado gerou os parâmetros apresentados na Tabela 14 os quais são utilizados na geração das séries sintéticas de vazões diárias para serem utilizadas no modelo nas:

Tabela 14 – Parâmetros obtidos pela análise da série histórica de vazão, e que foram utilizados para a geração das séries de vazões médias diárias dos múltiplos cenários.

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
M	0.665	0.512	0.545	0.535	0.412	0.382	0.330	0.254	0.231	0.250	0.327	0.558
S	0.441	0.381	0.329	0.257	0.241	0.272	0.398	0.224	0.393	0.374	0.447	0.661
G	0.880	0.884	1.026	0.941	1.411	1.507	1.596	1.077	1.378	1.136	1.401	1.200
COEFICIENTES DE ASSIMETRIA (SKEW)												
M	0.751	0.699	0.589	0.765	0.642	0.598	0.482	0.401	0.329	0.341	0.435	0.602
S	0.276	0.248	0.203	0.164	0.128	0.135	0.163	0.126	0.187	0.236	0.262	0.324
G	0.763	0.894	0.803	0.871	0.893	0.911	0.805	0.920	0.861	0.855	0.826	0.839
COEFICIENTES DE AUTOCORRELAÇÃO												
R	0.898	0.894	0.803	0.871	0.893	0.911	0.805	0.920	0.861	0.855	0.826	0.939

O código de programação escrito, e apresentado no Apêndice I, foi utilizado para a geração automática de 25 séries de dados e formatação dos mesmos no padrão de entrada do modelo SRH-1D. Adicionalmente a estes 25 cenários criados, as 25 séries foram invertidas no tempo, totalizando assim 50 cenários.

Como relatado, as séries hidrológicas geradas pelo mesmo método estatístico e utilizando os mesmos parâmetros produziram séries ligeiramente diferentes. A cunho ilustrativo, a Figura 55 apresenta trechos de algumas das séries de vazão geradas. Uma maior discussão a respeito do quão diferente as séries geradas por um modelo estocástico e a implicação disto no cálculo do aporte de sedimento é realizado no item 6.1.3

Figura 55 – Exemplo das séries de vazão diárias para as simulações.

Como condição de contorno de jusante foi observado e definido o comportamento histórico registrado nos 10 anos de monitoramento analisado. No período de chuva, entre o fim do mês de outubro e o início de maio o reservatório fica próximo ao seu nível mínimo operacional, na cota 598,6 m e no período seco, entre maio e outubro reservatório é operado um pouco abaixo do seu nível máximo normal de operação, na cota 599,8 m. A Figura 56 mostra os dados observados e a regra operacional definida. Também foi invertida a ordem da regra operacional para as séries invertidas.

Figura 56 – Comparação entre os dados observados do nível do reservatório e dos dados assumidos para as simulações dos cenários futuros.

7.7. Simulação do assoreamento do reservatório para os múltiplos cenários

A simulação no modelo SRH-1D é iniciada apenas arrastando o arquivo de entrada no executável do modelo e é permitido executar múltiplas simulações simultâneas. Apesar de ser um modelo de relativa baixa demanda computacional, executar múltiplas simulações simultaneamente pode levar ao consumo excessivo do processamento da CPU e redução de velocidade do computador. Com até 5 simulações simultâneas o computador utilizado para a modelagem (processador Intel® Core™ i5-5200, 8GB de memória RAM e sistema operacional Windows 8.1) ficou um pouco mais lento, mas ainda sim se manteve estável, com mais que 5 simulações funções básicas foram comprometidas.

8. Resultados e Discussão da previsão do assoreamento do reservatório da PCH Mogi-Guaçu

Dos resultados fornecidos pelo SRH-1D, utiliza-se o dado da variação da geometria das seções transversal ao longo do tempo, sendo estas então utilizadas para calcular o volume do reservatório para diferentes cotas.

Visando destacar a diferença dos resultados das séries originais e as séries invertidas as simulações foram analisadas em separado e posteriormente as 50 séries em conjunto. A Tabela 15 apresenta os resultados dos percentuais do assoreamento do reservatório para seu nível máximo normal de operação (cota 600 m) para as séries originais, a Tabela 16 para as séries invertidas, nelas também é apresentado o resumo da análise estatística (valores médios, máximos, mínimos, os quartis superior e inferior, desvio padrão e intervalo de confiança de 95%).

A Tabela 17 apresenta o resumo da análise estatística das 50 séries.

A Tabela 18 apresenta a diferença entre o volume assoreado previsto pelas séries originais e suas séries invertidas correspondentes.

Tabela 15 – Variação do volume assoreado total e análise estatística para as simulações utilizando as séries sintéticas originais.

N	t = 5 anos	t = 10 anos	t = 15 anos	t = 20 anos	t = 25 anos	t = 30 anos	t = 35 anos	t = 40 anos	t = 45 anos	t = 50 anos
1	8.06%	16.08%	24.08%	31.06%	39.05%	45.64%	49.76%	56.30%	60.66%	57.10%
2	7.06%	12.88%	18.65%	22.91%	28.56%	33.76%	38.09%	42.20%	46.90%	50.01%
3	5.02%	10.44%	15.35%	20.10%	24.95%	29.37%	33.37%	37.79%	41.69%	45.25%
4	7.66%	15.61%	23.10%	31.20%	39.67%	45.39%	47.70%	53.85%	60.36%	55.09%
5	8.02%	15.04%	21.48%	26.26%	33.40%	38.74%	43.60%	50.44%	55.58%	55.00%
6	5.59%	11.75%	17.32%	22.15%	28.29%	32.80%	37.18%	42.49%	47.89%	50.04%
7	5.39%	11.08%	16.04%	20.54%	24.93%	29.14%	33.05%	37.61%	41.79%	44.57%
8	4.12%	8.55%	13.16%	17.73%	22.46%	26.37%	30.39%	34.19%	37.92%	41.53%
9	5.52%	10.94%	16.07%	20.76%	25.14%	29.03%	33.52%	38.84%	43.84%	48.70%
10	6.36%	11.93%	16.79%	21.48%	25.93%	29.90%	34.34%	39.51%	44.39%	47.89%
11	4.98%	10.09%	15.36%	19.92%	24.34%	28.81%	32.98%	37.13%	41.37%	45.57%
12	5.79%	11.21%	16.15%	21.05%	25.84%	30.42%	35.47%	40.80%	46.11%	50.03%
13	4.89%	9.05%	14.08%	18.81%	22.61%	26.34%	30.22%	33.64%	38.08%	41.14%
14	5.74%	11.58%	17.14%	21.83%	26.43%	30.61%	35.46%	40.20%	44.52%	47.68%
15	6.66%	12.27%	18.71%	23.45%	27.98%	33.29%	37.36%	42.06%	46.33%	49.43%
16	5.38%	9.92%	15.59%	20.52%	24.68%	28.70%	32.29%	37.37%	41.36%	45.45%
17	5.39%	11.62%	16.93%	21.67%	27.83%	31.49%	36.12%	40.18%	45.56%	48.45%
18	6.81%	14.12%	20.44%	25.05%	29.02%	36.27%	40.69%	46.97%	51.82%	50.16%
19	6.84%	12.95%	19.06%	24.46%	29.18%	34.39%	39.67%	43.79%	48.77%	51.82%
20	4.94%	9.60%	14.41%	18.83%	23.34%	27.87%	31.40%	36.38%	40.31%	44.91%
21	6.18%	11.51%	17.35%	21.83%	25.69%	30.02%	34.75%	39.93%	44.24%	48.07%
22	5.72%	11.61%	17.10%	21.57%	26.08%	30.97%	35.58%	40.48%	45.11%	48.12%
23	4.52%	8.06%	12.50%	17.06%	21.29%	25.05%	28.24%	32.66%	35.97%	39.59%
24	5.72%	11.38%	17.44%	22.56%	27.49%	31.61%	36.08%	40.99%	45.30%	49.16%
25	5.69%	11.87%	16.54%	21.82%	26.52%	31.05%	34.95%	39.01%	44.57%	48.21%
<i>max</i>	8.06%	16.08%	24.08%	31.20%	39.67%	45.64%	49.76%	56.30%	60.66%	57.10%
<i>Q_{sup}</i>	6.66%	12.27%	18.65%	22.91%	28.29%	33.29%	37.36%	42.20%	46.90%	50.03%
<i>mediana</i>	5.72%	11.58%	16.93%	21.67%	26.08%	30.61%	35.46%	40.18%	44.57%	48.21%
<i>Q_{inf}</i>	5.92%	11.65%	17.23%	22.18%	27.23%	31.88%	36.09%	40.99%	45.62%	48.12%
<i>min</i>	5.38%	10.44%	15.59%	20.52%	24.93%	29.03%	33.05%	37.61%	41.69%	45.45%
Desv. P	1.04%	2.02%	2.80%	3.42%	4.45%	5.12%	5.10%	5.74%	6.16%	4.18%
Int. Conf. 95%	0.41%	0.79%	1.10%	1.34%	1.75%	2.01%	2.00%	2.25%	2.42%	1.64%
Limite de confiança – 95%	6.33%	12.44%	18.33%	23.53%	28.97%	33.89%	38.09%	43.24%	48.03%	49.76%
Média	5.92%	11.65%	17.23%	22.18%	27.23%	31.88%	36.09%	40.99%	45.62%	48.12%
Limite de confiança – 95%	5.51%	10.85%	16.13%	20.84%	25.48%	29.87%	34.09%	38.74%	43.20%	46.48%

Tabela 16 – Variação do volume assoreado total e análise estatística para as simulações utilizando as séries sintéticas invertidas.

N	t = 5 anos	t = 10 anos	t = 15 anos	t = 20 anos	t = 25 anos	t = 30 anos	t = 35 anos	t = 40 anos	t = 45 anos	t = 50 anos
1	8.98%	17.35%	24.46%	30.86%	38.96%	44.54%	48.93%	47.20%	49.77%	49.85%
2	5.60%	11.41%	16.38%	21.08%	26.42%	31.19%	35.29%	39.81%	44.25%	49.84%
3	5.34%	10.03%	15.23%	20.07%	24.48%	28.93%	33.38%	37.67%	42.21%	45.89%
4	7.67%	16.74%	23.11%	31.39%	38.39%	44.35%	46.24%	47.53%	48.65%	49.50%
5	6.86%	13.70%	20.95%	26.99%	32.41%	38.94%	43.49%	46.35%	48.60%	49.12%
6	5.55%	12.01%	17.84%	22.56%	27.02%	32.52%	37.16%	41.71%	45.56%	48.79%
7	4.50%	9.40%	14.67%	19.29%	23.29%	27.27%	31.42%	35.53%	40.13%	43.93%
8	5.46%	10.07%	14.49%	19.31%	23.18%	27.26%	30.97%	34.86%	38.48%	41.54%
9	7.03%	12.99%	18.81%	23.43%	27.49%	31.83%	36.31%	40.59%	44.66%	48.50%
10	5.27%	11.14%	17.01%	21.70%	25.86%	30.14%	34.71%	38.91%	43.33%	47.22%
11	5.58%	10.58%	15.56%	20.40%	24.97%	29.11%	32.93%	37.31%	41.59%	45.30%
12	5.63%	12.12%	18.16%	23.27%	27.97%	32.69%	37.49%	41.55%	45.56%	49.29%
13	4.77%	10.04%	14.00%	18.82%	22.91%	26.21%	30.00%	34.06%	37.44%	41.15%
14	5.30%	10.39%	15.82%	20.99%	25.25%	29.39%	34.11%	38.76%	43.39%	47.05%
15	5.92%	11.34%	16.84%	21.22%	26.45%	30.68%	35.65%	41.27%	45.20%	49.18%
16	5.56%	10.83%	16.62%	20.76%	24.84%	28.65%	33.05%	37.90%	41.55%	45.47%
17	6.41%	12.52%	17.08%	22.00%	25.88%	30.63%	35.39%	39.58%	43.01%	46.31%
18	6.46%	12.28%	18.61%	23.73%	30.87%	34.40%	38.13%	42.07%	44.41%	47.26%
19	5.74%	11.89%	16.81%	22.63%	28.03%	32.60%	38.12%	43.01%	46.45%	49.18%
20	6.64%	11.41%	17.40%	21.34%	25.97%	29.84%	33.78%	37.93%	41.65%	45.10%
21	5.59%	10.87%	16.62%	21.57%	25.98%	29.68%	34.06%	39.01%	43.07%	47.16%
22	6.32%	11.68%	17.09%	21.84%	26.72%	30.88%	35.23%	39.78%	44.05%	47.31%
23	4.95%	9.08%	14.05%	17.92%	21.88%	25.05%	28.81%	32.26%	35.09%	38.59%
24	6.69%	12.02%	17.59%	22.11%	26.17%	30.89%	36.24%	41.31%	45.40%	48.91%
25	6.29%	12.80%	17.41%	21.48%	26.25%	30.40%	35.56%	39.45%	43.87%	47.46%
<i>max</i>	8.98%	17.35%	24.46%	31.39%	38.96%	44.54%	48.93%	47.53%	49.77%	49.85%
<i>Q_{sup}</i>	6.46%	12.28%	17.84%	22.63%	27.49%	32.52%	37.16%	41.55%	45.40%	49.12%
<i>mediana</i>	5.63%	11.41%	17.01%	21.57%	26.17%	30.63%	35.29%	39.58%	43.87%	47.26%
<i>Q_{inf}</i>	5.46%	10.58%	15.82%	20.76%	24.97%	29.11%	33.38%	37.90%	41.65%	45.47%
<i>min</i>	4.50%	9.08%	14.00%	17.92%	21.88%	25.05%	28.81%	32.26%	35.09%	38.59%
Desv. P	0.97%	1.94%	2.51%	3.23%	4.16%	4.76%	4.63%	3.75%	3.39%	2.92%
Int. Conf. 95%	0.38%	0.76%	0.99%	1.26%	1.63%	1.87%	1.82%	1.47%	1.33%	1.14%
Limite de confiança – 95%	6.39%	12.55%	18.29%	23.53%	28.74%	33.39%	37.67%	41.29%	44.82%	47.90%
Média	6.00%	11.79%	17.30%	22.27%	27.11%	31.52%	35.86%	39.82%	43.49%	46.76%
Limite de confiança – 95%	5.62%	11.03%	16.32%	21.00%	25.48%	29.66%	34.04%	38.35%	42.17%	45.61%

Tabela 17 – Resumo da análise estatística das 50 séries.

N	t = 5 anos	t = 10 anos	t = 15 anos	t = 20 anos	t = 25 anos	t = 30 anos	t = 35 anos	t = 40 anos	t = 45 anos	t = 50 anos
<i>max</i>	8.98%	17.35%	24.46%	31.39%	39.67%	45.64%	49.76%	56.30%	60.66%	57.10%
<i>Q_{sup}</i>	6.59%	12.28%	18.08%	22.84%	27.98%	32.67%	37.32%	41.97%	45.98%	49.26%
<i>mediana</i>	5.71%	11.54%	16.97%	21.62%	26.13%	30.62%	35.34%	39.80%	44.32%	47.98%
<i>Q_{inf}</i>	5.38%	10.48%	15.65%	20.53%	24.94%	29.05%	33.13%	37.70%	41.66%	45.46%
<i>min</i>	4.12%	8.06%	12.50%	17.06%	21.29%	25.05%	28.24%	32.26%	35.09%	38.59%
Desv. P	1.00%	1.96%	2.64%	3.29%	4.27%	4.90%	4.82%	4.84%	5.04%	3.63%
Int. Conf. 95%	0.28%	0.54%	0.73%	0.91%	1.18%	1.36%	1.34%	1.34%	1.40%	1.01%
Limite de confiança – 95%	6.24%	12.26%	18.00%	23.14%	28.35%	33.06%	37.31%	41.74%	45.95%	48.44%
Média	5.96%	11.72%	17.27%	22.23%	27.17%	31.70%	35.97%	40.40%	44.56%	47.44%
Limite de confiança – 95%	5.69%	11.17%	16.54%	21.31%	25.98%	30.34%	34.64%	39.06%	43.16%	46.43%

Tabela 18 – Diferença do volume assoreado calculado pela série sintética original e invertida.

N	t = 5 anos	t = 10 anos	t = 15 anos	t = 20 anos	t = 25 anos	t = 30 anos	t = 35 anos	t = 40 anos	t = 45 anos	t = 50 anos
1	-0.92%	-1.27%	-0.37%	0.21%	0.10%	1.11%	0.83%	9.10%	10.89%	7.25%
2	1.47%	1.47%	2.27%	1.83%	2.14%	2.57%	2.80%	2.40%	2.64%	0.18%
3	-0.31%	0.41%	0.11%	0.03%	0.47%	0.44%	-0.02%	0.12%	-0.52%	-0.64%
4	-0.01%	-1.13%	-0.01%	-0.20%	1.29%	1.04%	1.46%	6.32%	11.71%	5.60%
5	1.16%	1.34%	0.53%	-0.73%	0.99%	-0.20%	0.11%	4.08%	6.98%	5.88%
6	0.04%	-0.26%	-0.53%	-0.42%	1.27%	0.28%	0.02%	0.77%	2.33%	1.25%
7	0.89%	1.68%	1.38%	1.25%	1.64%	1.87%	1.63%	2.09%	1.66%	0.64%
8	-1.34%	-1.52%	-1.33%	-1.58%	-0.72%	-0.89%	-0.58%	-0.66%	-0.56%	-0.02%
9	-1.51%	-2.05%	-2.74%	-2.68%	-2.35%	-2.80%	-2.79%	-1.75%	-0.82%	0.20%
10	1.08%	0.79%	-0.22%	-0.23%	0.07%	-0.24%	-0.37%	0.60%	1.06%	0.67%
11	-0.60%	-0.49%	-0.20%	-0.48%	-0.63%	-0.30%	0.05%	-0.18%	-0.22%	0.27%
12	0.16%	-0.90%	-2.01%	-2.22%	-2.14%	-2.27%	-2.03%	-0.76%	0.56%	0.74%
13	0.12%	-0.99%	0.08%	-0.01%	-0.30%	0.13%	0.22%	-0.42%	0.64%	-0.02%
14	0.44%	1.19%	1.32%	0.84%	1.18%	1.22%	1.35%	1.44%	1.13%	0.63%
15	0.74%	0.93%	1.88%	2.23%	1.53%	2.61%	1.71%	0.78%	1.13%	0.24%
16	-0.18%	-0.91%	-1.04%	-0.23%	-0.16%	0.06%	-0.76%	-0.53%	-0.19%	-0.02%
17	-1.02%	-0.91%	-0.15%	-0.33%	1.95%	0.86%	0.72%	0.61%	2.55%	2.14%
18	0.35%	1.84%	1.83%	1.33%	-1.86%	1.87%	2.56%	4.90%	7.41%	2.90%
19	1.09%	1.06%	2.24%	1.83%	1.15%	1.79%	1.55%	0.78%	2.32%	2.64%
20	-1.70%	-1.82%	-2.99%	-2.52%	-2.64%	-1.96%	-2.37%	-1.55%	-1.33%	-0.19%
21	0.59%	0.64%	0.73%	0.26%	-0.29%	0.34%	0.69%	0.92%	1.18%	0.91%
22	-0.60%	-0.07%	0.01%	-0.27%	-0.64%	0.09%	0.35%	0.70%	1.06%	0.81%
23	-0.42%	-1.03%	-1.55%	-0.85%	-0.60%	0.00%	-0.57%	0.40%	0.88%	1.00%
24	-0.97%	-0.63%	-0.14%	0.45%	1.32%	0.72%	-0.16%	-0.31%	-0.10%	0.25%
25	-0.60%	-0.92%	-0.86%	0.34%	0.27%	0.65%	-0.61%	-0.44%	0.70%	0.75%

Como pode ser notado, especialmente na Tabela 18, o assoreamento previsto para o reservatório da PCH Mogi-Guaçu apresenta grande variação em função da série hidrológica utilizada, chegando a até 11.71 pontos percentuais do volume do reservatório de diferença para um período de 5 anos. Para facilitar a visualização e interpretação dos resultados, a Figura 57 apresenta o box-plot do resultado das simulações para as séries sintéticas originais, invertidas e todas as 50 séries, respectivamente.

Figura 57 – Box plot do volume calculado pelas simulações para: a) Séries sintéticas originais; b) Séries sintéticas invertidas; e c) Séries sintéticas originais e invertidas.

A análise da correlação entre o aporte de sedimentos e o volume assoreado por períodos de cinco anos apresenta uma boa correlação durante os estágios iniciais. A partir do período entre os anos 31 e 35 a correlação entre o aporte de sedimentos e o volume de assoreamento diminui. Este fenômeno é atribuído à variação da Er de sedimentos do reservatório conforme o assoreamento evolui. Nos primeiros anos de operação, onde o volume do reservatório ainda é próximo ao seu máximo sua Er de sedimentos é elevada e a quantidade de sedimentos retida é bem correlacionada ao sedimento que ingressa no reservatório. O assoreamento avançado (como apresentado em algumas das simulações) acarreta na queda da Er , o que faz cair o nível de correlação entre taxa de assoreamento e aporte de sedimento.

As Figuras 58, 59 e 60 apresentam a correlação entre assoreamento e aporte de sedimentos em períodos de 5 anos.

Figura 58 – Análise de correlação entre assoreamento e aporte de sedimentos.

Figura 59 – Análise de correlação entre assoreamento e aporte de sedimentos.

Figura 60 – Análise de correlação entre assoreamento e aporte de sedimentos.

Observou-se que o desvio da tendência de correlação é sistemático, ou seja, a simulação que apresentou desvios no período entre os anos 31 e 35 continuou apresentando desvios nos anos subsequentes. As séries que apresentaram os desvios foram: série 4 e 4 inversa no período de 31 a 35 anos; séries 1 inversa, 5 inversa e 18 inversa no período de 36 a 40 anos; série 1 no período de 41 a 45 anos; e série 5 e 18 no período de 45 a 50 anos.

As Figura 61 e 62 apresentam a eficiência de retenção de sedimentos do reservatório em função do tempo para as simulações utilizando a série 1, original e invertida (ressalta-se que a série original apresenta maior deflúvio e maior aporte de sedimento nos primeiros anos, Figura 63). Nota-se que o período onde a correlação entre aporte de sedimentos e assoreamento diminui coincide com o período onde a eficiência de retenção de sedimentos mais grosseiros começa a cair de forma proeminente, além de que as séries produzem resultados distintos para eficiência de retenção e para o volume do reservatório (Figura 64).

Estes resultados vêm de encontro com os produzidos pelos cenários idealizados no experimento II, corroborando a hipótese de que o período em que a maior parte do aporte de sedimentos afeta o tempo demandado para o assoreamento do reservatório, e que este está ligado ao grau de assoreamento e a vazão afluyente praticada num dado período. Analisando os resultados da série invertida apresentados nas Figuras 62 a 64 nota-se que o relativo pequeno volume e as relativas altas vazões afluentes (ligadas ao aporte) a partir do ano 35 causam a baixa eficiência de retenção, apresentando, também, uma taxa de redução do volume do reservatório baixa neste período.

Figura 61 – Eficiência de retenção de sedimentos ao longo do tempo para a série 1 original.

Figura 62 – Eficiência de retenção de sedimentos ao longo do tempo para a série 1 invertida.

Figura 63 – Aporte de sedimentos ao reservatório para a série 1 (original e invertida), destacando o maior aporte para a série original nos primeiros anos.

Figura 64 – Volume relativo do reservatório para simulações da série 1 (original e invertida), destacando que a série original que possui maior aporte nos anos iniciais apresenta menor volume ao final das simulações (maior grau de assoreamento).

Os resultados e a discussão apresentados no estudo de caso concordam com aqueles obtidos pelos cenários idealizados nos experimentos I e II, suportando a hipótese de que a aleatoriedade intrínseca aos métodos de geração de séries sintéticas em curtos intervalos de tempo acarreta em grande variação no cálculo do assoreamento de reservatórios, não só em um caso teórico idealizado, mas em caso real.

De modo a promover melhor confiança na previsão do assoreamento e propiciar melhor gestão do empreendimento que utiliza o reservatório, ou melhor avaliação de investimentos a serem feitos na construção de novos reservatórios, calculou-se o assoreamento do reservatório (em volumes absolutos) com um intervalo de confiança de 95 % (Tabela 19, 20 e 21).

Tabela 19 – Previsão de volume assoreado para o reservatório de Mogi-Guaçu com intervalo de confiança de 95% para 10 e 20 anos.

Cota (m)	Volume assoreado em 10 anos (M.m ³)			Volume assoreado em 20 anos (M.m ³)		
	Menor	Média	Maior	Menor	Média	Maior
602	8.407	8.443	8.478	7.717	7.777	7.836
600	5.559	5.594	5.629	4.869	4.928	4.987
598	3.117	3.149	3.180	2.517	2.575	2.634
596	1.485	1.499	1.513	1.152	1.194	1.236
594	0.631	0.637	0.644	0.447	0.467	0.487
592	0.174	0.176	0.178	0.125	0.129	0.133
590	0.025	0.025	0.025	0.020	0.020	0.021

Tabela 20 – Previsão de volume assoreado para o reservatório de Mogi-Guaçu com intervalo de confiança de 95% para 30 e 40 anos.

Cota (m)	Volume assoreado em 30 anos (M.m ³)			Volume assoreado em 40 anos (M.m ³)		
	Menor	Média	Maior	Menor	Média	Maior
602	7.088	7.176	7.264	6.538	6.625	6.712
600	4.239	4.328	4.416	3.689	3.776	3.863
598	2.004	2.086	2.168	1.581	1.658	1.735
596	0.834	0.883	0.932	0.616	0.663	0.710
594	0.318	0.337	0.357	0.230	0.248	0.266
592	0.093	0.098	0.103	0.070	0.076	0.081
590	0.015	0.016	0.017	0.012	0.012	0.013

Tabela 21 – Previsão de volume assoreado para o reservatório de Mogi-Guaçu com intervalo de confiança de 95% para 50 anos.

Cota (m)	Volume assoreado em 50 anos (M.m ³)		
	Menor	Média	Maior
602	6.114	6.179	6.245
600	3.265	3.331	3.396
598	1.263	1.326	1.389
596	0.429	0.466	0.504
594	0.164	0.179	0.194
592	0.049	0.054	0.058
590	0.009	0.009	0.010

Nota-se que ao contrário do previsto nos estudos de Miranda (2015), o reservatório não foi completamente assoreado. Atribui-se este fato à potencialidade do modelo hidrodinâmico em representar com maior fidelidade os fenômenos físicos do transporte de sedimentos, como por exemplo, a redução da eficiência de retenção com o tempo. Outro ponto de destaque na análise da eficiência de retenção é que as frações mais finas quase que não são retidas no reservatório (como pode ser observado nas Figura 61 e 62).

Nos casos onde o delta de sedimentos evolui até a barragem observa-se que o reservatório ainda mante um canal aberto por onde passa o escoamento, recuperando a tendência morfológica do rio (Figura 65). Este estágio corresponde à um assoreamento avançado onde os depósitos emergem da lâmina d'água e formam-se canais por onde o escoamento flui. Nesta fase o sedimento é transportado quase na sua totalidade para jusante e a calha do canal apresenta um certo volume o qual é computado nos resultados do modelo hidrodinâmico como volume do reservatório. Pode-se inferir que em estudos de previsão do assoreamento de reservatório com uso de modelos hidrodinâmicos, por mais que o assoreamento evolua, o volume do reservatório dificilmente chegará a zero. Este fenômeno de evolução do assoreamento para uma planície de inundação com canais não consegue ser representado pelo método da Curva de Brune, o qual calcula a evolução do assoreamento até o volume do reservatório chegar a zero. Este é um fator que pode explicar a diferença dos resultados da presente pesquisa para os de Miranda (2015)

Chama-se a atenção também que o volume analisado tomou como referência a cota 600 m, e que a regra de operação imposta de rebaixamento do nível do reservatório para a cota 598 m durante a época de maior aporte de sedimentos foi capaz de limitar o assoreamento no volume útil (entre 598 e 600 m). Esta regra de operação foi capaz de garantir a manutenção da capacidade de regularização de vazão do reservatório.

Figura 65 – Seção Transversal no trecho onde se formou o delta de deposição dos sedimentos, exemplificando deposição acima do nível operacional mínimo e a formação de canais de dimensões semelhantes ao canal natural do rio (simulação 1).

O modelo mostra a continuação da evolução do delta de sedimento em direção à barragem, como já se havia notado com a comparação entre as batimetrias de 2004 e 2014 (Figura 66). Destaca-se que a modelagem 1D utilizada não é capaz de representar a aceleração pontual do escoamento junto a tomada d'água e vertedor, a qual provavelmente geraria um cone de erosão evitando o depósito de sedimentos e impedindo a elevação do leito junto a barragem. Outro ponto de destaque é que provavelmente ocorrerão problemas operacionais relacionados ao desgaste dos equipamentos hidromecânicos devido a entrada de sedimentos pelos órgãos de descarga a partir da chegada do depósito de sedimentos e sedimentos mais grosseiros na barragem.

Todos os cenários simulados indicam o delta evoluindo até a barragem e que logo no início do domínio computacional os depósitos de sedimentos se elevam até as cotas superiores do reservatório, até mesmo emergindo da lâmina d'água durante deplecionamento (como apresentado na Figura 65), caracterizando estágios morfológicos avançados do assoreamento. Apesar de não ser apontado completo assoreamento do reservatório, acredita-se que dentro do horizonte de estudo, quando o delta chegar junto a barragem, o empreendimento passe a enfrentar algum grau de problemas relacionados ao desgaste das turbinas e dificuldades de operação de comportas devido ao depósito de sedimentos.

Figura 66 – Evolução do perfil longitudinal e do delta de sedimento.

Deve ser feita a ressalva que os dados do monitoramento hidrossedimentológico utilizados para a calibração do modelo eram limitados devido ao período excepcionalmente seco observado ao longo do período de coleta de dados de campo, o que possibilitou coleta de dados em condições de vazão de aproximadamente $30 \text{ m}^3/\text{s}$, enquanto que a média histórica para este mês é $172 \text{ m}^3/\text{s}$, e máxima vazão média diária observada de $653 \text{ m}^3/\text{s}$. É recomendado a continuidade do monitoramento sedimentométrico para o estabelecimento de uma curva-chave de sedimentos mais confiável.

Apesar desta limitação, acredita-se que a calibração do modelo realizada com base na alteração do volume do reservatório seja adequada para a previsão do assoreamento, e que a abordagem utilizada pelo PRIPAR-NH tenha sido capaz de fornecer uma gama de cenários com maior e menor grau de assoreamento que abrangeria, eventualmente, cenários produzidos com uma leve alteração dos parâmetros do modelo. De toda maneira aconselha-se que assim que forem disponibilizados novos dados que permitam uma calibração mais adequada o estudo seja refeito.

9. Discussão da aplicabilidade do PRIPAR – NH

Considerando as inúmeras incertezas envolvidas nos estudos sedimentológicos, que vão desde erros associados as medições de campo, incertezas na previsão do uso e ocupação do solo, incertezas da previsão hidrológica, entre outras o intuito do PRIPAR-NH não é apontar com exatidão o tempo de assoreamento do empreendimento, mas sim dar suporte ao agente tomador de decisão dos diversos possíveis cenários que podem ocorrer no reservatório.

O procedimento proposto foi capaz de produzir informações de previsão do assoreamento do reservatório em quantidade suficiente para a realização de análise estatística desta previsão. De posse de informações de diversos cenários espera-se que o tomador de decisão utilize as ferramentas adequadas para avaliar os riscos associados ao reservatório.

O procedimento é robusto pois permite a adaptação e o uso de técnicas e modelos diferentes dos empregados nesta pesquisa, carecendo somente de adaptação dos parâmetros e formato dos dados. Por exemplo pode-se utilizar outros modelos de transporte de sedimentos como HEC-RAS, MIKE 11 MASCARET 1-D, entre outros. Acredita-se que quando o tempo de processamento não for um fator limitante também possa ser utilizado modelos de transporte de sedimento em duas e três dimensões.

Por se basear no uso de modelo hidrodinâmico de transporte de sedimentos, não se vê limitações na aplicação em reservatório de grande porte, com operação à fio d'água ou com reservação e, também, considerar restrições operacionais e diversas demandas. Só se faz a ressalva que deve ser avaliado se o estudo de caso é adequado para a modelagem unidimensional, e que o modelo de transporte de sedimentos utilizado já tenha sido utilizado e validado em situações semelhantes.

A ampla abrangência do procedimento proposto reside no fato de que o modelo hidrológico e o modelo hidrodinâmico de transporte de sedimentos necessitam de dados coletados em campo e informações dos estudos de caso, sendo configurados, calibrados e validados para cada caso.

Devido a grande disponibilidade de dados hidrológicos dificilmente espera-se restrições locais ao uso de modelos hidrológicos. Já para os modelos de transporte de sedimentos são necessários para a sua aplicação em outros estudos de caso dados operacionais do reservatório (por exemplo nível operacional mínimo, médio e máximo), curva Cota x Área x Volume, séries históricas de descargas líquidas e sólidas afluentes e

efluentes ao barramento, dados das características do sedimento e da água do reservatório, dentre outros.

Na falta de informações ou impossibilidade de coletar dados em campo, o modelo de transporte de sedimentos pode ser utilizado baseado em suas configurações padrões e em informações teóricas, porém deve-se atentar que a qualidade de seus resultados está intimamente relacionada a fidelidade das informações em representar o estudo de caso. Recomenda-se sempre que possível, a coleta de informações em campo para a calibração e validação do modelo.

Considerando que o PRIPAR-NH é um procedimento que é baseado no uso de modelos hidrológicos e de transporte de sedimentos, e que não é restrito ao uso específico de um determinado modelo, acredita-se que possa ser aplicado em qualquer caso onde o modelo hidrológico e de transporte de sedimentos escolhido já tenha sido testado em situações semelhantes.

10. Conclusões gerais

A presente pesquisa buscou analisar a influência da previsão hidrológica no cálculo do assoreamento de reservatório, visando minorar as incertezas inerentes aos estudos desta natureza, e proporcionar aos tomadores de decisão dados de melhor qualidade para que seja decidido as regras sobre o planejamento da operação do reservatório, sobre a necessidade ou não de se construir novos reservatório, sobre a análise de viabilidade do empreendimento, entre outras finalidades.

A pesquisa pauta-se em duas hipóteses centrais, a que para um mesmo valor médio de vazão a descarga sólida calculada será diferente em função da variabilidade dos dados de vazão em torno da média e pela não linearidade da correlação entre vazão e descarga sólida, e de que para uma mesma quantidade de sedimento aportado o período de ocorrência da maior parte do aporte de sedimento (nos primeiros anos de operação ou após o reservatório já estar parcialmente assoreado) influenciará no volume assoreado devido a variação da eficiência de retenção de sedimentos no reservatório.

Há ainda uma terceira hipótese investigada que é a que modelos hidrológicos estocásticos quando aplicados iterativamente produzirão séries de vazão ligeiramente distintas devido ao fator aleatório inerente a estes modelos, e que estas diferenças na vazão são refletidas no cálculo do aporte de sedimentos.

Para a comprovação das hipóteses foram elaborados três experimentos, dois baseados em cenários idealizados e um utilizando dados reais. Os experimentos de cenários idealizados utilizaram a estimativa do assoreamento por meio da Curva de Brune e investigaram os efeitos da variabilidade das vazões em torno de um valor médio, do expoente n da correlação entre vazão e descarga sólida, além da influência do período de ocorrência da maior parte do aporte de sedimentos no cálculo do assoreamento.

Os resultados foram capazes de demonstrar que a variabilidade da vazão produz maior aporte de sedimentos que se assumido cenários do valor médio constante. Estes estudos corroboram com os achados de Horowitz (2003) e Requena Sanchez (2014) que mostram que os usos de valores médios de vazão tendem a subestimar o cálculo da descarga de sedimentos. Adicionalmente, também foi demonstrado que quanto maior o expoente n , maior é a influência da variabilidade da vazão no cálculo da descarga sólida.

Os resultados do Experimento II comprovam que a variação da eficiência de retenção dos sedimentos do reservatório com o passar dos anos também é um mecanismo

que influencia no processo de assoreamento. Os resultados mostram que quando a maior parte do aporte de sedimento ocorre após o reservatório já se encontrar parcialmente assoreado é necessário um maior volume de sedimentos para se produzir o mesmo volume de assoreamento que quando comparada as séries em que a maior parte do aporte de sedimentos ocorre nos primeiros anos de operação o assoreamento. O assoreamento também demora mais para evoluir nas séries com a maior parte do aporte após o reservatório já se encontrar parcialmente assoreado.

Os dois experimentos conseguiram evidenciar dois mecanismos distintos de como a previsão hidrológica pode afetar no cálculo do assoreamento nos casos idealizados, a variação no aporte de sedimentos e o período de ocorrência da maior parte do aporte.

O Experimento III mostrou com um estudo de caso real que modelos hidrológicos, devido sua natureza estocástica, e a presença inerente de um fator aleatório, produzem séries de dados ligeiramente diferentes. Em concordância com os resultados do Experimento I observou-se que a não linearidade da correlação entre vazão e descarga sólida produziu diferenças ainda maiores na estimativa de aporte de sedimentos, comprovando que a variabilidade da vazão no cálculo do aporte de sedimentos também é observada em casos reais.

Pautado nas incertezas produzidas pela previsão hidrológica de séries de vazões, buscou-se a elaboração de um procedimento metodológico capaz de melhorar as incertezas inerentes aos estudos de assoreamento de reservatórios. O PRIPAR – NH utiliza de ferramentas de hidrologia estatística em associação com modelagem de transporte de sedimentos para a criação de múltiplos cenários de previsão de assoreamento de reservatórios. Fornecendo resultados do cálculo do assoreamento em quantidade suficiente para se realiza análises estatísticas das previsões e proporcionar dados de melhor qualidade para o tomador de decisão avaliar um reservatório. A abordagem do uso e múltiplos cenários têm sido utilizada em outros campos da engenharia de recursos hídricos, mas em especial na área de sedimentologia a prática ainda é incipiente. Ao que se entende, o desenvolvimento e a combinação de técnicas utilizadas nessa pesquisa são inéditas tanto no Brasil como no exterior.

Pautando-se da revisão de literatura, pode-se afirmar que a maioria dos sedimentos é transportado em eventos de cheia (Koch & Smillie, 1986; Meade *et al.*, 1990; Horowitz, 2003; Requena Sanchez *et al*, 2016), desta maneira definiu-se que a previsão de assoreamento de reservatório deve ser realizada em pequenos intervalos de tempo (diários ou inferior) de modo que os picos de vazão e descarga sólidas sejam contemplados nos

cálculos. Considerando que os métodos para a geração de séries hidrológicas utilizam variáveis aleatórios para decompor os valores de tendência e de médias mensais em pequenos intervalos de tempo, o mesmo método estatístico utilizando os mesmos parâmetros produzirá séries de dados similares, mas não idênticas.

As simulações utilizando 25 séries hidrológicas e suas séries inversas no tempo (total de 50 séries analisadas) permitiram avaliar que existem diferenças no deflúvio de cada série, e que devido ao fator da aleatoriedade, de picos de vazão e de os sedimentos se relacionarem com a vazão em uma função exponencial, a série de dados de descarga sólida é mais afetada que a série de vazões, mas não acompanha uma correlação bem definida.

Assim como no experimento com cenário idealizado a eficiência de retenção de sedimentos apresentou grande influência no cálculo do assoreamento, bem como o período de ocorrência da maior parte do aporte de sedimentos, nos primeiros anos de operação do reservatório (maior volume e elevada eficiência de retenção) ou após assoreamento avançado (e menor eficiência de retenção). Estes fenômenos são explicados pelas comparações entre os resultados das simulações utilizando as séries sintéticas originais e séries invertidas correspondentes, que mesmo sendo estatisticamente equivalentes e apresentando mesmo volume de sedimentos aportado ao reservatório produzem resultados de assoreamento distintos.

De maneira geral pesquisa contribuiu para melhor compreensão dos processos de assoreamento de reservatórios. A utilização dos cenários idealizados permitiu a diferenciar dois mecanismos pelos quais a previsão hidrológica e geração de séries de vazão em curtos intervalos de tempo influenciam no assoreamento de reservatório. O mecanismo de influência no aporte de sedimentos pela variabilidade dos dados de vazão, e o mecanismo de influência do assoreamento pela eficiência de retenção do reservatório período de ocorrência da maior parte do aporte de sedimentos também foram observados no estudo de caso do reservatório da PCH Mogi-Guaçu, corroborando com a validação das hipóteses.

A aplicação do PRIPAR-NH no estudo de caso pode exemplificar os benefícios da abordagem adotada do uso de múltiplos cenários de previsão do assoreamento, a qual permitiu a aplicação de análise estatística dos resultados, como a análise de probabilidade dos resultados e estimativa do assoreamento com um determinado intervalo de confiança. O intuito da abordagem do uso de múltiplos cenários não é apontar com exatidão o tempo de assoreamento do reservatório, mas sim dar suporte ao agente tomador de decisão dos diversos possíveis cenários que podem ocorrer no reservatório, melhorando a tomada de decisão na análise de viabilidade técnica e econômica de novos empreendimentos e

necessidade de se construir novos reservatório para se compensar a exploração limitada dos reservatórios assoreados.

Acredita-se que a adoção e uso do produto desta pesquisa em larga escala (outros reservatórios) poderia proporcionar melhor embasamento para o planejamento de sistemas de abastecimento urbano, para o planejamento energético nacional, melhorando a previsão da capacidade de geração do país e nortando a necessidade de construção de novos empreendimentos para a expansão do parque gerador.

Destaca-se também que o PRIPAR–NH como proposto é versátil, e pode ser utilizado em conjunto com outros modelos que não os empregados nesta pesquisa (utilizar o modelo HEC-RAS, por exemplo). Acredita-se que o uso de modelos 2D e 3D para a o cálculo do transporte de sedimentos é um próximo passo a ser dado na continuidade desta linha de pesquisa, porém, devido à elevada demanda computacional o uso de modelos mais complexos pode ser inviável com a atual capacidade de processamento dos computadores, mesmo utilizando técnicas de paralelismo. Por se basear em modelos hidrodinâmicos de transporte de sedimentos, não se vê impedimentos da aplicação do PRIPAR-NH e acredita-se que o procedimento pode ser utilizado em reservatórios de peque ou grande porte, a fio d'água ou de acumulação, em reservatórios de abastecimento de água, barragens de elevação de nível, e etc.

11. Referências Bibliográficas

- AES TIETÊ (2012), *Pequena Central Hidrelétrica Mogi-Guaçu*. Disponível em: <<http://www.aestiete.com.br>>. Acesso em: 05 dez. 2012.
- ALMEIDA, S. B.; CARVALHO, N. O. (1993). *Efeitos do Assoreamento de Reservatórios na Geração de Energia Elétrica: Análise da UHE Mascarenhas, ES*. In: X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídrico, Gramado, RS, pp. 167-173.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH SOCIETY - APHA (2002). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20th ed., “American Public Health Association”, Washington, DC.
- ANA - Agência Nacional de Águas (2011), *Orientações para atualização das curvas cota x área x volume*. Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. Brasília: ANA, SGH.
- ANA - Agência Nacional de Águas (2013), *Orientações para atualização das curvas cota x área x volume Versão/Dezembro 2013*. Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. Brasília: ANA, SGH.
- ANEEL – ANA (2010), *Resolução Conjunta nº 003: Estabelecer as condições e os procedimentos a serem observados pelos concessionários e autorizados de geração de energia hidrelétrica para a instalação, operação e manutenção de estações hidrométricas visando ao monitoramento pluviométrico, linimétrico, fluviométrico, sedimentométrico e de qualidade da água associado a aproveitamentos hidrelétricos, e dar outras providências*. Brasília - DF, 10 de Agosto de 2010.
- ASSELMAN, N. E. (2000). Fitting and interpretation of sediment rating curves. *Journal of Hydrology*. v. 234, p. 228-248.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, NBR 7181: Solos - Análise Granulométrica, Rio de Janeiro, RJ, 1984
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, NBR 5734: Peneiras para ensaio - Especificação Rio de Janeiro, RJ, 1984
- ASTHANA, B.N. & NIGAM, P.S. (1980). Distribution of Sediment in Reservoirs. *Journal of the Institute of Engineers (India)*, v. 60.
- BARBER, M. & RYDER, G. (1990), *Damming the Three Gorges. What dam builders don't want you to know. A Criticque of the Three Gorges Water Control Project Feasibility Study*. Earthscan Publications Limited.
- BATUCA, D. G. & JORDAAN, J. M. (2000), *Silting and Desilting of Reservoirs*, Editora A.A. Balkema, Holanda. ISBN 90 5410 477 5.

- BRANCO, S.M.; ROCHA, A. A. (1977). *Poluição, Proteção e Usos Múltiplos de Represas*, Editora Edgard Blucher/CETESB, São Paulo, 1977.
- BRUNE, G. M. (1953). Trap efficiency of reservoirs. *Transactions*, American Geophysical Union, vol. 34, n. 3, pp. 407-418. Washington, DC. 1953.
- BUFON, A. G. M.; LANDIM, P. M. B.; MELO, J. S. C. (2009). Estimativa do tempo de vida útil de represa de pequeno porte. *Acta Scientiarum. Technology*. Maringá, v. 31, n. 1, p. 87-92. DOI: 10.4025/actascitechnol.v31i1.1517
- CABRAL, J. B. P. (2005). Estudo do processo de assoreamento em reservatórios. *Caminhos de Geografia*. Ano 6(14)62-69, Fev/2005
- CABRAL, J. B. P.; FERNANDES, L. A.; SCOPEL, I.; BECEGATO, V. A.; FIORI, A. P. (2009). Avaliação do estado de assoreamento do reservatório de Cachoeira Dourada (GO/MG). *Sociedade & Natureza*, 21(1), 97-119. <https://dx.doi.org/10.1590/S1982-45132009000100007>
- CANCINO, L. & NEVES, R. (1999). Hydrodynamic and sediment suspension modeling in estuarine systems. Part I: Description of the numerical models, *Journal of Marine Systems*, 22, pp. 105-116.
- CARVALHO, N. O. (2000), *Reservoir Sedimentation Effects on Hydropower Generation – A Case Study*, 28th IAHR Biennial Congress Proceedings, Graz, Austria.
- CARVALHO, N. O. (2008), *Hidrossedimentologia Prática*, 2^a Edição, Rio de Janeiro-RJ, Editora Interciência.
- CARVALHO, N.O.; GUILHON, L.G.; TRINDADE, P.A.. (2000a), Assoreamento de um pequeno reservatório – Itiquira, um estudo de caso. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. V. 5 n.1, p. 69-79.
- CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JÚNIOR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. (2000b), *Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios*. Brasília: ANEEL. 140p.
- CARVALHO, N. O.; LÔU, W. C. (1986), Avaliação da Vida Útil do Reservatório da Barragem no Rio Manso no Estado de Mato Grosso. *Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Grandes Barragens*. pp. 61-70.
- CHANSON, H., and JAMES, P. (1998). Rapid Reservoir Sedimentation of Four Historic Thin Arch Dams in Australia. *Jl of Performance of Constructed Facilities*, ASCE, Vol. 12, No. 2, May, pp. 85-92. Errata : Vol. 12, No. 3, p.169 (ISSN 0887-3828).
- CHUNG, S.W.; HIPSEY, M.R.; IMBERGER, J. (2009), Modelling the propagation of turbid density inflows into a stratified lake: Daecheong Reservoir, Korea. *Environmental Modelling & Software*, 24(12):1467-1482.

- CLARKE, R. T. (1994). *Statistical modelling in hydrology*. John Wiley & Sonsn. Sussex, Inglaterra.
- COIADO, E. M. (2001), Assoreamento de Reservatórios. In PAIVA, J. B. D. & PAIVA, E. M. C. D (Org.), *Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Porto Alegre: ABRH. P. 395-426.
- COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOGI GUAÇU – CBH MOGI (2008), *Plano da Bacia Hidrográfica 2008-2011*, São Paulo, SP.
- DAPHNE, L. H. X., UTOMO, H. D. & KENNETH, L. Z. H. (2011), Correlation between Turbidity and Total Suspended Solids in Singapore Rivers. *J. Water Sustain.* 1(3): 313-322.
- DEINES, K. L. (1999), *Backscatter estimation using Broadband acoustic Doppler current profilers*, Proceedings of IEEE of the 6th CMTC - Working Conference on Current Measurement.
- DENDY, F.E. (1974) Sediment Trap Efficiency of Small Reservoirs, *Trans. of ASAE*, 17(5), 898-988.
- DILL, P. R. J (2002) *Assoreamento do Reservatório de Vacai-Mirim e sua relação com a deterioração da bacia hidrográfica contribuinte*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).
- DINEHART, R. L., BURAU, J. R. (2005), Repeated surveys by acoustic Doppler current profiler and sediment dynamics in a tidal river, *Journal of Hydrology*, vol 314, pag 1 – 21.
- EDINGER, J. E. & BUCHAK, E. M. (1975), *A hydrodynamic, twodimensional reservoir model: The computational basis*. Prepared for U.S. Army Engineer Division, Ohio River, Cincinnati.
- ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE – EPRI. *Scoping Study on Sediment Issues at Hydroelectric Projects*. Palo Alto, California, US. 2000.
- ELETRORÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (2000) *Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas*. Ed. Eletrobrás. Ed. Eletrobrás. p 447.
- EMMERICH, W. & MARCONDES, M.A.P. (1975), *Algumas Características do Manejo de Bacias Hidrográficas*. São Paulo. (Boletim técnico IF).
- EMPLASA - Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A. (2011), *Levantamento Aerofotogramétrico de 2010/11 – Projeto Mapeia São Paulo*, São Paulo, Brasil,
- ENGELUND, F., AND HANSEN, E. (1972). *A monograph on sediment transport in alluvial streams*, Teknisk Forlag, Technical Press, Copenhagen, Denmark.

- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. (1976). *Erosion and Sediment Control*. Washington: Surface Mining in the Eastern US. v.1.
- ESTIGONI M. V.; MATOS A. J. S.; MAUAD F. F. (2014a) Assessment of the accuracy of different standard methods for determining reservoir capacity and sedimentation. *J Soils Sediments*. Volume 14, Issue 7, pp 1224-1234. doi: 10.1007/s11368-013-0816-x.
- ESTIGONI, M. V.; MIRANDA, R. B.; VERONEZ, O; LEITE, C. B.; BOTELHO, D. A.; DOTTO, F. R. L.; BRAMORSKI, J; VILELLA, S. M.; MAUAD, F. F. (2012). *Fundamentos teóricos sobre modelagem de transporte de sedimentos coesivos*. X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Foz do Iguaçu – PR.
- ESTIGONI, M. V.; REQUENA SANCHEZ, N. P.; MIRANDA, R. B.; KUWAJIMA, J. I.; MAUAD, F. F. (2014b), *Comparison of methods to assess reservoir volume and sedimentation based on bathymetric surveys*, 3rd IAHR Europe Congress, Book of Proceedings, 2014, Porto-Portugal.
- ESTIGONI MV; BIELENKI Jr., C.; VITTI, D. M, C.; KUWAJIMA, J. I.; MIRANDA, R. B.; MATOS, A. J. S.; MAUAD, F. F. (2014c) *Levantamento Topobatimétrico para atualização de curva Cota x Área x Volume do reservatório do Lobo (Broa, Itirapina, SP)*. XIII Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, São Carlos - SP.
- ESTIGONI, M. V.; MIRANDA, R. B.; MAUAD, F. F. (2015). Hydropower reservoir sediment and water quality assessment. *Management of Environmental Quality: An International Journal*. Artigo aceito para publicação.
- ESTIGONI, M. V.; MIRANDA, R. B.; MATOS, A. J. S.; MAUAD, F. F (2009) *LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO EM RESERVATÓRIO DE GRANDE PORTE DESTINADO À USOS MULTIPLOS, ESTUDO DE CASO: UHE NOVA AVANHANDAVA (SÃO PAULO, BRASIL)*. IX SEREA - Seminario Iberoamericano sobre Planificación, Proyecto y Operación de Sistemas. Valencia, Espanha.
- ESTIGONI, M. V. (2012), *Influência da quantidade e disposição de dados na modelação de terrenos aplicada a batimetria de reservatórios. Estudos de caso: UHE Três Irmãos – SP e UHE Chavantes – SP*. 118p. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos – SP.
- EXNER, F. M., (1920). *Zur Physik der Dunen*, Sitzber. Akad. Wiss Wien, Part IIa, Bd. 129 (in German).
- EXNER, F. M., (1925). *Über die Wechselwirkung zwischen Wasser und Geschiebe in Flüssen*, Sitzber. Akad. Wiss Wien, Part IIa, Bd. 134 (in German).

- FLEMMING, B. W. (2000). A revised textural classification of gravel-free muddy sediments on the basis ternary diagrams. In: *Continental Shelf Research*, n. 20, pp. 1125-1137.
- FURNANS, J. & AUSTIN, B. (2008), Hydrographic survey methods for determining reservoir volume, *Environmental Modelling & Software*, vol 23, pag. 139 – 146.
- GARG, V. & JOTHIPRAKASH, V. (2008), Estimation of useful life of a reservoir using sediment trap efficiency. *Journal of Spatial Hydrology*. Vol.8, No.2 Fall 2008.
- GEBREGIORGIS, A. S. & HOSSAIN, F. (2012), Hydrological Risk Assessment of Old Dams: Case Study on Wilson Dam of Tennessee River Basin. *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 17, No. 1, p. 201-212.
- GIBSON, S. & BOYD, P. (2014). Modeling Long Term Alternatives for Sustainable Sediment Management Using Operational Sediment Transport Rules. In: *Reservoir Sedimentation – Scheiss et al.* (eds), 229-236.
- GILL, M.A. (1979) Sedimentation and Useful Life of Reservoirs. *Journal of Hydrology*, 44, 89-95. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694\(79\)90148-3](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(79)90148-3)
- GLYMPH, L.M. (1973), *Sedimentation of Reservoirs*. In: ACKERMANN, W.C. et al., ed. Man-made lakes: their problems and environmental. Washington DC: American Geophysical Union. p. 342-346.
- GOLDSMITH, E.; HILDYARD, N. *The social and environmental effects of large dams*. San Francisco: Sierra Club Books, 1984. ISBN: 978-08-71568-48-9.
- GRAY, J. R., & F. J. SIMÕES (2008), Estimating sediment discharge, in *Sedimentation Engineering—Processes, Measurements, Modeling, and Practice, Manual, vol. 110*, pp. 1067–1088, U.S. Gov. Print. Off., Washington, D. C.
- GRIGORESCU SD, CEPISCA RC, JULA N (2007) Trend of standards for hydrographic survey. In: *Proceedings of the 5th IASME/WSEAS Int. Conference on Heat Transfer, Thermal Engineering and Environment*, Athens
- HAAN, C. T. (1941). *Statistical methods in hydrology*, Iowa State University Press, Iowa, EUA.
- HAREGEWEYN, N.; MELESSE, B.; TSUNEKAWA, A.; TSUBO, M.; MESHESHA, D.; BALANA, B.B. (2012) Reservoir sedimentation and its mitigating strategies: a case study of Angereb reservoir (NW Ethiopia). *J Soils Sediments*. 12:291–305. doi:10.1007/s11368-011-0447-z
- HEINEMANN, H.G. (1981) A New Sediment Trap Efficiency Curve for Small Reservoirs. *Water Resources Bulletin*, 175, 825-830.

- HIPEL, K. W. & McLEOD, A. I. (1994). *Time Series modelling of Water Resources and Environmental systems*. Elsevier. Holanda.
- HOROWITZ, A. (2003). An evaluation of sediment rating curves for estimating suspended sediment concentrations for subsequent flux calculations. *Hydrological Processes*, v. 17, p. 3387– 3409, 2003.
- HOROWITZ, A.; ELRICK, K.; SMITH, J. (2001). Estimating suspended sediment and trace element fluxes in large river basins: methodological considerations as applied to the NASQAN programme. *Hydrological Processes*, v.15, p. 1107–1132, 2001.
- IMANSHOAR, F.; JAHANGIRZADEH, A.; BASSER, H.; AKIB, S.; KAMALI, B.; TABATABAEI, M. R. M.; KAKOUEI, M. (2014). Reservoir Sedimentation Based on Uncertainty Analysis. *Abstract and Applied Analysis*. Volume 2014, Article ID 367627, 6 pages. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/367627>
- INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS; COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES (1989). *Sedimentation control of reservoir/ Maîtrise de l'alluvionnement des retenues*. Committee on sedimentation of reservoir. Guidelines.. ICOLD Bulletin N. 67.
- ISSA, I.E., AL-ANSARI, N., KNUTSSON, S. AND SHERWANY, G. (2015). Monitoring and Evaluating the Sedimentation Process in Mosul Dam Reservoir Using Trap Efficiency Approaches. *Engineering*, 7, 190-202. DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/eng.2015.74015>,.
- JANSSON, M. (1996). Estimating a sediment rating curve of the Reventaz6n river at Palomo using logged mean loads within discharge classes. *Journal of Hydrology*, v. 183, p. 227-241, 1996.
- JOTHIPRAKASH, V. & GARG, V. (2008) Re-Took to Conventional Techniques for Trapping Efficiency Estimation of a Reservoir. *International Journal of Sediment Research*, 23, 76-84. [http://dx.doi.org/10.1016/S1001-6279\(08\)60007-4](http://dx.doi.org/10.1016/S1001-6279(08)60007-4)
- KASHIWAI, J. (2005). *Reservoir sedimentation and sediment management in Japan*. Technical Memorandum of Public Works Research Institute. no 3957, pp. 240-250.
- KOCH, R. W. AND SMILLIE, G. M. (1986), Bias in Hydrologic prediction using Log-Transformed regression models1. *JAWRA – Journal of the American Water Resources Association*, 22: 717–723. doi:10.1111/j.1752-1688.1986.tb00744.x
- LANE, E.W. (1955). *The Importance of Fluvial Morphology in Hydraulic Engineering*. American Society of Civil Engineering, Proceedings, 81, paper 745: p. 1-17.
- LEE, P. S. & YOU, J. Y. (2011), *The risk analysis of long term impact to reservoir under extreme hydrologic events – Shihmen Reservoir a Case Study*. World Environmental and

- Water Resources Congress. ASCE 2011.
- LEENDERTSE, J. J. (1967), *Aspects of a computational model for long water wave propagation*. Rand Corporation, Memorandum RH-5299-RR. Santa Monica.
- LEENDERTSE, J.J. (1970), *A water quality simulation model for well mixed estuaries and coastal seas*. Rand Corporation, Memorandum RM-6230-RC. Santa Monica
- LEENDERTSE, J.J. & LIU, S.K. (1978), *A three-dimensional turbulent energy model for non-homogeneous estuaries and coastal sea systems*. In J.C.J. Nihoul (ed.), *Hydrodynamics of Estuaries and Fjords*: 387-405. Amsterdam: Elsevier.
- LEICA. (2014). *Equipamento GPD - GS20*. Disponível em: <<http://www.leica-geosystems.com>>. Acesso em: 10 fev. 2014.
- LEWIS, S. E.; BAINBRIDGE, Z. T.; KUHNERT, P. M.; SHERMAN, B. S.; HENDERSON, B. ; DOUGALL, C.; COOPER, M.; BRODIE, J. E. (2013), Calculating sediment trapping efficiencies for reservoirs in tropical settings: A case study from the Burdekin Falls Dam, NE Australia, *Water Resour. Res.*, Vol 49, p. 1017–1029. DOI:10.1002/wrcr.20117.
- LOPES, A. V. (1993). *Aplicação de métodos de previsão de assoreamento de reservatórios*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, área de concentração: Recursos Hídricos e Saneamento). UNICAMP, Campinas – SP.
- LIU, J.; LIU, B.Y.; ASHIDA, K. Reservoir Sedimentation Management in Asia. Advances in Hydro- Sciences and Engineering. In: *5th International Conference on Hydro-Science and Engineering*, Warsaw, Poland, 2002. Disponível em: <<http://kfki.baw.de/conferences/ICHE/2002-Warsaw/ARTICLES/PDF/128C4-SD.pdf>> Acesso em: 05 out. 2014.
- MATOS, A. J. S. (2012), *Melhorias qualitativas na modelagem de levantamentos batimétricos em reservatórios por meio da ferramenta computacional “CAV-NH”*. 125p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos – SP.
- MAUAD, F. F.; EHRENBURG, A. C. A.; ALBERTIN, L. L.; et al. (2009). *Estudo do assoreamento do reservatório formado pela barragem da UHE Três Irmãos*. Relatório Técnico de projeto do Programa de P&D ANEEL, Convênio FIPAI – EESC/USP – CESP. São Carlos – SP. Relatório Técnico de projeto do Programa de P&D ANEEL, Convênio FIPAI – EESC/USP – CESP. São Carlos – SP.
- MAUAD, F. F.; SIMIONATO, J. L. A.; CORRÊA FILHO, C. R.; et al. (2005). *Previsão do Assoreamento de reservatórios formados por barragens: Levantamento batimétrico e geração da curva cota-área-volume Represa de Mogi-Guaçu*. Relatório Técnico de projeto do Programa de P&D ANEEL, Convênio FIPAI – EESC/USP – AESTietê. A..

São Carlos – SP. Relatório Técnico de projeto do Programa de P&D ANEEL, Convênio FIPAI – EESC/USP – AESTietê. A.. São Carlos – SP.

MAUAD, F. F.; VERONEZ, O.; SANTOS, B. B.; *e al.* (2014), *Desenvolvimento, Validação e Aplicação de um Modelo Tri-Dimensional de Transporte de Sedimentos em Reservatórios Aplicado ao Cálculo e Elaboração de Projeções Futuras de Geração Hidrelétrica*.

MEADE, R. H., YUZYK, T. R., DAY, T. J. (1990), Movement and storage of sediment in rivers of the United States and Canada. In: *The Geology of North America*. V. 1, Surface Water Hydrology, M. G. Wolman & H. C. Criggs (editors). The Geological Society of America, Boulder, Colorado, p. 255 – 280.

MENDES, A. B. (2008), *Anexo XV – Avaliação do assoreamento e vida útil de reservatório*. In: CARVALHO, N. O. (2008), *Hidrossedimentologia Prática*, 2ª Edição, Rio de Janeiro-RJ, Editora Interciência.

MENDES, A. B. (2014), Análise sinérgica da vida útil de empreendimentos hidrelétricos em cascata – O caso do Rio Araguaia. In: POLETO, C., *Sedimentologia Fluvial: Estudos e Técnicas. Volume 1*. Ed. ABRH, Porto Alegre – RS.

MERTEN, G. H.; HOROWITZ, A.; MINELLA, J. P. G.; CLARKE, R. T.; RIBEIRO, G. (2007). Estimativa do fluxo de sedimentos em suspensão utilizando a curva-chave aplicada a vazões mensais e diárias. IN: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 17., 2007, São Paulo. Anais XVII, São Paulo, 2007.

MIRANDA, R.B. (2011). A influência do assoreamento na geração de energia hidrelétrica: estudo de caso na Usina de Três Irmãos - SP. 2011. 117 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

MIRANDA, R.B. (2015). Ferramenta computacional para estimativa de parâmetros hidrossedimentológicos em reservatório: estudo de caso da PCH (SP). Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

MOGIANA TURISMO. (2001). *Imagem do Reservatório da PCH de Mogi-Guaçu*. Disponível em: <<http://mogianaturismo.blogspot.com>>. Acesso em: 10 out. 2011.

MORRIS, G.L. & FAN, J. (1998). *Reservoir Sedimentation Handbook – Design and management of dams, reservoirs, and watersheds for sustainable use*. McGraw-Hill Book Co., New York.

MORRIS, G.L. & FAN, J. (2010). *Reservoir Sedimentation Handbook – Design and management of dams, reservoirs, and watersheds for sustainable use*. McGraw-Hill Book Co., New York. Electronic Version 1.04. 2010. 805 p.

- MOSSA, J. (1989). Hysteresis and nonlinearity of discharge-sediment relationships in the Atchafalaya and lower Mississippi. Sediment and the environment. In: *IAHS publication*, Wallingford, v. 184, p. 105–112, 1989.
- MULLER, A.C. (1995). *Hidrelétricas, Meio Ambiente e Desenvolvimento*. Makron Books. São Paulo. 412 p.
- MURTHY, B. N. (1977). *Life of Reservoir*: Central Board of Irrigation and Power, New Delhi.
- OMNISTAR (2012), OmniSTAR VBS: Global Reliable Sub-Meter Accuracy. Disponível em: <<http://www.omnistar.com/SubscriptionServices/OmnistarVBS.aspx>>. Acesso em: 5 fev. 2014.
- PAIVA J. M. O. (1993). *Sedimentação de Reservatórios de Barragens*. Dissertação de Mestrado Engenharia Hidráulica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 217 p.
- PAIVA, E. M. C. D.; PAIVA, J. B. D.; REINERT, D. J. (1998). *Estimativa do assoreamento do reservatório do DNOS, em Santa Maria, RS*. XVII Congresso Nacional Del Água, II Simpósio de Recursos Hídricos Del Conosur, Santa Fé – Argentina, 3 al 7 de agosto de 1998, p. 540.
- POLETO, C. (2014) *SEDIMENTOLOGIA FLUVIAL: Técnicas e Estudos*. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 2014. v. 1. 240p .
- REQUENA SANCHEZ, N. P (2014) *Análisis de la producción de sedimentos en diferentes escalas de tiempo en una subcuenca semiárida, Moquegua – Perú*. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.
- REQUENA SANCHEZ, N. P; ESTIGONI, M. V.; MIRANDA, R. B.; PIEROLA, J. N.; MAUAD, F. F. (2016), *Análisis de la producción de sedimentos en diferentes escalas de tiempo en una subcuenca semiárida, Moquegua - Perú*. In: XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, 2016, Lima, Peru.
- RIBEIRO, J. C., SALOMÃO, F. X. T. (2001), *A Morfopedologia aplicada ao Diagnóstico e Prevenção dos processos Erosivos Lineares da bacia hidrográfica do Alto rio da Casca*, VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Goiânia – GO.
- RIGHETTO, A. M. (1998), *Hidrologia e Recursos Hídricos*. Ed. EESC/USP. São Carlos – SP. 840p.
- SANTOS, B. B.; MIRANDA, R. B. ; ESTIGONI, M. V. ; MAUAD, F. F. (2015a). *Avaliação da concentração de sedimentos em suspensão utilizando a sonda LISST-100X no reservatório de Mogi-Guaçu (SP)*. In: XIV Simpósio do Curso de Pós-

- Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, 2015, São Carlos, 2015. v. 1. p. 358-367
- SANTOS, B. B. ; MIRANDA, R. B. ; ESTIGONI, M. V. ; VILLELA, J. M. ; MAUAD, F. F. (2015b). *Avaliação do método de difração a laser na medição da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Mogi-Guaçu (SP)*. In: Congresso Internacional de Hidrossedimentologia, 2015, Porto Alegre/RS. Anais do Congresso Internacional de Hidrossedimentologia, 2015. v. 1.
- SANTOS, B. B. ; ESTIGONI, M. V. ; MIRANDA, R. B. ; BOTELHO, D. A. ; MAUAD, F. F. . (2014). *Estudo da relação entre concentração de sedimentos em suspensão e a turbidez no reservatório de Mogi-Guaçu (SP)*. In: XI Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 2014, João Pessoa. Anais do XI Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 2014.
- SHELLEY, J.; GIBSON, S.; WILLIAMS, A. (2015). *Unsteady flow and sediment modelling in a large reservoir using HEC-RAS 5.0*. In: Proceedings of SEDHYD 2015 (3rd JFIC).
- SILVA, C.; OLIVEIRA, A. M. S.; FIGUEIRA, R. C. L.; SEMENSATTO, D.; LABUTO, G. (2011). Estudo do assoreamento do reservatório Tanque Grande, Guarulhos (SP). *Geociências – São Paulo*. Vol. 30, n. 2, p. 253-267.
- SIMMONS, D. B. & SENTURK, F. (1992), *Sediment Transport Technology: Water and sediment dynamics*. Water Resources Publications, Colorado, Estados Unidos.
- SIMÕES, F.J.M.; YANG, C.T. (2006), *Sedimentation Modeling for Rivers and Reservoirs*. In: Erosion and Sedimentation Manual, U.S. Bureau of Reclamation.
- STRAND, R. I. (1987). *Appendix H em Design of Small Dams. Third Edition*. US Bureau of Reclamation. Washington, DC, Estados Unidos.
- STRAUB, T. D. *et al.* (2012), Illinois Sediment Acoustics, Palestra apresentada em *OSW Sediment Hydroacoustic Activities Workshop*.
- SUGUIO, K. & BIGARELLA, J.J. (1979). *Ambiente fluvial. Ambientes de sedimentação sua interpretação e importância*. Universidade Federal do Paraná, Associação de Defesa e Educação Ambiental, Curitiba, p. 22-38.
- SYVITSKI, J. *et al.* (2000). Estimating fluvial sediment transport: The rating parameters. *Water Resources Research*, v. 36, n. 9, p. 2747-2760.
- THAKKAR, H. & BHATTACHARYYA, S. (2006). *Reservoir siltation in India: Latest Studies – A Wake up Call*, South Asia Network on Dams, Rivers and People.
- TOPPING, D.J., WRIGHT, S.A., MELIS, T.S., RUBIN, D.M. (2006), *High-resolution monitoring of suspended-sediment concentration and grain size in the Colorado River*

in Grand Canyon using a laser- diffraction instruments and three-frequency acoustic system, Proceedings of the 8th Federal Interagency Sedimentation Conference - FISC, Reno, NV, EUA..

USCOLD - United States Committee on Large Dams (1982). *Newsletter. N.º 69*, Nov 1982.

USACE - U.S. Army Corps of Engineers (1989), Trap efficiency of reservoirs. In: USACE (1995) *Engineer manual 1110-2-4000: Engineering and Design - Sedimentation Investigations of Rivers and Reservoirs*. Washington, DC.

USACE - U.S. Army Corps of Engineers (2004), *Engineering and Design. Hydrographic Surveying*, Washington, DC.

USACE - U.S. Army Corps of Engineers. (2010), *HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic References Manual – Version 4.1*. U.S. Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center.

USACE - U.S. Army Corps of Engineers. (2012), *HEC-GeoRAS GIS Tools for support of HEC-RAS using ArcGIS 10. – User Manual*. U.S. Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center.

U.S. Bureau of Reclamation (2012). *SRH-ID 3.0 User's Manual (Sedimentation and River Hydraulics – One Dimension, Version 3.0)*. Technical Report SRH-2013. U.S. Department of Interior, Sedimentation and River Hydraulics Group.

VANONI V. A. (1977), *Sedimentation Engineering*. ASCE, American Society of Civil Engineers. New York, NY, USA.

VASQUEZ, J.A. (2012). *Modelación Numérica de la Erosión en el Puente Padma, Bangladesh*. XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, San José, Costa Rica.

VASQUEZ, J.A., MCLEAN, D.G AND O'CONNOR V.F. (2013), *Numerical Modelling of Scour in the River Training Works of the Padma River Bridge*. 21st Canadian Hydrotechnical Conference, Banff, AB, Canada, May. 14-17, 2013.

WILLIAMSON, T. N. AND CRAWFORD, C. G. (2011), Estimation of Suspended-Sediment Concentration From Total Suspended Solids and Turbidity Data for Kentucky, 1978-1995. *J. Amer. Water Resources Assoc.*, 47: 739–749. doi: 10.1111/j.1752-1688.2011.00538.x

WROBEL, L.C.; EIGER, S.; ROSMANN, P.C.; TUCCI, C.E.; CIRILLO, J.A.; CABRAL, J.P.; VIEIRA, R. V. (1989), *Métodos Numéricos em Recursos Hídricos*. ABRH.

XIAOQING, Y (2003). *Operational Hydrology Report N° 47: Manual on Sediment Management and Measurement*. Secretariat of the World Meteorological Organization – Geneva – Switzerland. ISBN: 92-63-10948-6.

- YANG, C.T. (1973). Incipient motion and sediment transport. *Journal of Hydraulic Division*, ASCE, Vol. 99(10), 1679-1704.
- YANG, C.T. (1984). Unit stream power equation for gravel, *Journal of Hydraulic Division*, ASCE, Vol. 110(12)1783-1797.
- YUQIAN, L. (1989), *Manual on operational methods for the measurement of sediment transport*. Geneva: WMO.
- ZHANG, W.; WEI, X.; Zheng, J.; ZHU, Y.; ZHANG, Y. (2012). Estimating suspended sediment loads in the Pearl River Delta region using sediment curves. *Continental Shelf Research*, v. 38, p. 35-46, 2012.

**Apêndice I: Código de programação para criação
automática de séries hidrológicas**


```

Sub Series()
Set ws = Sheets("AuxExportSeries")
Sheets("AuxExportSeries").Copy Before:=Sheets("AuxExportSeries")
Set ws = Sheets("AuxExportSeries (2)")
ActiveSheet.Name = "AuxExportSeries (1)"
'

'NOTA: alterar a seleção "A1:C20000" conforme a planilha utilizada
ActiveSheet.Name = "AuxExportSeries (1)"
Range("A1:C20000").Copy
Range("A1:C20000").PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
Range("A1:C20000").PasteSpecial Paste:=xlPasteFormats
'

'NOTA: alterar o número de séries conforme desejado alterando "1 To XX"
For numtimes = 1 To 25
Set ws = Sheets("AuxExportSeries")
Sheets("AuxExportSeries").Copy Before:=Sheets("AuxExportSeries")
Range("A1:C20000").Copy
Range("A1:C20000").PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
Range("A1:C20000").PasteSpecial Paste:=xlPasteFormats
Next
End Sub

```


Apêndice II: Arquivo de configuração do modelo SRH-1D

*verificar manual do usuário (USB, 2012) para os significados dos nomes dos campos e significado dos parâmetros


```
***  solve solves  EPSY  F1 XFACT METRIC  YZ METRIC_GIS
YSL      1  1 1.00E-03  1  1  1  1  1
```

```
***  THE  iHotSt qmin  tstart xcout
```

```
YTM      87600  0  0  0  2
```

```
***  TDT  DT  DTOUT  DTPLT XCPLT  !  Saída = 1ano
```

```
YDT      0  2  8760  1  1  2  3  7 12 17 18
```

```
***  Vazão média diária
```

```
UFB      2
```

```
***  Tempo (h) Vazão (m3/s)
```

```
U02      0  (...)
```

```
U02      24  (...)
```

```
U02      48  (...)
```

```
U02      72  (...)
```

```
U02      (...)  (...)
```

```
U02      (...)  (...)
```

```
U02      (...)  (...)
```

```
.
```

```
.
```

```
.
```

```
***
```

```
DFB      1
```

```
***  Tempo (h) Nível d'água (m)
```

```
D01      0  598.60  ! início do ano
```

```
D01      2928  598.60  ! dia 122
```

```
D01      3168  599.80  ! dia 132
```

```
D01      6888  599.80  ! dia 287
```

```
D01      7128  598.60  ! dia 287
```

```
D01      8766  598.60  ! Fim de 1 ano
```

```
D01      (...)  (...)
```

```
D01      (...)  (...)
```

```
D01      (...)  (...)
```

```
D01      (...)  (...)
```

```
.
```

```
.
```

```
.
```

```
(...)
```

```
INF      0
```

```
***  NKQF
```

```
LNF      0
```

```
*****
*****
```

```
***  station: 2741.069
```

```
***
```

```
***
```

```
***  cross section 3of 19 at original 3
```

```
***  XCID ZDI QDI
```

```
XIN      2542.683  0  0
```

```
***  location ch_l ch_r bec ninterp iHotC base_rate
```

```
XST      2542.67 263.93 382.43 0 0 0 0
```

```
***  station elevation data
```

```
XSP      0  602 1.44 601 2.81 600 29.49 599.68 37.85 599
```

```
XSP      48.47 596.96 75.06 597.38 84.54 597.43 93.46 597.48 141.73 597.06
```

```
XSP      142.52 597.08 143.28 597.07 144.73 597.08 145.56 597.06 146.4 597.03
```

```
XSP      147.47 597 148.26 597.01 149.45 597.01 150.23 596.99 151.03 596.96
```

```
XSP      151.82 596.91 152.92 596.83 154.02 596.74 154.89 596.64 155.81 596.54
```

```
XSP      156.71 596.44 157.63 596.33 158.58 596.24 159.7 596.12 161.74 595.99
```

```
XSP      162.58 595.92 163.38 595.85 164.58 595.73 165.41 595.69 167 595.61
```

```
XSP      167.86 595.54 169.09 595.49 170.06 595.42 170.87 595.34 171.94 595.27
```

```
XSP      172.88 595.22 174.15 595.16 175.2 595.1 176.02 595.06 177.02 595.03
```

```
XSP      178.08 594.96 178.89 594.91 179.71 594.87 181 594.78 181.81 594.74
```

```
XSP      183.78 594.61 185.4 594.5 186.19 594.45 187.43 594.36 188.65 594.28
```

```
XSP      189.77 594.15 190.91 594.14 191.98 594.04 193.05 593.93 194.21 593.89
```

```
XSP      194.97 593.84 195.94 593.75 196.74 593.69 197.79 593.58 198.59 593.5
```

```
XSP      199.59 593.42 200.36 593.37 201.15 593.27 202.28 593.11 203.27 592.94
```

```
XSP      204.05 592.82 204.9 592.63 205.75 592.43 206.73 592.21 207.99 592
```

```
XSP      209.35 591.93 210.4 591.97 211.22 592.02 212.1 592.06 213.33 592.06
```

Inserir série de vazões

**Modelo série de dados de nível
operacional do reservatório. Replicar
o padrão pelos 50 anos de simulação**

```

XSP      214.24   592.03   215.29   592.07   216.1 592.07   217.12 592.09 219.08 592.25
XSP      220.08   592.22   220.89   592.15   222.47 592.07   223.31 592.01 224.1  592
XSP      225.08   591.97   225.89     592 226.69 592.07   227.53 592.13 228.46 592.33
XSP      229.32   592.42   230.15   592.45   231.17 592.47   231.96 592.5 232.86 592.5
XSP      233.93   592.54   234.84   592.5   236.83 592.52   238.69 592.64 239.56 592.74
XSP      240.59   592.84   241.62   592.96   242.42 593.05   243.77 593.17 244.84 593.26
XSP      245.89   593.39   246.7    593.5   247.49 593.57   248.28 593.68 249.05 593.79
XSP       250    593.99   250.95   594.22   251.89 594.46   252.65 594.67 253.41 594.87
XSP      254.28   595.15   255.14   595.43   255.98 595.68   256.77 595.97 257.7 596.14
XSP      258.51   596.38   259.31   596.55   260.09 596.71   260.91 596.86 261.74 596.95
XSP      262.51   596.99   263.42   597.12   264.52 597.16   265.43 597.24 266.33 597.27
XSP      267.18   597.24   267.95   597.3   268.83 597.33   269.7 597.38 270.8 597.42
XSP      271.82   597.41   273.03   597.42   285.53 597.18   291.41 597.08 294.07 597.34
XSP      319.63   599.68   351.28     600 353.55 600.57   354.59 600.89 358.31 602
*** xloc_rcoef rcoef
XRH       0     0.02   84.54   0.018 285.53 0.02
*** bankl  bankr
XOX      84.54   285.53
*** expansion contraction
XFL       0.3     0.1
*** GIS      Cut      Line
XSL    306315.64  7523657.65 306357.99 7524013.44
*****
*****
*** station:    2272.848
***
***
*** cross      section      4of      19 at original      4
*** XCID      ZDI      QDI
XIN    2272.848      0      0
*** location ch_l      ch_r      bec      ninterp iHotC base_rate
XST    2272.83    255.61 393.77      0      0      0      0
*** station elevation data
XSP       0      602 0.94      601 1.84 600.16   4.06   600 32.74 599.7
XSP     34.3   599.68 35.63   599.57 60.45 598.56 116.7 596.25 117.97 596.25
XSP    118.84   596.26 119.62   596.28 121.64 596.3 122.43 596.31 123.41 596.31
XSP    124.35   596.32 125.12   596.34 126.02 596.35 126.9 596.37 128.63 596.51
XSP    130.81   596.62 132.18   596.66 133.71 596.65 134.49 596.66 135.32 596.68
XSP    136.22   596.71 137.09   596.72 137.88 596.7 138.67 596.73 139.55 596.75
XSP    140.7    596.77 141.49   596.82 142.49 596.84 143.47 596.88 144.42 596.89
XSP    145.41   596.93 146.28   596.98 147.4 596.99 148.71 596.99 150 597
XSP    151.35   597.04 152.93   597.08 153.9 597.12 155.96 597.16 156.88 597.19
XSP    157.7    597.21 158.47   597.25 159.36 597.26 161.46 597.34 162.52 597.35
XSP    163.58   597.38 164.37   597.42 165.65 597.47 166.82 597.53 167.87 597.53
XSP    168.69   597.54 169.49   597.59 171.26 597.63 172.13 597.63 173.08 597.67
XSP    174.02   597.68 174.83   597.72 175.71 597.73 176.48 597.73 177.24 597.74
XSP    182.95   597.74 183.83   597.73 230.02 597.62 234.89 597.64 238.85 597.62
XSP    239.62   597.65 240.56   597.7 241.99 597.6 242.82 597.6 243.69 597.59
XSP    245.84   597.59 246.64   597.57 248.16 597.56 249.42 597.49 250.2 597.46
XSP    251.03   597.44 252.05   597.38 252.88 597.38 253.71 597.36 255.05 597.35
XSP    256.65   597.33 257.72   597.27 258.6 597.26 259.38 597.24 260.36 597.23
XSP    262.47   597.23 263.96   597.16 265.12 597.16 267.06 597.11 268.12 597.11
XSP    268.97   597.08 270.01   597.08 271.13 597.05 272.12 597.07 272.99 597.03
XSP    274.21   597.05 275.52   597.02 276.38 597.01 277.35 597.02 278.96 597
XSP    281.11     597 282.03   596.98 283.89 596.98 285.48 596.96 286.44 596.97
XSP    287.4    596.97 288.28   596.98 289.39 596.95 290.7 596.98 291.47 596.98
XSP    292.67     597 293.97   596.97 295.22 596.99 296.25 597 301.26 597.24
XSP    302.46   597.23 303.66   597.26 306.2 597.26 307.9 597.28 308.94 597.29
XSP    309.86   597.33 310.74   597.34 311.62 597.38 312.5 597.39 313.68 597.4
XSP    314.52   597.41 315.96   597.48 317.14 597.52 318.03 597.52 318.82 597.53
XSP    319.59   597.56 321.12   597.56 322.03 597.58 322.8 597.57 323.96 597.58
XSP    324.82   597.55 325.85   597.55 327.33 597.54 328.2 597.51 328.98 597.51
XSP    329.81   597.48 330.59   597.45 331.35 597.41 332.17 597.39 332.97 597.35
XSP    333.86     597.3 335.1 597.26 335.89 597.17 336.7 597.09 337.48 596.99
XSP    338.28   596.85 339.07   596.71 340.81 596.38 341.75 596.17 342.57 595.99
XSP    343.47   595.78 344.28   595.57 345.25 595.35 346.07 595.27 346.96 595.19

```

```

XSP 347.78 595.13 348.76 595.09 349.59 595.04 350.41 595.02 351.55 594.99
XSP 352.48 594.94 354.6 594.95 355.47 594.99 356.5 595 357.76 595.03
XSP 358.86 595.08 359.69 595.12 360.94 595.12 361.99 595.16 363.86 595.18
XSP 365.12 595.24 365.97 595.27 366.75 595.28 367.88 595.34 369.1 595.37
XSP 369.96 595.41 370.98 595.44 372.09 595.45 373.83 595.48 374.83 595.53
XSP 376.5 595.53 377.35 595.55 378.15 595.54 380.23 595.54 381.28 595.51
XSP 382.17 595.47 382.95 595.42 385.14 595.42 386.46 595.44 387.6 595.4
XSP 388.88 595.48 389.79 595.53 391.15 595.55 392.29 595.56 393.23 595.59
XSP 394.62 595.61 395.76 595.61 397.31 595.59 398.65 595.62 399.54 595.63
XSP 400.46 595.59 401.59 595.63 403.66 595.63 404.79 595.61 405.97 595.64
XSP 407.59 595.61 410.76 595.59 412.55 595.75 413.68 595.81 415.01 595.82
XSP 416.34 595.84 417.44 595.88 418.54 595.9 419.4 595.9 420.73 595.92
XSP 421.63 595.91 422.48 595.93 423.25 595.95 424.14 595.96 425.49 595.97
XSP 426.57 595.94 427.65 595.97 428.49 595.94 429.96 596 431.85 596.01
XSP 432.9 596.03 434.15 596.02 435.8 596.02 436.62 596 437.6 595.97
XSP 438.58 596 439.6 596 440.51 595.98 441.89 595.98 443.24 595.96
XSP 444.2 595.98 445.01 595.95 446.04 595.95 446.9 595.94 447.69 595.96
XSP 448.56 595.93 449.4 595.94 450.58 595.94 451.85 595.89 455.58 595.93
XSP 456.43 595.9 457.51 595.89 459.99 595.89 460.87 595.87 461.63 595.86
XSP 462.76 595.86 464.52 595.87 466.33 595.83 467.41 595.82 469.44 595.81
XSP 470.32 595.78 471.08 595.78 471.84 595.77 472.62 595.73 473.76 595.72
XSP 474.53 595.75 476 595.74 476.82 595.72 477.69 595.75 478.79 595.77
XSP 480.42 595.75 481.44 595.82 482.43 595.84 483.34 595.88 484.24 595.91
XSP 485.7 595.95 486.99 596.01 488.02 596.08 488.83 596.09 489.71 596.16
XSP 490.67 596.18 492.06 596.25 493.18 596.29 494.05 596.34 495.13 596.39
XSP 495.89 596.41 496.75 596.47 497.61 596.5 498.41 596.55 499.25 596.58
XSP 500.24 596.64 501.56 596.68 502.4 596.69 503.18 596.72 503.98 596.74
XSP 504.78 596.77 505.9 596.76 506.7 596.77 508.8 596.77 509.6 596.76
XSP 510.84 596.74 511.77 596.73 512.53 596.71 513.77 596.67 514.59 596.65
XSP 515.45 596.62 516.51 596.57 517.41 596.55 522.12 596.32 524.54 596.24
XSP 525.5 596.21 527.06 596.15 528.35 596.12 529.26 596.11 530.39 596.16
XSP 531.66 596.08 532.74 596.11 534.46 596.13 535.42 596.12 536.56 596.14
XSP 537.62 596.12 538.89 596.1 541.23 596.1 542.68 596.09 544.02 596.06
XSP 545.15 596.02 547.45 596 548.44 596.04 549.74 596.04 550.55 596.03
XSP 551.56 596.03 554.59 595.96 556.1 595.96 557.33 595.92 558.36 595.92
XSP 559.57 595.87 560.51 595.86 561.32 595.84 562.26 595.85 563.31 595.85
XSP 564.15 595.82 565.36 595.83 566.71 595.8 567.66 595.79 568.46 595.8
XSP 569.3 595.79 570.41 595.78 571.43 595.76 572.27 595.74 573.03 595.71
XSP 573.79 595.69 574.55 595.68 576.08 595.68 588.89 595.85 619.6 597.41
XSP 629.06 597.89 665.64 599.86 695.48 600 696.4 600.1 697.16 600.21
XSP 698.83 600.49 700.73 600.82 701.8 601 707.64 602
*** xloc_rcoef rcoef
XRH 0 0.02 60.45 0.018 619.6 0.02
*** bankl bankr
XOX 60.45 619.6
*** expansion contraction
XFL 0.3 0.1
*** GIS Cut Line
XSL 306064.67 7523617.98 306127.39 7524322.84
*****
*****
*** station: 1955.854
***
***
*** cross section 5of 19 at original 5
*** XCID ZDI QDI
XIN 1955.854 0 0
*** location ch_l ch_r bec ninterp iHotC base_rate
XST 1955.84 252.06 334.12 0 0 0 0
*** station elevation data
XSP 0 602 2.78 601 3.79 600.71 5.57 600.16 32.76 597.45
XSP 50.01 595.81 51.95 595.71 53.14 595.66 54.23 595.5 71.61 595.34
XSP 73.56 595.34 74.93 595.32 75.97 595.31 77.15 595.32 78.26 595.29
XSP 81.75 595.29 83.19 595.3 84.63 595.3 85.82 595.25 87.71 595.27
XSP 90.03 595.27 92.08 595.37 93.92 595.26 95.33 595.27 96.83 595.29
XSP 98.03 595.28 99.44 595.26 100.47 595.23 101.88 595.21 109.31 595.25

```

XSP	112.23	595.25	116.18	595.22	117.8	595.23	118.81	595.25	120.23	595.24
XSP	121.28	595.23	122.33	595.21	123.39	595.25	124.53	595.23	125.54	595.23
XSP	128.65	595.25	129.85	595.24	131.44	595.23	132.54	595.25	133.55	595.23
XSP	134.56	595.24	136.86	595.25	138.24	595.24	139.41	595.26	142.11	595.24
XSP	143.36	595.25	144.4	595.24	145.98	595.26	147.26	595.25	149.03	595.25
XSP	150.12	595.26	152.5	595.3	153.89	595.34	155.08	595.34	156.67	595.33
XSP	159.49	595.36	160.84	595.37	161.9	595.36	163.7	595.39	164.74	595.38
XSP	166.15	595.37	167.32	595.4	169.06	595.45	171.52	595.55	172.73	595.61
XSP	173.79	595.66	174.95	595.71	175.96	595.74	177.03	595.78	178.23	595.79
XSP	180.16	595.8	181.65	595.8	183.73	595.74	185.09	595.66	186.45	595.61
XSP	187.7	595.54	189.21	595.47	190.96	595.4	192.67	595.41	193.82	595.39
XSP	195.32	595.36	197.45	595.35	198.96	595.37	200.46	595.42	201.48	595.45
XSP	202.99	595.54	204.43	595.61	206.41	595.64	207.44	595.69	209.91	595.8
XSP	211.04	595.87	212.11	595.95	213.12	596.02	214.19	596.08	215.49	596.18
XSP	217.74	596.33	219.1	596.44	220.12	596.47	221.38	596.52	222.58	596.58
XSP	223.97	596.64	225.13	596.68	226.19	596.73	227.55	596.75	229.58	596.79
XSP	231.03	596.84	232.08	596.85	233.28	596.88	234.41	596.9	235.65	596.91
XSP	236.85	596.94	238.36	596.94	239.37	596.98	240.43	596.98	241.63	597.01
XSP	242.91	597.05	244.44	596.99	245.71	597.03	247.13	597.05	248.33	597.07
XSP	249.44	597.04	251.21	597.07	252.35	597.01	253.57	597.06	255.75	597.08
XSP	257.05	597.06	258.17	597.03	260.12	597.06	261.17	597.07	262.21	597.11
XSP	263.51	597.1	264.55	597.12	265.83	597.17	268.01	597.17	269.21	597.21
XSP	270.35	597.17	271.49	597.18	272.88	597.23	274.03	597.22	275.36	597.23
XSP	276.76	597.22	278.09	597.24	279.38	597.25	280.6	597.23	282.78	597.27
XSP	283.99	597.29	285.1	597.28	286.99	597.32	288.25	597.32	289.91	597.36
XSP	291.62	597.37	292.87	597.39	294.31	597.4	295.32	597.41	296.42	597.43
XSP	297.66	597.47	299.18	597.49	300.2	597.49	301.71	597.5	302.77	597.52
XSP	304.04	597.5	305.19	597.52	306.25	597.52	307.38	597.53	308.62	597.53
XSP	309.76	597.47	310.85	597.51	311.99	597.52	313.08	597.5	314.51	597.53
XSP	315.54	597.53	316.69	597.59	317.91	597.58	319	597.6	320.06	597.59
XSP	321.35	597.6	324.89	597.6	325.9	597.58	327.14	597.58	328.69	597.59
XSP	329.76	597.61	330.81	597.59	333.34	597.59	334.54	597.6	337.25	597.6
XSP	338.35	597.61	339.91	597.63	340.94	597.64	342.51	597.64	344.4	597.67
XSP	345.56	597.65	346.71	597.62	347.92	597.67	349.11	597.66	350.61	597.67
XSP	352.5	597.69	353.68	597.67	356.07	597.67	357.22	597.68	358.42	597.72
XSP	359.49	597.74	360.64	597.73	362.9	597.69	363.94	597.72	365.34	597.71
XSP	366.37	597.66	367.66	597.68	370.05	597.66	371.13	597.67	372.2	597.67
XSP	373.39	597.64	374.98	597.62	376.5	597.66	377.56	597.68	379.13	597.66
XSP	380.19	597.64	381.51	597.65	383.06	597.65	384.26	597.54	385.34	597.55
XSP	386.4	597.42	387.46	597.36	389	597.31	390.3	597.31	391.35	597.32
XSP	392.41	597.34	393.47	597.38	394.51	597.4	395.81	597.46	396.87	597.53
XSP	398.26	597.57	399.44	597.59	400.53	597.62	401.68	597.66	403.42	597.68
XSP	404.69	597.7	405.96	597.7	407.36	597.69	408.4	597.62	409.56	597.53
XSP	410.6	597.46	411.66	597.42	412.71	597.36	413.75	597.4	415.03	597.43
XSP	416.29	597.36	417.45	597.31	418.5	597.25	419.68	597.24	420.86	597.18
XSP	421.95	597.24	423.12	597.19	424.2	597.09	425.28	597.07	426.49	597.03
XSP	427.58	596.96	428.8	596.68	430.14	596.46	431.24	596.22	432.34	596.01
XSP	433.58	595.88	434.7	595.74	435.8	595.59	437.14	595.51	438.5	595.44
XSP	439.6	595.28	440.7	595.18	441.79	595.15	443.74	595.11	444.83	595.14
XSP	445.93	595.15	447.27	595.21	448.36	595.25	449.46	595.3	450.56	595.37
XSP	451.79	595.41	452.89	595.47	453.97	595.5	455.44	595.58	456.53	595.61
XSP	457.6	595.63	458.81	595.64	459.9	595.62	461.22	595.62	462.68	595.64
XSP	464.42	595.63	466.58	595.63	469.28	595.61	470.38	595.61	471.44	595.64
XSP	473.02	595.62	474.16	595.61	475.27	595.61	476.39	595.59	477.52	595.61
XSP	480.11	595.61	481.14	595.64	482.34	595.68	484	595.68	485.79	595.69
XSP	487.39	595.69	488.99	595.71	491.07	595.72	492.35	595.76	493.6	595.77
XSP	494.72	595.81	495.8	595.81	497.23	595.84	498.46	595.86	499.86	595.89
XSP	500.91	595.9	502.15	595.92	503.5	595.95	504.78	595.99	505.81	596.01
XSP	507.27	596.02	508.46	596.04	509.68	596.05	510.82	596.05	511.88	596.09
XSP	514.33	596.09	515.59	596.11	519	596.11	520.68	596.14	522.32	596.15
XSP	523.38	596.15	524.88	596.17	527.11	596.19	528.17	596.22	529.23	596.24
XSP	531.26	596.25	532.57	596.23	533.91	596.25	534.95	596.24	536.2	596.26
XSP	537.25	596.29	538.7	596.29	539.77	596.31	540.97	596.32	542.05	596.32
XSP	543.27	596.34	544.55	596.32	545.59	596.31	547.86	596.31	548.91	596.32
XSP	550.45	596.32	552.55	596.31	553.76	596.3	554.97	596.31	556.75	596.31
XSP	558.93	596.32	561.03	596.29	562.16	596.27	563.21	596.29	564.88	596.3


```

XSP    566.24    596.29    567.45    596.27    569.06    596.25    570.2    596.23    572.75    596.24
XSP    574.6     596.24    576.69    596.23    577.73    596.23    579.56    596.21    580.93    596.22
XSP    582.04    596.21    583.78    596.2    584.88    596.2    585.92    596.22    587.52    596.22
XSP    588.73    596.2    589.76    596.22    591.28    596.23    593.12    596.22    594.32    596.22
XSP    598.02    596.2    599.56    596.22    600.77    596.22    602.95    596.24    604    596.26
XSP    605.2     596.25    607.47    596.25    608.79    596.24    609.81    596.23    611.81    596.25
XSP     614     596.25    615.48    596.24    616.93    596.26    621.88    596.26    623.11    596.27
XSP    625.82    596.27    626.97    596.25    628.17    596.24    629.62    596.22    630.66    596.2
XSP    631.78    596.17    632.86    596.15    634.17    596.16    635.27    596.12    636.69    596.12
XSP    640.4     596.15    641.51    596.15    642.66    596.16    645.92    596.15    646.96    596.15
XSP    648.06    596.13    649.93    596.07    651.03    596.06    652.48    596.07    654.62    596.03
XSP    656.06    595.99    657.1    595.98    658.13    595.94    659.58    595.94    660.93    595.91
XSP    662.58    595.89    663.74    595.84    665.09    595.83    666.26    595.81    667.64    595.79
XSP    669.04    595.78    670.23    595.74    671.86    595.73    672.9    595.7    674.36    595.69
XSP    675.83    595.67    676.9    595.64    678.41    595.64    679.47    595.65    680.98    595.64
XSP    682.3     595.67    683.84    595.61    684.97    595.59    703.49    595.57    704.54    595.56
XSP    706.2     595.59    707.26    595.64    708.87    595.66    753.83    597.45    755.21    597.47
XSP    757.7     597.49    766.19    597.39    767.2    597.42    768.34    597.41    783.13    597.93
XSP    843.51    599.99    845.74    600    847.15    600.39    848.39    601    851.26    602
*** xloc_rcoef rcoef
XRH     0      0.02    32.76    0.018    783.13    0.02
*** bankl bankr
XOX    32.76    783.13
*** expansion contraction
XFL     0.3     0.1
*** GIS Cut Line
XSL    305815.94 7523642.14 305804.25 7524493.32
*****
*****
*** station: 1684.386
***
***
*** cross section 6of 19at original 6
*** XCID ZDI QDI
XIN    1684.386 0 0
*** location ch_l ch_r bec ninterp iHotC base_rate
XST    1684.37 264.33 231.98 0 0 0 0
*** station elevation data
XSP     0      602    3.73    601    4.77    600.7    7.23    600    40.94    597.91
XSP    66.8     596.31    69.98    596.12    71.59    596.01    73.29    595.87    74.52    595.76
XSP    76.37    595.69    77.77    595.68    79.34    595.65    80.35    595.64    81.4    595.67
XSP    83.46    595.66    88.77    595.54    90.51    595.45    92.55    595.34    95.84    595.32
XSP    97.59    595.26    99.38    595.23    100.89    595.22    103.16    595.21    105.13    595.14
XSP   106.42    595.12    110.43    595.12    113.69    595.04    116.47    595.04    119.48    595.06
XSP   121.7     595.03    124.17    595.01    125.65    594.95    128.63    594.91    130.14    594.9
XSP   135.31    594.89    136.55    594.87    138.53    594.83    140.86    594.84    143.1    594.82
XSP   144.34    594.82    145.4    594.83    148.57    594.83    150.87    594.81    153.86    594.8
XSP   155.05    594.78    156.09    594.78    158.36    594.8    161.42    594.74    163.92    594.72
XSP    168     594.72    169.63    594.74    170.93    594.73    174.38    594.74    176.11    594.73
XSP   177.13    594.74    180.74    594.74    181.86    594.73    185.85    594.75    187.65    594.74
XSP   189.41    594.7    190.54    594.74    194.73    594.74    195.75    594.73    197.67    594.72
XSP   201.8     594.72    202.91    594.74    204.66    594.75    205.67    594.77    209.25    594.77
XSP   210.57    594.75    211.78    594.77    214.01    594.8    215.15    594.79    216.86    594.79
XSP   219.52    594.81    221.48    594.83    222.56    594.81    223.71    594.82    225.67    594.79
XSP   226.82    594.79    228.84    594.81    230.17    594.83    231.99    594.84    234.31    594.86
XSP   238.54    594.86    240.35    594.9    241.94    594.91    243.9    594.96    245.67    595
XSP   246.85    594.99    248.62    595.04    249.86    595.05    251.71    595.07    253.55    595.07
XSP   256.73    595.09    258.42    595.12    261.04    595.13    264.07    595.09    265.89    595.12
XSP   267.77    595.12    269.62    595.18    271.41    595.19    272.47    595.2    274.26    595.21
XSP   275.42    595.26    277.05    595.3    278.15    595.31    279.81    595.34    281.45    595.41
XSP   283.16    595.44    284.21    595.47    285.37    595.49    286.39    595.51    288    595.56
XSP   292.42    595.67    293.78    595.7    294.8    595.73    296.98    595.74    298.02    595.76
XSP   301.8     595.78    302.9    595.79    306.77    595.85    307.79    595.89    311.3    595.93
XSP   314.61    595.95    316.87    595.95    318.53    595.99    319.67    596.01    321.43    596.07
XSP   322.44    596.09    324.32    596.14    326.19    596.16    328.07    596.22    329.47    596.23
XSP   333.05    596.28    334.16    596.3    337.06    596.36    338.72    596.38    340.41    596.41

```

```

XSP 342.72 596.41 344.35 596.44 345.41 596.48 349.09 596.5 351.44 596.52
XSP 354.18 596.55 359.57 596.58 361.47 596.58 363.1 596.64 365.28 596.64
XSP 366.36 596.66 367.8 596.67 368.82 596.68 371.93 596.68 373.34 596.7
XSP 375.53 596.68 377.23 596.67 380.68 596.61 381.94 596.57 382.95 596.54
XSP 384.65 596.5 386.48 596.42 388.12 596.36 389.87 596.3 391.45 596.26
XSP 393.04 596.18 395.06 596.06 396.99 595.94 398.14 595.86 399.91 595.75
XSP 402.37 595.69 404.72 595.64 405.83 595.6 407.29 595.57 408.57 595.6
XSP 409.93 595.6 411.69 595.63 412.92 595.67 414.49 595.68 416.12 595.79
XSP 418.12 595.88 419.79 595.94 421.03 596.02 422.78 596.11 428.79 596.25
XSP 430.57 596.3 432.24 596.33 434.65 596.36 436.4 596.39 438.33 596.38
XSP 440.09 596.4 443.47 596.45 445.26 596.49 447.84 596.54 449.12 596.54
XSP 450.91 596.63 457.09 595.81 462.4 597.07 464.11 597.03 465.72 596.84
XSP 467.45 596.43 468.47 596.17 470.61 595.7 472.6 595.49 476.21 595.29
XSP 480.83 595.23 482.69 595.22 484.36 595.15 486.37 595.13 488.84 595.07
XSP 490.04 595.06 491.84 594.98 493.61 594.91 495.57 594.84 496.75 594.82
XSP 498.71 594.8 500.24 594.81 501.9 594.8 504.02 594.84 506.42 594.86
XSP 507.84 594.9 509.68 594.91 511.34 594.99 512.64 595.02 513.66 595.04
XSP 514.7 595.07 518.48 595.22 520.74 595.32 524.79 595.45 526.84 595.47
XSP 528.61 595.5 530.37 595.51 531.62 595.55 532.63 595.56 534.16 595.56
XSP 538.52 595.53 539.55 595.53 543.36 595.42 545.12 595.43 546.65 595.41
XSP 548.41 595.36 550.68 595.3 551.94 595.25 552.95 595.24 554.66 595.2
XSP 556.47 595.15 557.75 595.14 559.26 595.11 561.02 595.01 562.75 594.94
XSP 564.71 594.89 566.93 594.72 567.95 594.66 568.96 594.57 570.98 594.32
XSP 573.08 593.93 574.63 593.63 576.35 593.37 578.17 593.19 580 593.02
XSP 581.83 592.89 588.91 592.73 589.98 592.72 591.73 592.69 594.22 592.67
XSP 596.12 592.65 597.89 592.54 599.62 592.42 601.67 592.55 603.35 593.63
XSP 605.31 594.87 606.45 594.87 608.14 594.92 609.75 594.95 611.72 595.03
XSP 612.83 595.16 614.06 595.26 615.13 595.31 616.8 595.46 618.86 595.56
XSP 619.87 595.58 620.99 595.6 622.05 595.61 623.92 595.62 625.21 595.63
XSP 626.99 595.66 628.78 595.7 629.81 595.71 631.05 595.73 632.99 595.8
XSP 634.98 595.83 636.77 595.82 637.89 595.84 639.15 595.8 640.84 595.78
XSP 642.62 595.73 644.46 595.7 645.78 595.66 647.45 595.67 648.55 595.68
XSP 650.13 595.67 651.72 595.73 653.51 595.81 654.6 595.87 656.21 596.1
XSP 657.28 596.17 659.06 596.43 660.77 596.73 662.52 596.85 664.17 596.83
XSP 667.8 596.77 668.93 596.78 670.55 596.74 672.25 596.64 673.29 596.57
XSP 695.13 596.56 712.73 596.56 733.41 600 735.52 600.72 737.75 601.42
XSP 739.26 602
*** xloc_rcoef rcoef
XRH 0 0.02 40.94 0.018 695.13 0.02
*** bankl bankr
XOX 40.94 695.13
*** expansion contraction
XFL 0.3 0.1
*** GIS Cut Line
XSL 305574.84 7523626.27 305522.24 7524363.66
*****
*****
*** station: 1413.655
***
***
*** cross section 7of 19at original 7
*** XCID ZDI QDI
XIN 1413.655 0 0
*** location ch_l ch_r bec ninterp iHotC base_rate
XST 1413.64 164.84 124.84 0 0 0 0
*** station elevation data
XSP 0 602 1.29 601.49 3.07 600 17.3 598.45 30.53 597.01
XSP 51.26 594.39 54.87 594.28 56.77 593.89 58.48 593.46 60.19 593.01
XSP 61.86 592.54 63.51 592.14 65.28 591.84 66.3 591.78 68.13 591.57
XSP 69.61 591.45 70.69 591.35 83.08 590.28 85.01 590.38 86.78 590.65
XSP 87.88 590.73 89.49 590.74 90.6 590.72 91.94 590.65 93.49 590.52
XSP 95.41 590.49 96.42 590.56 97.94 590.7 99.58 590.87 101.17 590.97
XSP 103.9 591.12 105.12 591.13 106.18 591.18 107.97 591.25 110.68 591.28
XSP 112.4 591.21 114.3 591 116.03 590.84 118.07 590.79 121.61 590.79
XSP 123.35 590.71 125.09 590.69 126.16 590.69 127.53 590.71 129.54 590.73
XSP 131.31 590.65 132.84 590.62 133.98 590.58 135.79 590.49 136.8 590.46

```

```

XSP 137.87 590.44 139.53 590.47 141.28 590.32 144.54 590.22 146.61 589.93
XSP 147.62 589.75 149.28 589.42 150.95 589.28 151.97 589.32 153.76 589.29
XSP 155.43 589.43 156.49 589.65 157.55 589.81 159.17 590.04 160.77 590.14
XSP 162.39 590.16 164.13 589.98 165.75 589.93 166.9 589.97 167.91 589.98
XSP 169.57 589.99 171.43 590.04 173.25 590.24 175.79 590.1 177.5 590.23
XSP 179.28 590.26 181.04 590.34 182.27 590.43 183.9 590.53 185.68 590.54
XSP 187.3 590.58 188.43 590.82 189.52 590.99 191.11 591.29 192.71 591.43
XSP 193.75 591.3 195.29 591.53 196.32 591.73 198.1 592.4 199.28 592.78
XSP 200.94 593.05 202.72 593.16 204.47 593.12 205.52 593 206.57 592.77
XSP 208.43 592.5 210.41 592.33 211.45 592.38 213.32 592.01 214.5 591.86
XSP 216.38 591.56 218.05 591.52 219.15 591.56 220.87 591.17 223.1 591.14
XSP 224.86 591.43 225.9 591.7 227.01 591.76 229.01 591.72 231.07 591.72
XSP 233.04 591.36 234.05 591.24 236.19 591.38 238.01 591.28 239.66 591.23
XSP 241.29 591.28 243.06 591.32 244.71 591.69 246.3 592.75 247.97 593.22
XSP 249.67 593.66 252.49 593.8 253.65 593.89 254.98 593.9 256.75 594.02
XSP 257.76 594.02 259.49 594.08 261.21 594.11 263.34 594.08 264.92 594.07
XSP 265.93 594.05 267.89 594.02 268.95 593.99 270.05 593.94 271.73 593.81
XSP 273.57 593.68 275.58 593.27 277.44 592.97 278.98 592.93 280.69 592.97
XSP 282.38 593 284.17 592.93 286.05 592.95 287.1 592.92 289.05 592.91
XSP 290.81 592.91 292.66 592.78 293.86 592.55 295.56 592.19 297.49 591.91
XSP 298.74 591.85 300.42 591.88 303.02 591.85 304.38 591.83 305.39 591.83
XSP 307.22 591.8 312.71 591.77 319.48 591.77 321.25 591.76 322.6 591.72
XSP 324.34 591.69 326.33 591.72 328.03 591.79 329.74 591.82 331.27 591.83
XSP 333.09 591.78 334.69 591.76 336.53 591.79 338.1 591.88 339.89 592.07
XSP 341.57 592.08 342.71 592.08 343.74 592.13 345.93 592.16 347.82 592.17
XSP 348.99 592.2 352.31 592.25 353.32 592.24 355.28 592.29 358.15 592.29
XSP 359.19 592.26 360.39 592.22 362.02 592.13 365.04 592.02 366.77 592
XSP 368.72 592 369.74 591.98 371.41 591.92 373.17 591.82 375.43 591.78
XSP 377.02 591.84 378.26 591.84 379.41 591.87 381.13 591.93 383.31 592.14
XSP 385.26 592.45 386.48 592.67 388.66 593.07 390.36 593.45 392.07 593.75
XSP 393.29 594.07 394.51 594.31 396.27 594.76 398.2 595.13 399.74 595.29
XSP 401.13 595.42 404.23 595.65 405.53 595.7 407.71 595.76 409.47 595.83
XSP 412.45 595.83 414.07 595.86 415.98 595.84 418.46 595.82 420.17 595.84
XSP 422.09 595.91 423.54 596 425.53 596.07 426.99 596.08 429.16 596.16
XSP 430.42 596.2 432.68 596.22 436.66 596.22 437.9 596.17 439.41 596.13
XSP 440.91 596.04 442.83 595.87 444.02 595.85 445.3 595.71 447.28 595.62
XSP 448.75 595.56 451.42 595.54 452.89 595.51 455.84 595.58 457.01 595.6
XSP 458.97 595.65 460.51 595.68 462.23 595.77 463.27 595.78 465.01 595.83
XSP 466.19 595.86 468.07 595.89 470.25 595.98 471.67 596.03 473.43 596.1
XSP 474.64 596.12 476.08 596.16 478.73 596.19 480.32 596.2 482.61 596.27
XSP 483.68 596.31 485.38 596.28 487.27 596.31 489.79 596.28 491.46 596.3
XSP 493.13 596.26 494.17 596.26 495.39 596.22 496.4 596.2 497.6 596.15
XSP 498.8 596.13 499.99 596.1 501.2 596.08 502.83 596.04 504.86 596
XSP 506.49 595.96 507.5 595.92 509.51 595.87 510.92 595.82 512.78 595.74
XSP 514.84 595.6 515.87 595.57 517.71 595.51 519.77 595.35 520.82 595.29
XSP 522.71 595.21 523.98 595.17 529.2 594.87 530.32 594.86 532.21 594.84
XSP 534.95 594.63 535.99 594.48 537.04 594.14 538.28 593.62 539.3 593.34
XSP 540.52 593.1 541.96 592.98 543.2 592.93 544.83 592.82 546.27 592.76
XSP 547.31 592.84 548.34 592.8 550.12 592.77 551.72 592.75 553.36 592.5
XSP 554.89 592.1 556.62 592.01 558.4 591.78 559.41 591.82 561.55 591.95
XSP 563.7 591.93 565.02 591.79 566.07 591.74 567.11 591.64 568.77 591.47
XSP 570.68 591.45 573.16 591.48 575.02 591.69 576.64 591.71 579.13 591.77
XSP 580.96 591.78 583.04 591.71 584.7 591.8 585.87 591.88 587.98 591.95
XSP 589.23 591.97 591.2 591.98 593.97 591.98 596.28 592.01 597.98 592.02
XSP 600.43 592.02 602.26 592.09 604.34 592.13 607.13 592.13 608.8 592.12
XSP 610.97 592.08 612.95 592.09 614.81 592.09 615.9 592.08 617.86 592.1
XSP 619.28 592.16 620.37 592.19 621.47 592.23 631.02 594.43 640.91 595.92
XSP 653.51 597.71 669.62 600 670.81 600.34 672.69 601 676.13 602
*** xloc_rcoef rcoef
XRH 0 0.02 17.3 0.018 653.51 0.02
*** bankl bankr
XOX 17.3 653.51
*** expansion contraction
XFL 0.3 0.1
*** GIS Cut Line
XSL 305311.12 7523647.65 305303.85 7524323.74

```

```

*****
*****
*** station: 1253.483
***
***
*** cross section 8of 19at original 8
*** XCID ZDI QDI
XIN 1253.483 0 0
*** location ch_l ch_r bec ninterp iHotC base_rate
XST 1253.47 133.74 155.38 0 0 0 0
*** station elevation data
XSP 0 602 2.01 601.28 2.88 601 3.68 600.76 4.54 600.51
XSP 5.31 600 17.24 598.73 18.03 598.64 19.12 598.61 19.9 598.48
XSP 27.4 597.67 36.07 596.85 36.9 596.12 37.76 595.51 38.81 595.21
XSP 39.7 595.1 40.6 594.97 97.43 589.84 98.23 589.82 99.15 589.67
XSP 99.92 589.49 100.82 589.29 101.61 589.18 102.49 589.03 103.27 588.95
XSP 105.69 588.92 106.47 589.12 107.29 589.36 108.47 590.23 109.44 591.56
XSP 109.91 592.32 110.84 592.82 111.77 593.18 112.58 592.99 113.43 591.92
XSP 114.68 591.29 118.77 591.69 119.57 591.73 120.95 591.73 121.76 591.72
XSP 122.57 591.66 123.57 591.45 124.37 591.34 125.15 591.29 125.95 591.28
XSP 126.94 591.22 127.93 591.21 128.72 591.23 129.5 591.35 130.69 591.47
XSP 131.7 591.72 132.51 592.18 133.32 592.76 134.14 593.16 134.95 593.35
XSP 135.77 593.47 136.58 593.47 137.38 593.51 138.18 593.58 139.4 593.63
XSP 140.8 593.55 141.59 593.49 142.38 593.45 143.18 593.45 143.97 593.48
XSP 144.76 593.53 145.55 593.56 146.55 593.6 147.54 593.63 148.54 593.67
XSP 149.33 593.71 150.29 593.72 151.18 593.74 152.13 593.79 153.33 593.79
XSP 154.59 593.84 155.5 593.81 156.58 593.81 157.44 593.8 158.31 593.78
XSP 159.36 593.78 160.45 593.67 161.24 593.56 162.1 593.57 162.95 593.6
XSP 164.21 593.63 165.17 593.66 165.94 593.67 166.76 593.7 167.65 593.69
XSP 168.49 593.72 170.3 593.75 171.41 593.73 172.75 593.74 175.46 593.77
XSP 177.02 593.81 178.42 593.84 179.32 593.85 180.19 593.9 182.19 593.9
XSP 183.31 593.91 184.2 593.92 185.3 593.89 186.21 593.89 187.08 593.87
XSP 190 593.87 190.87 593.91 191.77 593.93 193.11 593.95 194.23 593.94
XSP 195.54 593.95 196.4 593.93 199.23 593.94 200.31 593.92 201.62 593.9
XSP 203.4 593.89 204.29 593.88 205.17 593.89 207.17 593.89 208.26 593.92
XSP 209.36 593.92 210.24 593.88 211.13 593.86 212.01 593.87 212.95 593.86
XSP 213.86 593.87 214.93 593.87 216 593.9 216.9 593.89 217.8 593.92
XSP 219.15 593.92 220.23 593.9 221.12 593.88 222 593.9 223.12 593.9
XSP 224.22 593.93 225.12 593.92 227.78 593.96 228.9 593.95 229.75 593.94
XSP 231.09 593.93 231.98 593.91 233.11 593.88 233.97 593.88 235.09 593.84
XSP 235.95 593.85 237.09 593.84 237.95 593.83 239.29 593.83 240.57 593.51
XSP 241.45 593.73 242.56 593.86 244.93 593.88 246.25 593.88 247.1 593.9
XSP 249.49 593.9 250.32 593.92 251.81 593.9 252.93 593.91 253.75 593.93
XSP 254.62 593.92 255.87 593.9 257.01 593.91 257.81 593.9 259.97 593.91
XSP 260.99 593.9 261.9 593.87 262.97 593.89 264.03 593.85 265.12 593.83
XSP 266.15 593.83 267.64 593.86 268.94 593.84 270.26 593.84 271.56 593.87
XSP 274.17 593.87 275.03 593.89 275.91 593.89 277.39 593.9 278.47 593.92
XSP 279.73 593.93 280.61 593.92 281.88 593.93 284.48 593.93 286.23 593.9
XSP 287.04 593.93 287.95 593.91 288.81 593.93 291.58 593.93 292.49 593.94
XSP 293.32 593.92 295.05 593.92 296.14 593.93 297.45 593.89 300.36 593.89
XSP 301.64 593.91 303.21 593.98 304.54 593.99 305.39 594 306.98 594.04
XSP 308.12 594 315.08 594 316.31 593.99 318.37 594 320.82 593.86
XSP 321.83 593.82 325.1 593.8 325.92 593.78 326.74 593.77 327.82 593.75
XSP 328.67 593.72 329.51 593.65 332.08 593.55 333.15 593.53 334.41 593.49
XSP 335.92 593.42 336.77 593.41 337.62 593.38 338.49 593.34 339.34 593.31
XSP 341.06 593.29 342.35 593.28 343.19 593.29 345.6 593.29 346.62 593.26
XSP 347.44 593.27 349.93 593.24 351.18 593.2 352.01 593.19 354.31 593.17
XSP 355.35 593.14 356.61 593.13 357.45 593.16 358.31 593.2 359.36 593.26
XSP 360.2 593.29 361.05 593.33 361.89 593.36 364 593.38 364.84 593.38
XSP 365.7 593.46 366.55 593.38 367.59 593.35 371.78 593.35 373.22 593.41
XSP 374.27 593.42 376.99 593.55 378.22 593.62 379.26 593.65 380.28 593.69
XSP 381.1 593.72 381.91 593.74 382.74 593.75 383.82 593.73 384.9 593.74
XSP 386.25 593.73 387.04 593.72 388.24 593.68 389.04 593.66 390.06 593.64
XSP 391.28 593.52 392.13 593.54 396.05 593.54 396.87 593.57 397.92 593.57
XSP 398.73 593.63 399.56 593.64 401.02 593.72 401.86 593.75 402.71 593.8
XSP 403.69 593.85 404.91 593.96 405.95 594.02 406.97 594.1 408.2 593.93

```

```

XSP 409.01 593.89 410.83 593.73 412.05 593.6 413.29 593.5 414.12 593.44
XSP 415.15 593.33 416.17 593.24 417.02 593.18 417.84 593.13 418.67 593.07
XSP 420.32 592.97 421.15 592.93 421.99 592.87 422.81 592.8 425.05 592.56
XSP 425.86 592.48 426.69 592.4 428.33 592.28 429.15 592.23 430.22 592.22
XSP 431.03 592.19 432.11 592.19 434.6 592.16 435.46 592.14 436.75 592.15
XSP 437.58 592.26 438.39 592.21 439.26 592.2 440.49 592.15 441.75 592.14
XSP 443.63 592.07 445.98 592.07 447.68 592.06 448.51 592.07 449.37 592.07
XSP 450.4 592.09 452.52 592.14 453.76 592.2 455.04 592.28 455.89 592.31
XSP 457.59 592.41 458.43 592.49 459.68 592.62 460.73 592.77 461.58 592.9
XSP 462.65 593.16 463.9 593.44 464.94 593.7 465.79 593.88 466.62 594.14
XSP 467.88 594.3 468.9 594.18 470.17 594.02 471.23 593.84 472.3 593.68
XSP 473.13 593.52 473.93 593.34 474.93 593.17 476.38 592.92 477.18 592.78
XSP 477.99 592.65 479.01 592.53 480.46 592.31 481.52 592.18 482.77 592.04
XSP 484.03 591.88 485.08 591.78 486.37 591.64 487.64 591.52 490.35 591.29
XSP 491.23 591.24 492.26 591.2 493.11 591.18 494.16 591.14 495.43 591.13
XSP 496.48 591.1 497.54 591.13 498.39 591.15 499.21 591.24 500.42 590.97
XSP 501.82 590.95 503.01 590.95 503.81 590.94 504.61 590.89 506.53 590.89
XSP 507.48 590.85 508.77 590.83 509.85 590.81 510.75 590.83 511.62 590.81
XSP 512.48 590.82 513.3 590.81 514.92 590.77 515.76 590.76 516.59 590.77
XSP 517.4 590.74 518.23 590.76 519.87 590.77 523.76 590.77 524.76 590.73
XSP 525.79 590.68 527.19 590.48 529.42 589.78 530.23 589.88 531.04 590.12
XSP 531.87 590.2 532.67 590.34 533.72 590.65 534.56 590.86 535.4 590.86
XSP 536.18 590.89 537 590.92 538.05 590.97 539.08 590.99 540.3 591.03
XSP 541.11 591.08 541.98 591.1 542.99 591.26 544.18 591.38 544.97 591.52
XSP 545.78 591.72 546.65 591.81 547.8 592.03 549.62 592.48 550.47 592.67
XSP 551.29 592.86 552.23 593.11 553 593.31 554.39 593.72 555.17 593.91
XSP 556.09 594.17 557.28 594.68 558.52 595.24 559.51 595.57 560.39 595.77
XSP 561.29 595.89 562.16 596 563.03 596.02 564.97 596.11 565.77 596.16
XSP 566.87 596.18 568.5 596.26 571.43 596.3 572.79 596.31 574.35 596.36
XSP 575.29 596.4 576.54 596.44 578.64 596.46 579.77 596.51 580.8 596.52
XSP 581.71 596.57 582.67 596.62 583.43 596.64 584.64 596.71 585.57 596.7
XSP 604.6 599.34 606.64 599.61 609.21 600 611 601 611.85 601.47
XSP 612.58 602
*** xloc_rcoef rcoef
XRH 0 0.02 27.4 0.018 604.6 0.02
*** bankl bankr
XOX 27.4 604.6
*** expansion contraction
XFL 0.3 0.1
*** GIS Cut Line
XSL 305148.07 7523664.45 305190.94 7524275.53
*****
*** station: 1131.127
***
***
*** cross section 9of 19at original 9
*** XCID ZDI QDI
XIN 1131.127 0 0
*** location ch_l ch_r bec ninterp iHotC base_rate
XST 1131.11 26.46 182.52 0 0 0 0
*** station elevation data
XSP 0 602 6.65 600 9.57 599.59 20.34 599.26 29.82 598.71
XSP 80.13 595.8 80.92 595.84 90.72 595.28 92.05 595.12 93.53 595.02
XSP 95.09 594.9 95.97 594.81 97.16 594.76 97.96 594.62 98.76 594.56
XSP 100.37 594.47 101.16 594.42 101.94 594.4 103.37 594.3 104.79 594.3
XSP 109.34 594.29 110.22 594.28 111.18 594.26 112.92 594.25 114.14 594.22
XSP 115.14 594.2 116.48 594.18 121.88 592.63 123.07 592.58 123.96 592.56
XSP 125.58 592.28 127.06 592.11 127.9 592 128.66 591.92 130.86 591.71
XSP 132.61 591.52 133.41 591.43 134.75 591.3 135.59 591.24 138.66 591.03
XSP 139.63 590.92 141.44 590.81 143.75 590.66 144.76 590.62 145.8 590.57
XSP 146.88 590.53 148.27 590.52 149.07 590.47 150.43 590.39 153.12 590.15
XSP 154.09 590.06 155.18 590.02 156.19 589.98 157.04 589.98 158.49 590.06
XSP 159.75 590.18 161.25 590.21 162.58 590.24 163.87 590.29 167.31 590.29
XSP 168.15 590.32 169.2 590.35 169.98 590.41 171.21 590.52 172.63 590.75
XSP 174.02 590.93 175.28 591.13 176.68 591.41 179.33 592.06 180.93 592.33

```

```

XSP 181.75 592.44 182.88 592.6 183.73 592.66 186.22 592.75 187.07 592.74
XSP 188 592.72 188.84 592.71 190.49 592.67 191.53 592.67 192.29 592.68
XSP 193.87 592.72 194.69 592.75 196.05 592.87 197.44 593.09 198.22 593.29
XSP 199.16 593.51 200 593.76 200.89 593.93 202.34 594.14 203.18 594.26
XSP 204.07 594.32 204.88 594.4 205.83 594.48 206.84 594.54 208.65 594.67
XSP 210.07 594.71 210.89 594.71 212.19 594.76 213.92 594.82 215.09 594.83
XSP 216.79 594.9 217.71 594.93 218.61 594.94 219.7 594.95 220.6 594.98
XSP 221.92 595.01 222.8 595.04 224.19 595.12 227.58 595.12 228.72 595.17
XSP 230.31 595.2 231.67 595.23 233.05 595.22 234.18 595.22 235.08 595.23
XSP 236.19 595.25 238.68 595.28 240 595.28 241.11 595.31 242.23 595.31
XSP 243.79 595.36 244.89 595.41 246.26 595.4 248.03 595.42 249.12 595.45
XSP 250.45 595.45 252.83 595.44 255.16 595.39 256.2 595.38 257.67 595.38
XSP 258.5 595.44 259.56 595.47 264.25 595.5 265.81 595.47 267.36 595.36
XSP 268.7 595.17 269.57 594.98 271.34 594.4 272.67 593.9 274.23 593.65
XSP 275.14 593.55 276.02 593.47 277.51 593.4 279.29 593.36 280.35 593.4
XSP 281.5 593.4 282.55 593.42 283.44 593.46 284.54 593.48 286.51 593.53
XSP 287.9 593.53 288.75 593.57 289.66 593.6 291 593.64 293.09 593.66
XSP 294.72 593.66 295.59 593.68 296.92 593.7 298.29 593.7 299.39 593.64
XSP 300.28 593.64 301.25 593.65 302.1 593.62 303.21 593.59 304.55 593.54
XSP 305.67 593.52 306.61 593.5 308.33 593.41 309.24 593.4 311.04 593.3
XSP 313.03 593.25 314.15 593.19 316.42 593.14 319.02 593.06 320.8 593
XSP 321.69 593 323.86 592.93 325.17 592.87 326.58 592.86 327.43 592.84
XSP 328.34 592.81 329.22 592.8 330.53 592.74 331.93 592.68 332.8 592.65
XSP 333.86 592.65 334.7 592.62 336.37 592.6 337.43 592.67 338.25 592.56
XSP 339.07 592.53 339.88 592.52 340.9 592.47 342.13 592.47 343.76 592.41
XSP 344.57 592.4 346.25 592.36 347.18 592.35 348.04 592.33 350.45 592.29
XSP 352.93 592.2 354.82 592.15 355.67 592.12 356.71 592.1 357.55 592.09
XSP 358.6 592.04 359.43 592.03 360.26 592 361.29 591.94 362.52 591.91
XSP 363.34 591.93 364.76 591.96 365.55 591.99 367.56 592.02 369.13 591.96
XSP 371.08 591.86 372.64 591.8 374.17 591.76 375.46 591.76 377.6 591.82
XSP 378.92 591.86 379.99 591.93 382.41 592.04 383.3 592.1 384.88 592.22
XSP 385.7 592.31 386.58 592.4 388.04 592.53 389.61 592.63 390.6 592.66
XSP 392.32 592.7 394.44 592.53 397.2 592.9 398.96 592.87 400.18 592.71
XSP 401.55 593.02 403.04 593.13 403.85 593.14 404.78 593.08 406.07 593.15
XSP 407.17 593.15 409.03 593.12 410.12 592.86 411.59 592.38 412.85 592.25
XSP 414.09 592.24 414.99 592.24 416.42 592.21 417.32 592.08 418.24 591.8
XSP 419.65 592.06 420.43 592.11 421.93 591.99 423.26 591.67 424.18 591.67
XSP 425.63 591.8 427.09 592.26 427.99 592.6 429.44 593.54 430.74 594.3
XSP 431.84 595.19 433.69 595.76 434.98 595.76 435.91 595.7 437.03 595.62
XSP 439.25 595.52 440.34 595.26 441.89 594.48 442.71 593.5 444.2 593.04
XSP 445.97 593.14 446.82 593.57 447.7 593.8 448.97 594.29 450.36 595.23
XSP 451.16 595.28 452.44 595.35 454.56 595.35 455.61 595.34 457.12 595.38
XSP 458.17 595.39 459.39 595.5 461.46 595.51 462.82 595.58 464.4 595.63
XSP 466.16 595.62 467.58 595.64 468.63 595.64 481.93 595.39 483.14 595.39
XSP 484.13 595.36 485.14 595.35 486.93 595.32 488.82 595.38 489.71 595.36
XSP 490.59 595.3 493.34 595.13 494.14 595.1 494.95 595.1 495.76 595.07
XSP 497 595.02 497.97 594.99 498.79 594.97 500.49 594.91 501.45 594.92
XSP 502.87 594.97 503.9 594.98 506.41 594.98 507.71 594.97 508.55 594.98
XSP 509.77 595 511.26 595.03 512.07 595.08 516.46 595.01 518.82 595.03
XSP 520.82 595.04 521.97 595.07 522.81 595.08 523.65 595.08 524.74 595.1
XSP 526.5 595.18 528.06 595.18 530.59 595.2 531.4 595.24 532.23 595.23
XSP 533.39 595.22 534.91 595.27 536.54 595.31 538.17 595.31 541.39 595.34
XSP 542.19 595.37 543.07 595.43 543.89 595.4 545.28 595.41 547.36 595.43
XSP 548.43 595.45 549.2 595.46 550.13 595.47 552.11 595.55 554.16 595.52
XSP 556.12 595.53 557.65 595.58 558.73 595.7 561.27 595.89 562.85 596.02
XSP 566.19 596.33 567.39 596.43 569.06 596.54 570.11 596.7 571.56 596.84
XSP 572.91 596.88 573.74 596.96 574.52 597.03 575.98 597.15 583.03 597.81
XSP 607.19 600 611.49 600 614.5 600.69 615.84 601 618.51 601.49
XSP 621.46 601.65 623.08 601.75 624.61 601.83 628.32 602
*** xloc_rcoef rcoef
XRH 0 0.02 29.82 0.018 583.03 0.02
*** bankl bankr
XOX 29.82 583.03
*** expansion contraction
XFL 0.3 0.1
*** GIS Cut Line

```

XSL 305069.87 7523765.33 305063.95 7524393.62

*** station: 1017.761

*** cross section 10of 19at original 10

*** XCID ZDI QDI

XIN 1017.761 0 0

*** location ch_l ch_r bec ninterp iHotC base_rate

XST 1017.74 27.63 184.46 0 0 0 0

*** station elevation data

XSP	0	602	4.99	600.14	32.4	598.71	40.26	598.32	76.63	596.56
XSP	85.01	596.09	86.55	596	87.4	595.92	88.65	595.86	89.53	595.85
XSP	90.46	595.79	91.23	595.75	92.12	595.7	92.99	595.66	93.83	595.61
XSP	95.01	595.56	96	595.51	97.11	595.45	98.17	595.38	98.94	595.34
XSP	101.07	595.27	101.98	595.2	103.15	595.14	103.97	595.12	104.78	595.1
XSP	106.41	595.05	107.59	595.03	108.57	595.03	110	594.99	110.76	594.96
XSP	111.6	594.95	112.88	594.93	113.83	594.9	114.61	594.88	115.38	594.86
XSP	117.46	594.81	118.76	594.81	119.65	594.78	120.56	594.76	121.5	594.74
XSP	122.76	594.76	124.02	594.77	124.79	594.8	125.81	594.76	127.09	594.75
XSP	129.67	594.77	131.1	594.79	131.88	594.79	133.12	594.8	133.93	594.8
XSP	135.25	594.82	136.07	594.84	137.33	594.84	138.16	594.85	139.51	594.88
XSP	140.45	594.91	141.31	594.91	143.01	594.93	144.02	594.96	145.29	594.96
XSP	146.41	594.95	147.17	594.97	148.16	594.94	149.07	594.93	149.85	594.9
XSP	150.94	594.88	151.89	594.85	152.78	594.83	153.87	594.82	155.14	594.76
XSP	156.22	594.72	157.13	594.66	158.97	594.66	160.14	594.64	160.96	594.68
XSP	162.21	594.72	163.03	594.74	164.07	594.85	165.12	594.87	166.32	594.94
XSP	167.67	594.98	169.32	595.05	170.09	595.01	170.89	595	172.13	595.01
XSP	173.37	595.01	175.58	595.01	176.36	594.99	178.65	594.94	179.94	594.9
XSP	180.96	594.89	182.24	594.87	183	594.87	183.99	594.86	190.12	594.88
XSP	191.29	594.9	192.4	594.96	193.2	594.91	194.1	594.91	195.13	594.87
XSP	196.17	594.78	197.06	594.68	198.27	594.53	199.29	594.33	200.51	593.93
XSP	201.7	593.51	202.9	593.14	203.88	593.04	204.82	593	205.66	592.98
XSP	206.75	592.97	207.59	592.95	208.68	592.97	209.79	592.95	210.78	592.94
XSP	211.61	592.94	214.09	592.94	215.75	592.91	216.93	592.86	218.03	592.83
XSP	218.97	592.79	219.91	592.75	220.83	592.6	221.63	592.57	222.8	592.41
XSP	223.59	592.33	224.61	592.3	225.72	592.27	226.58	592.28	227.93	592.33
XSP	228.93	592.35	230.05	592.37	231.03	592.41	231.8	592.43	232.72	592.48
XSP	233.79	592.54	234.82	592.59	235.61	592.64	236.74	592.67	238.03	592.72
XSP	239.17	592.76	240.06	592.79	241.3	592.84	242.27	592.88	243.13	592.9
XSP	244.38	592.97	245.23	593.02	246.34	593.07	247.45	593.14	248.81	593.23
XSP	249.91	593.29	250.93	593.34	251.91	593.41	253.05	593.47	253.98	593.53
XSP	255.07	593.57	256.02	593.6	257.36	593.64	258.16	593.67	259.04	593.7
XSP	261.13	593.68	262.02	593.7	262.85	593.71	267.06	593.69	268.61	593.69
XSP	269.51	593.68	270.66	593.67	271.71	593.62	273.11	593.57	274.23	593.48
XSP	275.36	593.41	276.12	593.4	277.3	593.35	278.51	593.37	279.59	593.39
XSP	280.58	593.43	281.67	593.47	282.7	593.47	284.16	593.49	285.38	593.5
XSP	287.71	593.51	288.71	593.49	289.99	593.49	290.78	593.47	291.58	593.46
XSP	293.01	593.42	294.29	593.38	295.32	593.33	296.25	593.35	297.04	593.31
XSP	298.35	593.23	299.39	593.19	300.41	593.15	301.27	593.12	302.16	593.08
XSP	303.61	593.03	304.72	592.98	305.93	592.93	306.75	592.9	307.68	592.87
XSP	308.79	592.81	309.74	592.79	310.73	592.74	311.82	592.68	312.82	592.69
XSP	314.56	592.65	315.52	592.6	316.5	592.56	318.2	592.49	319.42	592.47
XSP	321.64	592.41	322.64	592.38	323.64	592.36	325.37	592.32	327.36	592.27
XSP	328.79	592.25	330.41	592.19	331.35	592.15	332.51	592.12	333.69	592.15
XSP	334.81	592.12	336.42	592.12	337.68	592.1	338.48	592.1	344.49	592.02
XSP	345.44	591.99	346.66	591.94	347.88	591.8	348.78	591.77	350.21	591.74
XSP	351.19	591.68	352.11	591.59	353.49	591.62	354.87	591.62	355.71	591.6
XSP	356.88	591.58	357.72	591.55	359.33	591.51	360.9	591.5	362.62	591.51
XSP	363.57	591.47	364.69	591.44	365.54	591.44	366.38	591.39	367.66	591.36
XSP	368.58	591.33	369.62	591.3	370.68	591.24	372.02	591.22	373.25	591.18
XSP	374.47	591.14	375.46	591.15	377.18	591.15	378.45	591.19	379.66	591.21
XSP	380.86	591.24	381.68	591.27	382.44	591.32	383.56	591.42	384.93	591.58
XSP	386.12	591.74	387.25	591.84	388.24	591.94	389.94	592.1	390.76	592.13
XSP	391.69	592.14	392.53	592.16	393.75	592.16	395.19	592.21	396.11	592.18

```

XSP 396.95 592.23 398.95 592.3 401.2 592.33 409.08 592.22 410.38 592.23
XSP 411.17 592.28 412.28 592.33 413.39 592.47 414.26 592.56 415.37 592.72
XSP 416.39 592.94 417.5 593.16 418.51 593.5 419.68 594 421.04 594.84
XSP 421.95 595.16 423.36 595.56 424.5 595.76 425.33 595.86 426.27 595.93
XSP 427.29 595.98 428.57 595.99 429.44 596.02 430.36 596.03 431.33 596.07
XSP 432.16 596.08 433.61 596.08 435.05 596.13 435.99 596.14 437.03 596.16
XSP 438.24 596.15 439.05 596.15 440.71 596.1 441.71 596.15 443.17 596.17
XSP 444.31 596.17 445.31 596.17 446.19 596.19 447.32 596.2 448.15 596.22
XSP 449.39 596.24 450.48 596.28 451.45 596.3 452.6 596.3 453.43 596.33
XSP 454.52 596.34 455.93 596.34 456.95 596.36 458.18 596.36 459.89 596.36
XSP 462.04 596.37 463.9 596.38 465 596.38 466.6 596.39 467.5 596.4
XSP 468.63 596.38 469.61 596.39 472.35 596.37 473.21 596.32 474.59 596.31
XSP 475.54 596.32 477.88 596.32 478.86 596.33 480.19 596.32 481.02 596.33
XSP 482.01 596.31 483.33 596.32 484.51 596.32 492.9 596.33 493.99 596.33
XSP 494.76 596.31 495.66 596.3 520.68 598.19 537.64 599.53 547.5 599.97
XSP 549.68 601 551.22 602
*** xloc_rcoef rcoef
XRH 0 0.02 40.26 0.018 520.68 0.02
*** bankl bankr
XOX 40.26 520.68
*** expansion contraction
XFL 0.3 0.1
*** GIS Cut Line
XSL 305054.86 7523759.73 304906.63 7524290.64
*****
*****
*** station: 881.0786
***
***
*** cross section 11of 19at original 11
*** XCID ZDI QDI
XIN 881.0786 0 0
*** location ch_l ch_r bec ninterp iHotC base_rate
XST 881.06 26.48 108.84 0 0 0 0
*** station elevation data
XSP 0 602 6.07 601 6.88 600.87 8.48 600 9.35 599.97
XSP 50.82 598.07 90 596.28 91.15 596.27 91.91 596.26 92.75 596.23
XSP 93.7 596.18 94.71 596.17 95.67 596.16 97.31 596.16 98.61 596.09
XSP 99.66 596.11 100.74 596.06 102.01 596.04 103.39 595.98 104.21 595.96
XSP 105.05 595.94 106.42 595.86 107.22 595.84 108.53 595.75 109.59 595.74
XSP 110.7 595.67 111.98 595.59 113.17 595.54 114.48 595.53 115.62 595.43
XSP 117.17 595.47 118.37 595.4 119.32 595.36 120.45 595.36 122.09 595.37
XSP 123.48 595.27 124.87 595.27 125.79 595.31 126.92 595.33 127.86 595.35
XSP 129.01 595.36 129.97 595.28 130.91 595.26 132.34 595.2 133.3 595.17
XSP 134.48 595.19 135.82 595.16 136.78 595.15 139.7 595.13 142.76 595.12
XSP 145.37 595.09 146.82 595.14 148.03 595.08 149.44 595.11 150.9 595.07
XSP 152.07 595.05 153 595.06 153.98 595.05 156.62 595.06 157.85 595.07
XSP 159.04 595.03 160 595.04 160.98 595.06 161.95 595.03 163.57 595
XSP 165.09 595 167.33 595 168.53 595.02 169.51 595.02 170.32 595.06
XSP 173.3 595.07 174.2 595.15 175.22 595.12 176.2 595.14 177.02 595.14
XSP 178.63 595.16 179.44 595.17 180.53 595.19 181.34 595.15 182.55 595.06
XSP 183.95 594.87 185.4 594.64 186.53 593.76 187.47 593.43 188.47 593.24
XSP 189.41 593.17 191.11 593.11 192.15 593.1 193.3 593.07 194.22 593.05
XSP 195.01 592.97 195.92 592.9 196.99 592.81 197.99 592.74 198.92 592.68
XSP 199.9 592.54 200.74 592.47 201.75 592.47 204.89 592.43 206.08 592.4
XSP 207.06 592.37 209.16 592.36 210.36 592.38 211.41 592.39 212.29 592.41
XSP 213.82 592.45 216.05 592.47 216.98 592.53 217.87 592.5 218.73 592.53
XSP 219.61 592.53 220.64 592.56 221.56 592.58 222.33 592.59 223.24 592.6
XSP 224.13 592.59 224.9 592.6 225.68 592.61 226.7 592.62 227.61 592.6
XSP 228.39 592.54 229.15 592.53 230.03 592.51 230.81 592.47 231.72 592.44
XSP 232.73 592.44 233.57 592.43 235.39 592.41 237.74 592.41 238.91 592.42
XSP 239.83 592.41 240.84 592.41 241.86 592.4 243 592.41 244.03 592.34
XSP 245.09 592.23 246.19 592.02 247.05 591.95 248.26 591.92 249.19 591.9
XSP 250.14 591.78 251.07 591.71 252.07 591.7 252.93 591.89 253.92 592.09
XSP 255.02 592.31 256.03 592.64 257.07 592.84 257.88 592.86 259.96 592.85
XSP 261.68 592.85 263.76 592.84 264.6 592.85 265.93 592.84 267.38 592.84

```



```

XSP 270.11 592.84 271.19 592.86 271.97 592.87 272.78 592.87 273.8 592.88
XSP 274.78 592.88 276.05 592.91 277.14 592.92 278.19 592.94 279.34 592.96
XSP 281.14 593.01 282.71 593.03 285.74 593.02 287.06 593.02 288.07 593.01
XSP 289.3 592.99 290.09 592.98 291.87 592.94 293.08 592.9 294.32 592.86
XSP 295.55 592.84 296.78 592.81 298.54 592.76 299.79 592.71 300.78 592.72
XSP 302.77 592.63 303.78 592.6 304.78 592.57 306.03 592.53 307.73 592.43
XSP 308.93 592.41 310.14 592.39 311.36 592.43 312.58 592.37 313.56 592.32
XSP 315.01 592.26 316.43 592.22 317.63 592.19 318.56 592.16 320.18 592.16
XSP 321.84 592.15 323.02 592.14 324.19 592.12 325.17 592.09 326.12 592.11
XSP 328.1 592.11 329.54 592.16 331.01 592.24 332.68 592.31 334.17 592.39
XSP 334.98 592.41 336.14 592.45 337.83 592.51 338.79 592.57 339.98 592.64
XSP 341.43 592.7 342.63 592.75 343.78 592.79 344.54 592.81 345.43 592.83
XSP 346.79 592.9 348.75 592.9 349.63 592.91 351.06 592.84 353.18 592.84
XSP 354.17 592.82 355.85 592.8 356.96 592.78 359.68 592.74 360.79 592.73
XSP 361.66 592.71 362.87 592.71 364.11 592.66 365.24 592.63 366.15 592.61
XSP 367.52 592.61 368.82 592.56 369.8 592.56 371.75 592.55 374.03 592.55
XSP 375.3 592.51 376.35 592.51 377.47 592.48 378.42 592.46 379.56 592.41
XSP 380.65 592.35 381.98 592.28 384.1 592.13 385.24 592 386.37 591.88
XSP 387.47 591.76 389.45 591.46 390.41 591.3 391.78 591.2 392.88 591.14
XSP 393.94 591.09 395.03 591.07 396.1 591.05 396.96 591.02 397.73 591
XSP 398.72 591.01 400.32 590.95 401.25 590.93 402.73 590.91 404.66 590.78
XSP 405.64 590.73 409.68 590.8 410.46 590.76 411.48 590.75 412.33 590.72
XSP 433 591.85 434.34 591.83 436.32 591.9 442.81 593.62 455.06 595.75
XSP 465.48 597.31 483.42 600 487.09 600.25 493.7 600.41 501.13 600.95
XSP 508.29 602
*** xloc_rcoef rcoef
XRH 0 0.02 50.82 0.018 465.48 0.02
*** bankl bankr
XOX 50.82 465.48
*** expansion contraction
XFL 0.3 0.1
*** GIS Cut Line
XSL 305048.77 7523742.83 304763.83 7524163.74
*****
*****
*** station: 789.2673
***
***
*** cross section 12of 19at original 12
*** XCID ZDI QDI
XIN 789.2673 0 0
*** location ch_l ch_r bec ninterp iHotC base_rate
XST 789.25 92.36 138.09 0 0 0 0
*** station elevation data
XSP 0 602 2.27 601.25 4.95 600.37 6.07 600 34.36 598.93
XSP 55.17 598.07 74.06 597.28 98.45 596.15 99.31 596.14 100.1 596.11
XSP 101.39 596.13 102.41 596.14 103.34 596.18 104.35 596.17 105.69 596.18
XSP 106.92 596.16 108.42 596.16 109.31 596.14 110.86 596.14 112.13 596.13
XSP 112.99 596.18 113.99 596.23 114.77 596.22 116.23 596.25 118.28 596.23
XSP 119.23 596.23 120.16 596.23 121.54 596.22 122.34 596.22 123.47 596.23
XSP 125.34 596.23 126.61 596.2 127.95 596.2 129.51 596.13 130.44 596.07
XSP 131.83 595.98 132.69 595.94 133.6 595.88 134.51 595.81 135.46 595.76
XSP 136.68 595.69 137.44 595.72 138.89 595.63 140.5 595.58 141.39 595.52
XSP 142.42 595.48 143.34 595.44 144.28 595.41 145.35 595.33 147.77 595.21
XSP 148.83 595.16 149.96 595.14 151.26 595.12 152.45 595.11 153.84 595.06
XSP 154.91 595.09 155.89 595.06 156.65 594.98 158.23 594.92 159.36 594.83
XSP 160.23 594.79 160.99 594.74 162.05 594.69 163.16 594.62 164.35 594.56
XSP 165.16 594.53 165.92 594.49 166.78 594.45 167.54 594.43 168.88 594.37
XSP 170.08 594.31 170.94 594.24 172.09 594.08 172.86 594.04 173.62 593.87
XSP 174.63 593.37 175.78 592.61 176.91 592.11 177.68 591.86 178.69 591.53
XSP 179.69 591.24 180.61 591.1 181.81 590.86 182.86 590.66 183.87 590.51
XSP 185.16 590.36 185.99 590.1 187.51 589.93 188.35 589.92 189.29 589.89
XSP 190.87 589.91 192.04 589.93 193.05 589.91 193.96 589.93 194.92 589.92
XSP 196.13 589.94 198.28 589.96 199.07 590 199.85 590.02 200.99 590.04
XSP 202.08 590.1 203.35 590.2 204.38 590.32 205.53 590.54 207.02 590.7
XSP 207.93 590.74 209.14 590.92 210.04 591.07 211.7 591.25 212.53 591.41

```

```

XSP    213.76    591.62    214.54    591.75    215.63    591.9    216.63    592.04    218.07    592.21
XSP    218.89    592.29    219.99    592.39    220.99    592.47    221.81    592.51    222.96    592.57
XSP    223.89    592.61    224.86    592.65    226.18    592.68    227.05    592.71    228.26    592.72
XSP    229.48    592.73    230.51    592.74    231.63    592.79    232.82    592.85    233.87    592.82
XSP    234.67    592.8    235.72    592.82    236.92    592.86    237.97    592.9    238.86    592.92
XSP    239.75    592.94    240.56    592.98    241.52    593.02    242.33    593.07    243.62    593.1
XSP    244.75    593.14    247.1    593.17    248.08    593.16    249.35    593.14    250.81    593.12
XSP    251.6    593.1    252.64    593.06    253.82    593.03    255.45    593    256.26    592.98
XSP    257.46    592.99    258.8    593    259.75    592.98    260.95    592.97    262    592.99
XSP    262.94    592.95    263.74    592.91    264.7    592.95    265.6    592.89    266.69    592.88
XSP    267.92    592.84    268.73    592.85    269.68    592.84    271.24    592.84    272.29    592.89
XSP    273.47    592.86    274.57    592.85    276.08    592.86    277    592.86    277.96    592.87
XSP    279.4    592.84    280.69    592.8    281.95    592.79    283.55    592.78    284.86    592.79
XSP    285.9    592.78    286.8    592.75    287.7    592.77    288.67    592.76    290.15    592.77
XSP    291.06    592.75    292.4    592.75    293.36    592.74    294.25    592.72    295.11    592.72
XSP    296.09    592.69    296.91    592.68    297.81    592.64    298.91    592.61    299.7    592.55
XSP    300.7    592.51    301.99    592.49    302.94    592.45    304.03    592.44    305.04    592.43
XSP    306.09    592.43    306.95    592.44    307.83    592.45    308.66    592.45    309.82    592.48
XSP    311.08    592.62    312.05    592.7    313.14    592.82    313.99    593.02    314.99    593.32
XSP    315.86    593.57    316.71    593.72    317.67    593.76    318.65    593.86    319.77    593.96
XSP    320.77    594    321.74    593.96    322.85    593.86    323.68    593.77    324.78    593.66
XSP    325.64    593.59    326.86    593.51    328.11    593.49    329.09    593.53    330.45    593.58
XSP    331.31    593.59    332.3    593.64    334.02    593.64    335.13    593.59    336.24    593.49
XSP    337.47    593.47    338.58    593.46    339.69    593.41    340.68    593.36    341.55    593.28
XSP    342.67    593.19    343.91    593    345.38    592.76    346.48    592.63    347.46    592.52
XSP    348.56    592.39    350.19    592.26    351.15    592.09    352.53    591.93    353.63    591.76
XSP    354.65    591.71    355.87    591.66    357.05    591.69    358.32    591.91    359.26    592.03
XSP    360.44    592.11    361.65    592.24    362.53    592.19    363.55    592.12    364.4    592.12
XSP    365.26    592.08    366.02    592.06    366.78    592.08    367.65    592.16    368.77    592.31
XSP    369.98    592.47    371.24    592.65    372.07    592.59    373.17    592.43    374.17    592.28
XSP    375.03    592.11    376.13    591.87    377.17    591.73    378.02    591.51    379.16    591.34
XSP    380.06    591.15    381.21    591.08    382.01    591.06    383.11    590.99    384.26    590.95
XSP    385.5    590.88    386.95    590.85    388.09    590.82    388.94    590.8    390.07    590.75
XSP    390.86    590.71    391.74    590.74    392.65    590.72    393.65    590.66    395.23    590.62
XSP    396.52    590.59    397.31    590.56    398.72    590.52    421.21    589.95    422.9    589.93
XSP    425.08    590.08    426.22    589.96    428.06    589.96    428.88    589.94    430.35    589.96
XSP    433.27    589.97    434.45    589.97    434.77    590.79    435.04    591.59    435.21    592.09
XSP    435.79    593.73    436.22    594.98    437.85    600    438.86    601    439.86    602
*** xloc_rcoef rcoef
XRH    0    0.02    55.17    0.018    435.21    0.02
*** bankl bankr
XOX    55.17    435.21
*** expansion contraction
XFL    0.3    0.1
*** GIS Cut Line
XSL    305041.09    7523726.67    304730.36    7524037.99
*****
*****
*** station:    664.4464
***
***
*** cross section    13of    19at    original    13
*** XCID ZDI QDI
XIN    664.4464    0    0
*** location ch_l ch_r bec ninterp iHotC base_rate
XST    664.43    161.13    95.22    0    0    0    0
*** station elevation data
XSP    0    602    1.56    601.14    3.27    600.19    35.26    598.45    51.06    597.69
XSP    60.07    597.26    61.08    597.21    62.18    597.14    71.83    596.68    75.41    596.5
XSP    81.27    596.22    84.05    596.1    85.94    596.01    93.86    595.58    107.61    595.57
XSP    108.5    595.54    109.56    595.57    110.79    595.57    112.02    595.58    113.6    595.62
XSP    114.64    595.65    115.69    595.68    116.57    595.73    117.79    595.74    119.02    595.79
XSP    120.45    595.81    121.89    595.84    122.81    595.89    123.74    595.91    124.87    595.94
XSP    125.63    595.94    126.77    595.96    127.74    595.96    129.3    596.01    130.69    596.01
XSP    134.04    595.86    135.18    595.81    137.09    595.79    137.97    595.76    139.36    595.73
XSP    140.31    595.67    141.26    595.63    143.39    595.62    144.55    595.66    145.68    595.51

```

```

XSP 146.68 595.48 147.75 595.36 148.59 595.22 149.78 595.02 150.74 594.89
XSP 151.71 594.74 152.64 594.57 154.03 594.32 155.07 594.19 155.83 594.08
XSP 156.6 593.97 157.75 593.87 158.96 593.8 160.11 593.72 161.12 593.66
XSP 162.23 593.44 163.23 593.03 164.36 593.14 165.28 592.57 166.21 591.8
XSP 167.12 591.45 168.48 590.53 169.24 590.39 170.33 589.9 171.33 589.68
XSP 172.2 589.68 173.02 589.71 174.09 589.97 175.03 590.03 175.82 590.01
XSP 176.74 589.93 178.04 589.9 179.02 589.93 179.95 589.99 181.64 590.04
XSP 183.58 590.06 184.56 590.06 186.16 590.09 186.96 590.06 188 590.05
XSP 188.91 589.8 190.12 589.41 191.32 590.03 192.32 590.31 193.3 590.48
XSP 194.57 590.54 196.17 590.79 197.19 590.98 198.26 591.19 199.24 591.4
XSP 200.47 591.67 201.87 592.1 202.64 592.33 203.56 592.72 204.73 593.52
XSP 205.88 593.84 206.84 593.94 207.71 593.98 209.13 593.99 210.16 593.95
XSP 211 593.89 212.19 593.93 212.97 593.84 214.25 593.76 215.19 593.72
XSP 216.22 593.63 217.31 593.52 218.07 593.41 219.27 593.26 220.21 593.18
XSP 221.4 593.11 222.16 593.07 224.16 592.99 224.92 592.97 225.97 592.97
XSP 226.8 592.94 227.75 592.94 229.19 592.93 230.08 592.94 230.9 592.93
XSP 232.1 592.94 233.49 592.93 234.45 592.91 235.4 592.89 236.2 592.93
XSP 237.11 592.93 238.42 592.9 239.22 592.87 240.85 592.87 241.85 592.84
XSP 242.85 592.83 244.1 592.82 245.28 592.81 246.07 592.8 246.87 592.81
XSP 248.3 592.79 249.74 592.74 250.73 592.74 251.59 592.69 252.77 592.65
XSP 253.99 592.61 255.49 592.61 256.44 592.57 257.26 592.58 258.34 592.55
XSP 259.6 592.55 261.05 592.48 262.43 592.44 263.4 592.46 264.23 592.44
XSP 265.08 592.45 266.27 592.42 267.27 592.42 268.36 592.42 269.17 592.39
XSP 270.38 592.38 271.28 592.37 272.65 592.42 273.59 592.47 274.64 592.52
XSP 275.58 592.56 276.48 592.6 277.92 592.75 279.01 592.96 279.89 593.17
XSP 280.99 593.42 281.87 593.47 283.23 593.74 284.07 593.92 285.17 594.04
XSP 286 594.18 286.93 594.49 288.33 594.66 289.27 594.74 290.87 595.16
XSP 291.7 595.11 292.85 595.1 293.67 594.99 294.43 594.98 295.66 594.99
XSP 296.71 594.88 298.13 594.76 299.5 594.62 300.5 594.5 301.44 594.39
XSP 302.72 594.34 303.67 594.26 304.7 594.23 305.82 594.14 306.85 594.1
XSP 307.74 594.03 308.96 593.98 310.04 593.93 311.01 593.86 312.19 593.78
XSP 313.2 593.69 314.23 593.61 315.3 593.42 316.22 593.08 317.05 592.83
XSP 318.3 592.37 319.17 592.03 320.33 591.6 321.52 591.16 322.3 590.9
XSP 323.23 590.64 324.45 590.33 325.95 590.03 326.88 589.9 328.03 589.76
XSP 329.07 589.67 330.25 589.55 331.06 589.5 331.83 589.46 332.82 589.4
XSP 333.88 589.35 334.86 589.3 335.76 589.27 336.62 589.23 338.18 589.21
XSP 338.98 589.17 339.89 589.14 340.79 589.13 345.59 591.6 349.82 593.14
XSP 350.61 593.05 351.77 592.92 352.54 592.84 353.42 592.74 354.42 592.65
XSP 355.45 592.61 356.73 592.61 357.8 592.68 359.1 592.76 360.02 592.81
XSP 368.44 600 369.89 600.11 371.3 600.21 373.79 600.46 378.66 601
XSP 379.6 601 380.94 601.16 385.47 601.61 389.24 602
*** xloc_rcoef rcoef
XRH 0 0.02 51.06 0.018 369.89 0.02
*** bankl bankr
XOX 51.06 369.89
*** expansion contraction
XFL 0.3 0.1
*** GIS Cut Line
XSL 304978.64 7523665.77 304680.91 7523916.51
*****
*****
*** station: 551.213
***
***
*** cross section 14of 19at original 14
*** XCID ZDI QDI
XIN 551.213 0 0
*** location ch_l ch_r bec ninterp iHotC base_rate
XST 551.2 156.16 75.15 0 0 0 0
*** station elevation data
XSP 0 602 0.73 600.51 7.45 599.52 17.04 598.84 25.07 598.28
XSP 25.83 598.21 27.04 598.12 32.5 597.73 33.38 597.71 38.48 597.35
XSP 76.8 594.68 77.77 594.64 78.81 594.61 79.91 594.53 81.44 594.47
XSP 82.61 594.47 83.62 594.42 84.45 594.4 87.77 593.82 88.59 593.48
XSP 89.87 593.13 91.66 592.7 92.56 592.53 93.47 592.31 94.86 592.03
XSP 95.93 591.89 96.71 591.83 97.89 591.78 98.78 591.78 99.98 591.84

```

```

XSP 101.23 591.91 102.08 591.94 102.87 591.99 103.83 591.99 104.97 591.97
XSP 106.6 591.93 107.69 591.86 108.51 591.83 110.18 591.6 111.14 591.52
XSP 112.19 591.47 114.51 591.4 116.07 591.36 117.5 591.35 118.94 591.35
XSP 120.1 591.37 121.45 591.4 122.23 591.39 123.25 591.5 124.04 591.49
XSP 125.96 591.45 126.84 591.43 127.94 591.56 128.95 591.54 129.8 591.57
XSP 130.93 591.52 131.84 591.55 132.77 591.6 134.01 591.7 134.81 591.75
XSP 136.15 591.9 137.23 591.98 138.63 592.11 139.69 592.17 140.51 592.23
XSP 141.52 592.24 142.43 592.29 143.67 592.32 145.01 592.33 146.3 592.38
XSP 147.99 592.41 149.62 592.41 150.92 592.4 152 592.4 152.84 592.37
XSP 154.64 592.27 155.59 592.23 156.71 592.2 158.24 592.26 159.41 592.28
XSP 161.12 592.27 162.53 592.31 163.49 592.29 164.74 592.29 166.02 592.21
XSP 167.29 592.24 168.62 592.33 170.12 592.33 171.03 592.3 171.98 592.35
XSP 172.98 592.41 173.96 592.47 174.93 592.58 175.92 592.68 176.86 592.79
XSP 177.81 592.96 179.11 593.18 180.06 593.59 181.65 593.84 182.62 594.01
XSP 183.98 594.17 184.98 594.24 185.99 594.3 187.02 594.37 188.64 594.42
XSP 189.98 594.37 190.99 594.28 192 594.13 192.96 593.96 193.74 593.87
XSP 194.64 593.85 195.73 593.88 196.74 593.92 197.6 593.95 198.36 593.91
XSP 199.28 593.86 200.2 593.77 201.05 593.68 202.07 593.64 202.88 593.63
XSP 203.78 593.55 204.58 593.52 205.38 593.46 207.15 593.3 207.95 593.24
XSP 208.75 593.17 209.81 592.96 210.62 592.75 211.44 592.55 212.48 592.25
XSP 213.49 592.18 214.32 592.06 215.31 592.02 216.1 592.1 217.02 591.98
XSP 218.16 591.85 219.1 591.61 219.99 591.45 220.83 591.34 221.9 591.22
XSP 222.88 590.88 223.74 590.71 224.62 590.63 225.75 590.51 226.54 590.46
XSP 227.78 590.41 228.87 590.38 230.7 590.36 231.62 590.35 232.44 590.3
XSP 233.52 590.25 234.91 590.25 236.3 590.22 237.12 590.21 238.18 590.2
XSP 239.1 590.22 239.86 590.18 240.91 590.19 241.71 590.18 243 590.18
XSP 244.3 590.21 245.14 590.19 246.84 590.2 247.71 590.19 248.53 590.16
XSP 249.53 590.19 251.15 590.19 251.98 590.2 253.05 590.17 253.86 590.18
XSP 254.67 590.15 255.73 590.17 256.56 590.14 257.61 590.16 258.86 590.13
XSP 259.62 590.09 260.65 590 261.52 590.02 262.63 590.31 264.07 590.05
XSP 264.84 590.16 265.6 590.25 266.85 590.36 268.05 590.46 269.22 590.48
XSP 270.14 590.58 271.02 590.63 272.07 590.76 273.36 590.83 274.34 590.88
XSP 282.66 597.49 283.12 597.66 283.94 598.04 286.27 600 290.95 600.69
XSP 293.32 601 314.56 601 345.4 602
*** xloc_rcoef rcoef
XRH 0 0.02 27.04 0.018 283.12 0.02
*** bankl bankr
XOX 27.04 283.12
*** expansion contraction
XFL 0.3 0.1
*** GIS Cut Line
XSL 304823.96 7523584.22 304624.93 7523866.51
*****
*****
*** station: 439.2342
***
***
*** cross section 15of 19at original 15
*** XCID ZDI QDI
XIN 439.2342 0 0
*** location ch_l ch_r bec ninterp iHotC base_rate
XST 439.22 156.29 74.12 0 0 0 0
*** station elevation data
XSP 0 602 1.82 600 12.71 599.22 14.27 599.08 23.76 598.37
XSP 29.38 597.95 31.01 597.84 31.85 597.78 53.88 596.17 55.25 596.05
XSP 63.77 595.42 81.61 593.47 82.6 593.46 83.54 593.39 84.38 593.47
XSP 85.24 593.45 94.26 593.61 95.22 593.65 95.99 593.7 97.08 593.72
XSP 98.04 593.68 99.15 593.58 100.28 593.37 101.52 593.18 102.61 593.14
XSP 103.46 593.05 104.55 593.03 105.73 592.92 106.63 592.88 107.54 592.8
XSP 109.42 592.81 111.32 592.91 112.61 592.9 113.89 592.81 114.85 592.63
XSP 115.81 592.28 117.09 591.94 118.05 591.66 119.36 591.32 120.34 591.13
XSP 121.64 590.87 122.62 590.66 123.63 590.42 124.62 590.21 127.2 589.5
XSP 128.18 589.24 129.14 589.08 130.07 589.01 131.09 589.01 132.04 589.02
XSP 133.04 589.04 133.94 589.07 135.24 589.11 136.21 589.08 137.46 588.94
XSP 138.45 588.78 139.45 588.64 140.66 588.49 141.65 588.47 142.52 588.44
XSP 143.75 588.4 144.82 588.45 145.68 588.46 148.19 588.6 149.04 588.62

```

```

XSP    150.01    588.64    151.3    588.7 152.46 588.8   154.38 588.98 155.59 589.06
XSP    157.11    589.12    158.32    589.17 159.77 589.21   160.91 589.25 162.25 589.28
XSP    163.64    589.29    164.52    589.33 165.5 589.37   166.36 589.4 167.33 589.45
XSP    168.09    589.5    170.25    589.66 171.54 589.74   172.53 589.84 173.39 589.86
XSP    174.5    589.98    175.3    590.03 176.47 590.1   177.31 590.13 178.29 590.15
XSP    179.46    590.17    180.44    590.21 181.26 590.25   182.66 590.33 183.48 590.37
XSP    184.41    590.44    185.44    590.53 186.23 590.58   187.42 590.76 188.19 590.87
XSP    189.5    591.02    190.26    591.15 191.37 591.4   192.13 591.66 193.29 592.04
XSP    194.75    592.45    195.86    592.73 196.94 592.92   198.01 593.05 199.08 593.24
XSP    199.91    593.41    200.95    593.64 201.79 593.88   202.67 594.07 203.53 594.25
XSP    204.37    594.42    205.4    594.58 206.36 594.76   207.37 595.13 208.17 595.1
XSP    210.42    595.43    218.26    596.43 221.45 599.61   229.44 600.16 232.83 600.17
XSP    237.28    600.29    239.94    600.38 247.46 600.34   248.8 600.34 251.12 600.49
XSP    252.84    600.48    261.62    600.41 265.11 600.51   269.98 600.47 286.97 600.85
XSP    288.23    600.85    292.36    601 295.43 601 314.85 601.23 318.6 601.23
XSP    321.63    601.22    322.55    601.24 323.32 601.25   324.51 601.28 327.08 601.34
XSP    328.17    601.37    329.83    601.42 333.03 601.5   349.51 602
*** xloc_rcoef rcoef
XRH      0    0.02  23.76   0.018 221.45 0.02
*** bankl  bankr
XOX      23.76  221.45
*** expansion contraction
XFL      0.3    0.1
*** GIS      Cut      Line
XSL    304667.85 7523542.02 304586.48 7523881.93
*****
*****
*** station:    327.5499
***
***
*** cross      section      16of      19at  original  16
*** XCID      ZDI      QDI
XIN    327.5499      0      0
*** location  ch_l      ch_r  bec      ninterp iHotC base_rate
XST    327.54    152.64  108.95      0      0      0      0
*** station  elevation  data
XSP      0      602      2      600  11.14 599.2  20.33 598.35 22.25 598.18
XSP      25      597.9  26.73  597.73 33.48 597.04  36.61 596.73 39.59 596.45
XSP    40.42    596.45  41.51    596.5 52.55 595.82  53.94 595.61 54.71 595.63
XSP    55.54    595.53  56.31    595.42 57.36 595.34  58.42 595.31 59.85 595.33
XSP    60.93    595.28  61.94    595.23 62.78 595.23  63.55 595.24 64.57 595.23
XSP    65.43    595.21  66.56    595.12 67.47 595.08  68.46 594.93 69.29 594.82
XSP    70.7    594.55  71.78    594.41 73.21 594.29  74.59 594.22 75.79 594.18
XSP    76.55    594.14  77.46    594.09 78.46 594.04  79.38 593.99 80.31 593.92
XSP    81.22    593.83  82.19    593.78 83.38 593.75  84.56 593.62 85.73 593.56
XSP    86.89    593.45  87.96    593.29 88.96 593.15  90.03 592.87 91.02 592.69
XSP    92.07    592.36  93.13    592.1  94 592.11  95.47 591.79 96.6 591.56
XSP    97.9    591.22  99.12    590.92 100.2 590.66  100.97 590.47 101.86 590.24
XSP    102.62    590.04  103.65    589.86 104.58 589.69  105.76 589.53 106.68 589.48
XSP    107.74    589.46  108.83    589.47 110.08 589.32  111.08 589.27 112.3 589.29
XSP    114.98    589.1  115.75    589.11 116.6 589.17  117.66 589.35 118.44 589.45
XSP    119.62    589.37  120.63    589.37 121.74 589.18  122.9 589.1 123.67 588.87
XSP    125.2    588.99  126.06    589.1 127.01 589.1  128.08 588.82 129.26 588.69
XSP    130.93    588.64  132.03    588.72 132.99 588.81  134.16 589.06 134.97 589.16
XSP    135.84    589.18  136.87    589.19 138.11 589.53  138.87 589.71 139.85 589.93
XSP    141.11    590.19  141.88    590.36 142.98 590.52  144.05 590.66 144.84 590.77
XSP    145.67    590.89  146.58    591.01 147.49 591.04  148.36 591.12 149.15 591.23
XSP    150.39    591.41  151.31    591.46 152.2 591.58  153.29 591.74 154.06 591.84
XSP    155.09    592.04  156.18    592.33 157.04 592.63  157.83 592.93 158.75 593.2
XSP    159.65    593.35  160.48    593.47 161.36 593.67  162.31 593.79 163.15 593.84
XSP    164.3    593.87  165.42    593.87 166.61 594.08  167.63 594.15 168.8 594.12
XSP    169.74    594.16  170.94    594.18 173.25 594.18  174.12 594.24 175.33 594.32
XSP    176.16    594.41  177.04    594.53 177.95 594.65  179.1 594.82 180.04 594.98
XSP    181.05    595.13  181.92    595.23 182.96 595.4  183.85 595.57 184.83 595.73
XSP    185.73    595.88  186.66    596 187.64 596.13  188.58 596.21 189.53 596.26
XSP    190.47    596.38  191.36    596.51 192.31 596.61  193.23 596.68 194.13 596.68

```

```

XSP    195.87    596.62    197.14    596.65    198.43    596.66    200.08    596.66    200.89    596.69
XSP    201.78    596.72    202.59    596.73    203.68    596.82    204.52    596.86    234.8    597.53
XSP    236.69    597.71    239.98    598.03    241.96    598.08    243.79    598.09    274.62    600
XSP    282.11      600    287.07    600.14    289.27    600.22    311.37    601    322.93    601.37
XSP    325.87    601.47    327.58    601.52    342.34    602
*** xloc_rcoef rcoef
XRH      0      0.02    20.33    0.018    236.69    0.02
*** bankl bankr
XOX      20.33    236.69
*** expansion contraction
XFL      0.3      0.1
*** GIS      Cut      Line
XSL    304505.65    7523543.06    304566.06    7523880.02
*****
*****
*** station:    181.6957
***
***
*** cross      section      17of      19at      original      17
*** XCID      ZDI      QDI
XIN    181.6957      0      0
*** location ch_l      ch_r      bec      ninterp iHotC base_rate
XST    181.69    141.26    55.6      0      0      0      0
*** station elevation data
XSP      0      602    1.25    601.49    2.35    601    4.62    600    8.64    599.59
XSP      9.59    599.53    15.06    599.03    24.23    598.34    35.46    597.51    38.12    597.27
XSP     39.48    597.21    40.79    597.14    42.35    597.09    43.15    597.05    44.07    597.02
XSP     45.42    596.87    46.48    596.71    49.33    596.42    50.54    596.31    52.1    596.15
XSP     53.59    596.01    54.62    595.93    55.6    595.84    56.42    595.78    57.33    595.69
XSP     58.67    595.63    59.74    595.56    60.89    595.52    61.85    595.48    62.71    595.45
XSP     64.05    595.4    64.91    595.35    65.91    595.31    66.78    595.27    67.79    595.23
XSP     68.67    595.18    69.53    595.14    70.4    595.14    71.55    595.13    72.32    595.13
XSP     74.17    595.11    75.04    595.14    76.09    595.16    77.26    595.19    78.98    595.25
XSP     80.07    595.21    80.93    595.2    82.65    595.28    83.92    595.29    84.97    595.29
XSP     86.67    595.31    87.75    595.31    88.6    595.26    89.89    595.11    90.74    595.03
XSP     91.77    594.9    92.89    594.64    94.07    594.39    94.91    594.23    96.04    594.13
XSP     96.89    594.1    98.33    594.11    100.45    594.1    101.43    594.13    102.69    594.13
XSP    103.71    594.16    105.09    594.18    106.35    594.19    107.3    594.17    108.87    594.14
XSP    109.91    594.11    111.91    594.09    113.35    594.08    114.61    594.03    116.37    594
XSP    117.95    593.98    119.68    594.01    122.18    594.01    122.95    593.98    123.78    593.99
XSP    124.62    594.01    126.22    594    127.1    594.01    128.41    594.03    129.2    594.04
XSP    130.41    594.09    132.15    594.09    132.95    594.12    133.82    594.13    134.66    594.12
XSP    135.88    594.1    136.74    594.05    138.02    594.02    138.83    594.02    139.64    594.05
XSP    140.51    594.06    141.76    594.09    143.04    594.09    143.86    594.08    144.69    594.03
XSP    145.54    593.9    147.24    592.64    148.09    592.11    148.93    591.65    149.78    591.05
XSP    150.62    590.54    151.87    589.94    152.72    589.61    153.55    589.37    154.38    589.12
XSP    155.62    588.78    156.46    588.61    157.29    588.45    158.93    588.17    159.79    588.08
XSP    160.62    588.01    162.25    587.95    164.76    588.01    166.89    588.03    167.7    588.05
XSP    169.36    587.98    170.57    588.01    172.22    587.95    173.03    587.93    173.84    587.88
XSP    174.67    587.82    175.48    587.81    177.1    587.73    177.93    587.68    178.75    587.62
XSP    179.56    587.63    182.01    587.69    182.81    587.72    184.02    587.75    185.63    587.81
XSP    186.45    587.85    187.28    587.95    188.07    588.06    188.89    588.14    189.69    588.2
XSP    190.5    588.27    191.31    588.38    192.52    588.51    193.32    588.62    194.16    588.74
XSP    194.98    588.83    195.75    588.96    196.55    589.14    197.36    589.29    198.16    589.46
XSP    198.96    589.62    199.78    589.74    200.55    589.94    201.76    590.22    202.6    590.38
XSP    203.39    590.54    205.31    591.09    206.11    591.34    206.87    591.57    207.65    591.78
XSP    208.74    592.02    209.82    592.27    211.42    592.72    229.55    596.94    235.02    598.49
XSP    240.35      600    243.25    600.22    244.67    600.35    251.41    601    258.02    601
XSP    274.4    601.76    281.22    602
*** xloc_rcoef rcoef
XRH      0      0.02    24.23    0.018    235.02    0.02
*** bankl bankr
XOX      24.23    235.02
*** expansion contraction
XFL      0.3      0.1
*** GIS      Cut      Line

```

XSL 304375.61 7523608.09 304468.18 7523873.63

*** station: 105.4235

*** cross section 18of 19at original 18

*** XCID ZDI QDI

XIN 105.4235 0 0

*** location ch_l ch_r bec ninterp iHotC base_rate

XST 105.42 176.84 82.9 0 0 0 0

*** station elevation data

XSP 0 602 8.11 600 18.65 598.13 19.41 598.07 25.17 597.4
 XSP 50.1 594.36 51.21 594.47 52.04 594.67 52.92 594.75 54.08 594.78
 XSP 55.03 594.75 56.01 594.73 70.91 594.05 72.28 594.01 73.82 593.96
 XSP 74.64 593.98 75.46 593.99 76.27 594.04 77.36 594.05 79.16 594
 XSP 80.23 593.94 81.45 593.86 82.65 593.84 83.54 593.82 84.6 593.72
 XSP 85.49 593.66 86.26 593.72 87.15 593.8 87.97 593.85 88.85 593.89
 XSP 90.36 593.73 91.25 593.54 92.08 593.51 94.47 593.45 96.12 593.46
 XSP 97.61 593.5 98.91 593.51 100.62 593.55 102.26 593.55 103.49 593.51
 XSP 105.3 593.49 106.21 593.55 107.77 593.54 109 593.51 110.16 593.46
 XSP 111.39 593.43 112.63 593.34 113.45 593.26 114.58 593.17 115.51 593.12
 XSP 116.56 593.06 117.8 593.01 120.02 593.01 120.93 593.03 121.75 593.01
 XSP 124.52 593.03 125.74 593.02 127.58 592.98 128.93 592.94 130.06 592.9
 XSP 131.08 592.92 132.02 592.97 133.12 593.15 134.42 593.06 135.93 592.32
 XSP 136.75 591.88 138.3 591.51 139.55 591.33 140.34 591.19 142 590.99
 XSP 142.82 590.8 143.82 590.83 145.03 590.72 145.84 590.66 146.84 590.67
 XSP 147.94 590.7 148.85 590.67 150.23 590.42 151.03 590.33 151.83 590.26
 XSP 152.62 590.26 153.42 590.25 154.23 590.23 155.53 590.11 156.62 589.86
 XSP 157.7 589.73 158.61 589.71 159.96 589.56 161.15 589.5 162.1 589.46
 XSP 163.01 589.43 164.62 589.37 165.68 589.37 166.57 589.3 167.89 589.25
 XSP 168.93 589.24 170.08 589.29 171.1 589.27 172.6 589.05 173.86 589.01
 XSP 175.07 589.15 176.06 589.29 176.99 589.41 177.87 589.52 178.68 589.64
 XSP 179.73 589.93 180.78 590.21 181.84 590.49 182.77 590.64 183.65 590.83
 XSP 184.72 591.14 185.66 591.53 191.52 593.48 193.21 593.76 194.09 594.13
 XSP 199.81 595.59 207.84 598.3 211.75 598.3 222.67 598.3 227.2 599.55
 XSP 229.14 600 241.12 601.48 242.24 601.64 244.62 602

*** xloc_rcoef rcoef

XRH 0 0.02 25.17 0.018 211.75 0.02

*** bankl bankr

XOX 25.17 211.75

*** expansion contraction

XFL 0.3 0.1

*** GIS Cut Line

XSL 304264 7523708.57 304431.06 7523887.26

*** station: 3.014775

*** cross section 19of 19at original 19

*** XCID ZDI QDI

XIN 3.014775 0 0

*** location ch_l ch_r bec ninterp iHotC base_rate

XST 3.01 6.4 2.66 0 0 0 0

*** station elevation data

XSP 0 601 4.81 597.11 5.05 596.91 8.1 594.45 20.23 588.32
 XSP 24.46 588.09 56.93 588.04 58.2 588 66.04 584.18 67.27 583.9
 XSP 80.27 584.15 82.68 584.16 83.6 583.94 85.44 584.49 120.72 597.86
 XSP 121 597.84 121.96 598.3 126.12 598.3 127.43 599.07 129.1 600.33
 XSP 130.52 601 131.71 602

*** xloc_rcoef rcoef

XRH 0 0.02 5.05 0.018 121 0.02

*** bankl bankr

XOX 5.05 121

*** expansion contraction

```

XFL      0.3    0.1
*** GIS      Cut      Line
XSL      304316.26 7523863.66 304351.18 7523921.16
XSL      304409.82 7523947.87
*** Início da entrada dos dados das características dos sedimentos
*** nlay  theta  ntsedf  nrepose  min_layermax_layer
YST      3      1      1      1      0.5    10
*** CLAY_LIMISILT_LIMISAND_LIMICONCMAX SPECGRAV
YSP      0.0046 0.0228    2    0.15    2.65
*** drl      dru      bdin
YSG      0.0011 0.0018    0    !    1  Argila - Nomes de classe adaptadas
YSG      0.0018 0.0025    0    !    2  Argila
YSG      0.0025 0.0034    0    !    3  Argila
YSG      0.0034 0.0046    0    !    4  Argila
YSG      0.0046 0.0062    0    !    5  Silte
YSG      0.0062 0.0086    0    !    6  Silte
YSG      0.0086 0.0115    0    !    7  Silte
YSG      0.0115 0.0162    0    !    8  Silte
YSG      0.0162 0.0228    0    !    9  Silte
YSG      0.0228 0.0319    0    !   10  Areia M Fina
YSG      0.0319 0.0441    0    !   11  Areia M Fina
YSG      0.0441 0.0740    0    !   12  Areia Fina
YSG      0.0740 0.1490    0    !   13  Areia Fina
YSG      0.1490 0.2970    0    !   14  Areia Media
YSG      0.2970 0.6000    0    !   15  Areia Media
YSG      0.6000 1.2000    0    !   16  Areia Grossa
YSG      1.2000 2.0000    0    !   17  Areia M Grossa
YSG      2.0000 4.7600    0    !   18  Cascalho
YSG      4.7600 32.0000    0    !   19  Pedegulho
***
USB      2
*** Curva-Chave de Sedimentos
*** Coef. a  Expoente n
US2      0.401 1.712
*** Argila Argila Argila Argila Silte Silte Silte Silte Silte  Areia M FAreia M FAreia FinAreia
FinAreia MedAreia MediaAreia GrossAreia M GroCascalho Pedegulho
*** dmin      0.0011 0.0018 0.0025 0.0034 0.0046 0.0062 0.0086 0.0115 0.0162 0.0228 0.0319
0.0441 0.0740 0.1490 0.2970 0.6000 1.2000 2.0000 4.7600
** dmax      0.0018 0.0025 0.0034 0.0046 0.0062 0.0086 0.0115 0.0162 0.0228 0.0319 0.0441
0.0740 0.1490 0.2970 0.6000 1.2000 2.0000 4.7600 32.0000
*****
USS      50 0.4823 0.0964 0.0566 0.0722 0.0710 0.0584 0.0277 0.0360 0.0138 0.0055 0.0138
0.0277 0.0222 0.0090 0.0028 0.0024 0.0021 0.0000 0.0000
USS      150 0.3312 0.0584 0.0228 0.0372 0.0507 0.0555 0.0417 0.0417 0.0417 0.0555 0.0555
0.0555 0.1103 0.0357 0.0038 0.0017 0.0010 0.0000 0.0000
USS      300 0.2673 0.0355 0.0380 0.0287 0.0292 0.0413 0.0305 0.0550 0.0550 0.0550 0.0688
0.0825 0.1218 0.0841 0.0045 0.0014 0.0015 0.0000 0.0000
*** NKQS(J) non-point flow source
LNS      0
BT1      1    18
BTT      1
BTT      1
BP1      1    3    14    16    17    18
*** Argila Argila Argila Argila Silte Silte Silte Silte  Areia M FAreia M FAreia FinAreia FinAreia
MedAreia MedAreia GroAreia M GCascalho Pedegulho
*** dmin 0.0011 0.0018 0.0025 0.0034 0.0046 0.0062 0.0086 0.0115 0.0162 0.0228 0.0319 0.0441
0.0740 0.1490 0.2970 0.6000 1.2000 2.0000 4.7600
** dmax 0.0018 0.0025 0.0034 0.0046 0.0062 0.0086 0.0115 0.0162 0.0228 0.0319 0.0441 0.0740
0.1490 0.2970 0.6000 1.2000 2.0000 4.7600 32.0000
*** layer 1. surface
BPL      0.4823 0.0964 0.0566 0.0722 0.0710 0.0584 0.0277 0.0360 0.0138 0.0055 0.0138 0.0277
0.0222 0.0090 0.0028 0.0024 0.0021 0.0000 0.0000
*** layer 2. sub-surface
BPL      0.3827 0.0747 0.0430 0.0643 0.0363 0.0520 0.0474 0.0393 0.0753 0.0419 0.0419 0.0419
0.0534 0.0049 0.0005 0.0003 0.0000 0.0000 0.0000
*** Section 3.

```



```

*** layer 1.surface
BPL 0.4823 0.0964 0.0566 0.0722 0.0710 0.0584 0.0277 0.0360 0.0138 0.0055 0.0138 0.0277
0.0222 0.0090 0.0028 0.0024 0.0021 0.0000 0.0000
*** layer 2.sub-surface
BPL 0.3827 0.0747 0.0430 0.0643 0.0363 0.0520 0.0474 0.0393 0.0753 0.0419 0.0419 0.0419
0.0534 0.0049 0.0005 0.0003 0.0000 0.0000 0.0000
*** Section 14.
*** layer 1.surface
BPL 0.3312 0.0584 0.0228 0.0372 0.0507 0.0555 0.0417 0.0417 0.0417 0.0555 0.0555 0.0555
0.1103 0.0357 0.0038 0.0017 0.0010 0.0000 0.0000
*** layer 2.sub-surface
BPL 0.3598 0.0577 0.0445 0.0368 0.0501 0.0548 0.0685 0.0411 0.0548 0.0548 0.0548 0.0411
0.0716 0.0080 0.0012 0.0003 0.0000 0.0000 0.0000
*** Section 16.
*** layer 1.surface
BPL 0.2689 0.0404 0.0451 0.0345 0.0577 0.0489 0.0356 0.0192 0.0411 0.0274 0.0548 0.0548
0.1268 0.1280 0.0140 0.0021 0.0007 0.0000 0.0000
*** layer 2.sub-surface
BPL 0.3531 0.0577 0.0401 0.0478 0.0417 0.0428 0.0579 0.0222 0.0333 0.0417 0.0417 0.0555
0.0933 0.0672 0.0029 0.0002 0.0003 0.0005 0.0000
*** Section 17.
*** layer 1.surface
BPL 0.2689 0.0404 0.0451 0.0345 0.0577 0.0489 0.0356 0.0192 0.0411 0.0274 0.0548 0.0548
0.1268 0.1280 0.0140 0.0021 0.0007 0.0000 0.0000
*** layer 2.sub-surface
BPL 0.3531 0.0577 0.0401 0.0478 0.0417 0.0428 0.0579 0.0222 0.0333 0.0417 0.0417 0.0555
0.0933 0.0672 0.0029 0.0002 0.0003 0.0005 0.0000
*** Section 19.
*** layer 1.surface
BPL 0.4036 0.0631 0.0629 0.0444 0.0454 0.0635 0.0576 0.0288 0.0288 0.0432 0.0288 0.0144
0.0743 0.0343 0.0031 0.0029 0.0011 0.0000 0.0000
*** layer 2.sub-surface
BPL 0.2673 0.0355 0.0380 0.0287 0.0292 0.0413 0.0305 0.0550 0.0550 0.0550 0.0688 0.0825
0.1218 0.0841 0.0045 0.0014 0.0015 0.0000 0.0000
*** temperaturas
TMP 0 24.35
***
FI1 1 2 3 4 18
*** crosmin_e crosmax_e crosmin_d crosmax_d botmin botmax ACONST BCONST
FIW -99999 99999 -99999 99999 -50 589 0.1 1.7
*** crosmin_e crosmax_e crosmin_d crosmax_d botmin botmax ACONST BCONST
FIW -99999 99999 -99999 99999 -50 591.43 0.1 1.7
***+A5:I crosmin_e crosmax_e crosmin_d crosmax_d botmin botmax ACONST BCONST
FIW -99999 99999 -99999 99999 -50 594.3 0.1 1.7
*** crosmin_e crosmax_e crosmin_d crosmax_d botmin botmax ACONST BCONST
FIW -99999 99999 -99999 99999 -50 599.3 0.1 1.7
*** crosmin_e crosmax_e crosmin_d crosmax_d botmin botmax ACONST BCONST
FIW -99999 99999 -99999 99999 -50 599.3 0.1 1.7
*** ised
SEQ YANG73
***
SE1 0.04 0.67
*** xc dam at
SA1 1
*** angle1(above) angle2(below) nalt alphad alphas Blengt Wtdep
SAT 80 60 2 0.4 1 40 0 0 0
***
CS1 1 18
*** stdep_f stdep_p concEq er_lim
CSD 0.08 0.1 0.5 0.1
CSD 0.08 0.1 0.5 0.1
***
CE1 1 18
*** stpero er_stme stmero er_mass
CER 0.04 0.25 2.84 1.07
CER 0.04 0.25 2.84 1.07

```

```
*** Velocidade de queda da particula
CF0      1
*** densC_l    densC_f    densC_e    time_e
CSC      1400    1590    1500    87600
*** xc
CD1      1      18
*** densityClay0
CDI      1590    1590
CDI      1590    1590
END
```

Apêndice III – Séries de dados de vazão média diária e de nível operacional do reservatório utilizadas no estudo de caso da PCH Mogi-Guaçu: período de calibração 2004 – 2013.

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
0	48.301	598.595
1	57.191	598.591
2	59.266	598.580
3	49.500	598.582
4	42.960	598.599
5	39.566	598.605
6	44.260	598.589
7	52.351	598.605
8	125.872	598.600
9	257.815	598.587
10	168.127	598.578
11	120.244	598.580
12	121.236	598.598
13	85.820	598.585
14	71.854	598.589
15	69.035	598.595
16	60.021	598.583
17	52.934	598.605
18	48.771	598.595
19	44.549	598.599
20	42.498	598.592
21	42.867	598.600
22	52.819	598.605
23	59.621	598.570
24	61.548	598.577
25	73.185	598.588
26	152.680	598.587
27	165.762	598.578
28	140.165	598.568
29	114.288	598.587
30	87.382	598.583
31	81.303	598.592
32	77.160	598.570
33	82.234	598.576
34	82.286	598.583
35	70.748	598.574
36	126.654	598.598
37	157.386	598.578
38	133.613	598.575
39	118.746	598.574
40	110.065	598.560
41	111.784	598.583
42	95.136	598.554
43	55.894	598.595
44	51.451	598.608
45	118.938	598.601
46	158.464	598.605
47	139.025	598.571
48	113.357	598.591
49	97.027	598.588
50	80.598	598.602
51	76.806	598.592
52	111.914	598.604
53	175.430	598.574
54	273.989	598.552
55	284.912	598.573
56	399.866	598.553
57	368.145	598.579
58	268.097	598.570
59	187.163	598.572
60	146.660	598.579
61	124.138	598.594
62	106.541	598.560
63	110.123	598.595
64	104.621	598.600

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
65	96.883	598.579
66	93.639	598.593
67	92.168	598.592
68	84.462	598.595
69	81.012	598.591
70	89.919	598.604
71	95.206	598.596
72	78.447	598.572
73	74.418	598.579
74	77.675	598.604
75	86.317	598.598
76	84.244	598.589
77	71.762	598.575
78	68.171	598.597
79	90.687	598.591
80	87.839	598.575
81	83.157	598.603
82	68.949	598.564
84	58.051	598.595
85	57.464	598.608
86	83.142	598.613
87	77.192	598.710
88	71.109	598.875
89	64.731	598.940
90	63.770	599.082
91	60.292	599.167
92	58.909	599.220
93	57.328	599.330
94	58.728	599.465
95	67.781	599.506
96	80.156	599.550
97	82.242	599.655
98	74.092	599.755
99	71.122	599.756
100	68.456	599.736
101	64.931	599.746
102	62.862	599.705
103	66.335	599.646
104	62.559	599.727
105	62.280	599.758
106	85.472	599.795
107	98.093	599.765
108	79.629	599.725
109	72.434	599.713
110	75.636	599.790
111	77.228	599.808
112	78.597	599.789
113	72.608	599.792
114	64.194	599.769
115	68.245	599.783
116	87.294	599.795
117	89.304	599.798
118	73.986	599.780
119	66.805	599.748
120	61.720	599.782
121	58.263	599.780
122	56.681	599.766
123	53.820	599.790
124	52.685	599.785
125	55.747	599.774
126	73.723	599.803
127	90.618	599.804
128	105.185	599.773
129	99.111	599.799
140	87.091	599.787

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
141	73.446	599.793
142	84.715	599.800
143	88.760	599.800
144	80.442	599.780
145	76.580	599.790
146	117.227	599.788
147	131.701	599.798
148	110.608	599.784
149	88.238	599.773
150	78.532	599.800
151	128.653	599.799
152	165.374	599.791
153	131.546	599.787
154	107.792	599.795
155	134.373	599.776
156	134.231	599.795
157	112.155	599.799
158	93.272	599.800
159	85.218	599.792
160	80.566	599.780
161	78.032	599.783
162	75.670	599.797
163	75.859	599.790
164	92.672	599.775
165	85.221	599.785
166	79.871	599.793
167	89.515	599.772
168	89.878	599.773
169	77.565	599.780
170	73.025	599.781
171	70.322	599.796
172	68.455	599.794
173	67.868	599.767
174	66.889	599.790
175	65.387	599.776
176	66.628	599.771
177	66.731	599.797
178	65.072	599.792
179	64.088	599.779
180	61.004	599.771
181	61.637	599.779
182	60.455	599.787
183	60.032	599.788
184	59.568	599.768
185	59.567	599.799
186	58.266	599.793
187	58.977	599.793
188	56.904	599.780
189	56.864	599.760
190	61.845	599.788
191	73.041	599.784
192	109.992	599.783
193	93.028	599.765
194	74.264	599.753
195	64.824	599.773
196	61.079	599.789
197	60.294	599.775
198	59.106	599.776
199	58.332	599.758
200	62.730	599.755
201	115.425	599.770
203	76.697	599.796
204	69.778	599.789
205	64.461	599.757
206	60.947	599.749

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
207	58.753	599.765
208	58.315	599.780
209	57.594	599.775
210	56.647	599.752
211	56.402	599.757
212	55.407	599.799
213	55.500	599.790
214	53.885	599.768
215	52.771	599.764
216	52.564	599.769
217	52.098	599.743
218	51.156	599.757
219	50.275	599.764
220	50.612	599.788
221	50.494	599.782
222	49.665	599.789
223	49.632	599.800
224	49.276	599.782
225	48.203	599.795
226	47.440	599.785
227	47.081	599.786
228	47.532	599.787
229	47.051	599.782
230	46.938	599.755
231	46.401	599.760
232	46.124	599.797
233	45.252	599.778
234	44.558	599.755
235	44.395	599.773
236	43.646	599.788
237	43.536	599.770
238	43.163	599.753
239	42.929	599.773
240	42.654	599.798
241	43.897	599.785
242	44.078	599.783
243	43.604	599.797
244	41.827	599.797
245	40.996	599.780
246	39.987	599.773
247	39.625	599.783
248	39.528	599.788
249	39.257	599.783
250	38.940	599.789
251	38.311	599.790
252	37.785	599.784
253	37.014	599.795
254	36.294	599.796
255	35.722	599.800
256	35.266	599.785
257	34.988	599.783
258	34.805	599.792
259	34.490	599.782
260	34.612	599.790
261	35.155	599.795
262	39.568	599.790
263	42.077	599.790
264	40.524	599.783
265	37.711	599.768
266	35.917	599.755
267	33.804	599.735
268	33.157	599.721
269	32.127	599.695
270	33.155	599.687
271	34.264	599.689

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
272	33.982	599.675
273	32.130	599.678
274	31.874	599.701
275	33.481	599.772
276	38.655	599.793
278	51.615	599.770
279	47.205	599.764
280	39.350	599.722
281	35.650	599.681
282	33.583	599.658
283	32.214	599.638
284	42.136	599.648
285	48.479	599.667
286	48.042	599.656
287	79.751	599.655
288	74.245	599.663
289	66.711	599.660
290	62.518	599.482
291	62.630	599.441
292	75.819	599.442
293	81.104	599.406
294	70.545	599.390
295	53.890	599.386
296	47.413	599.381
297	71.170	599.415
298	68.916	599.436
299	70.639	599.437
300	65.817	599.411
301	55.370	599.166
302	46.893	598.860
303	42.088	598.798
304	39.481	598.783
305	37.751	598.778
306	39.067	598.789
307	51.916	598.778
308	44.111	598.775
309	43.452	598.774
310	50.474	598.776
311	49.584	598.781
312	49.220	598.766
313	39.848	598.766
314	34.959	598.745
315	33.320	598.784
316	32.592	598.790
317	31.499	598.760
318	30.775	598.768
319	29.395	598.738
320	39.068	598.773
321	83.902	598.754
322	106.229	598.750
323	84.702	598.763
324	84.464	598.773
325	58.115	598.783
326	46.295	598.758
327	41.346	598.755
328	37.696	598.769
329	35.573	598.766
330	33.790	598.770
331	37.801	598.788
332	38.367	598.790
333	83.243	598.794
334	72.375	598.777
335	54.758	598.776
336	41.665	598.758
337	38.056	598.787

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
338	38.743	598.743
339	47.109	598.754
340	53.069	598.783
341	87.814	598.780
342	136.189	598.762
343	126.428	598.749
344	128.592	598.771
345	155.759	598.760
346	124.400	598.786
347	102.000	598.789
348	73.388	598.786
349	58.456	598.745
350	51.409	598.739
351	53.697	598.784
352	59.679	598.773
353	71.203	598.792
354	73.736	598.792
355	77.246	598.792
356	92.630	598.775
357	79.992	598.787
358	89.440	598.785
359	66.118	598.775
360	67.325	598.773
361	149.740	598.764
362	91.729	598.773
363	67.346	598.749
364	56.257	598.747
365	49.990	598.790
366	47.856	598.790
367	67.708	598.750
368	60.283	598.783
369	56.655	598.769
370	75.357	598.755
371	91.946	598.761
372	89.728	598.751
373	89.541	598.794
374	94.951	598.738
375	95.314	598.707
376	97.899	598.717
377	109.692	598.770
378	106.502	598.724
379	78.772	598.738
380	64.782	598.785
381	60.289	598.739
382	123.554	598.748
383	152.297	598.663
384	175.738	598.621
385	188.206	598.563
386	194.958	598.559
387	185.310	598.585
388	165.625	598.575
389	142.759	598.580
390	121.887	598.575
391	171.801	598.577
392	185.174	598.580
393	248.313	598.568
394	271.727	598.562
395	250.272	598.587
396	209.261	598.587
397	181.674	598.545
398	218.728	598.502
399	179.635	598.538
400	178.606	598.552
401	223.704	598.530
402	185.499	598.535

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
403	157.217	598.552
404	129.885	598.533
405	114.391	598.562
406	95.953	598.561
407	88.782	598.532
410	96.881	598.515
411	86.266	598.503
412	80.338	598.521
413	75.007	598.533
414	75.842	598.538
415	74.747	598.550
416	81.119	598.566
417	73.782	598.525
418	69.832	598.515
419	65.111	598.519
420	62.559	598.527
421	60.764	598.558
422	77.110	598.553
423	78.641	598.553
424	88.945	598.584
425	84.548	598.550
426	69.938	598.566
427	66.094	598.553
428	70.987	598.576
429	67.779	598.576
430	64.080	598.590
431	62.011	598.571
432	58.329	598.552
433	56.582	598.558
434	57.153	598.528
435	56.065	598.552
436	54.363	598.535
437	53.089	598.573
438	52.548	598.533
439	168.199	598.555
440	269.495	598.544
441	209.386	598.540
442	183.753	598.539
443	156.473	598.544
444	140.591	598.521
445	146.537	598.554
446	149.259	598.552
447	147.607	598.585
448	154.070	598.557
449	173.471	598.570
450	139.187	598.526
451	121.021	598.557
452	107.303	598.578
453	96.465	598.548
454	84.782	598.591
455	80.104	598.588
456	79.139	598.527
457	75.402	598.525
458	71.679	598.500
459	90.914	598.535
460	121.232	598.518
461	131.830	598.537
462	114.006	598.548
463	100.511	598.560
464	87.708	598.548
465	82.342	598.525
466	78.055	598.525
467	75.484	598.507
468	75.149	598.528
469	77.589	598.517

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
470	74.865	598.511
471	70.792	598.566
472	69.236	598.522
473	70.914	598.556
474	69.230	598.590
475	66.876	598.532
476	82.052	598.537
477	83.374	598.516
478	77.172	598.568
479	69.858	598.516
480	68.420	598.501
481	67.662	598.534
482	68.458	598.678
483	66.214	598.751
484	66.256	598.840
485	65.946	598.830
486	64.441	598.865
487	62.953	598.930
488	61.240	598.963
489	60.589	598.980
490	59.727	598.982
491	58.608	599.005
492	57.823	599.065
493	57.328	599.035
494	56.526	598.999
495	56.719	599.081
496	56.453	599.186
497	56.277	599.340
498	55.127	599.555
499	54.370	599.743
500	54.177	599.752
501	53.726	599.793
502	53.238	599.786
503	53.019	599.769
504	52.578	599.770
505	51.907	599.768
506	51.478	599.791
507	57.114	599.790
508	68.497	599.783
509	65.489	599.775
510	67.871	599.789
513	101.442	599.780
514	85.427	599.767
515	76.607	599.776
516	72.297	599.772
517	68.765	599.787
518	66.450	599.754
519	64.582	599.803
520	62.887	599.780
521	61.259	599.766
522	60.161	599.770
523	59.609	599.777
524	59.332	599.793
525	59.050	599.790
526	58.317	599.767
527	57.804	599.744
528	58.028	599.330
529	56.851	598.975
530	56.683	598.940
531	55.827	598.951
532	55.053	599.000
533	54.314	599.285
534	53.938	599.479
535	53.938	599.489
536	56.037	599.507

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
537	65.776	599.653
538	65.461	599.777
539	59.185	599.785
540	56.350	599.778
541	55.076	599.799
542	54.259	599.789
543	53.422	599.788
544	48.512	599.776
545	61.831	599.785
546	67.185	599.770
547	60.927	599.786
548	56.092	599.761
549	53.784	599.758
550	52.486	599.780
551	51.468	599.798
552	51.204	599.786
553	51.335	599.770
554	50.872	599.777
555	50.195	599.779
556	49.401	599.767
557	49.045	599.744
558	49.045	599.760
559	48.579	599.788
560	48.003	599.780
561	47.486	599.797
562	46.987	599.795
563	46.721	599.765
564	46.589	599.761
565	46.753	599.773
566	48.274	599.769
567	49.113	599.771
568	49.099	599.757
569	47.490	599.764
570	46.357	599.794
571	51.500	599.760
572	60.146	599.769
573	55.133	599.789
574	50.157	599.767
575	48.011	599.790
576	46.745	599.777
577	45.722	599.778
578	44.588	599.770
579	44.178	599.773
580	43.387	599.783
581	42.953	599.793
582	42.654	599.798
583	42.210	599.800
584	41.903	599.792
585	41.503	599.788
586	41.472	599.777
587	41.472	599.763
588	40.968	599.777
589	40.700	599.800
590	40.177	599.800
591	40.023	599.784
592	39.548	599.768
593	39.340	599.763
594	39.031	599.765
595	38.629	599.763
596	38.429	599.789
597	38.726	599.790
598	40.011	599.760
599	39.550	599.771
600	38.194	599.794
601	32.163	599.785

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
602	31.913	599.790
603	31.766	599.782
604	35.199	599.779
605	41.794	599.795
606	39.064	599.781
607	35.227	599.782
608	33.276	599.777
609	32.134	599.790
610	66.422	599.790
611	53.864	599.790
612	43.502	599.790
613	41.628	599.789
614	43.982	599.778
615	43.696	599.790
616	39.854	599.798
617	37.145	599.781
618	35.799	599.768
619	35.064	599.766
620	34.870	599.748
621	34.535	599.779
622	34.882	599.808
623	36.123	599.774
624	38.086	599.778
625	36.220	599.773
626	34.989	599.759
627	35.642	599.800
628	34.952	599.772
629	33.886	599.754
630	32.877	599.770
631	31.966	599.793
632	31.267	599.770
633	31.705	599.768
634	40.459	599.762
635	45.292	599.761
636	58.842	599.756
637	56.882	599.770
638	45.310	599.777
639	38.591	599.786
640	37.196	599.796
641	38.933	599.796
642	38.740	599.779
643	36.852	599.762
644	34.837	599.764
645	35.679	599.780
646	35.383	599.780
647	33.408	599.780
648	31.574	599.778
649	30.035	599.765
650	28.993	599.757
651	29.282	599.783
652	27.669	599.794
653	21.980	599.795
654	23.443	599.770
655	23.002	599.754
656	28.760	599.755
657	27.569	599.780
658	26.757	599.778
659	28.665	599.767
660	43.161	599.775
661	62.697	599.785
662	59.248	599.748
663	42.214	599.765
664	37.401	599.778
665	44.016	599.765
666	68.596	599.729

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
667	84.072	599.668
668	74.023	599.605
669	60.677	599.549
670	52.510	599.512
671	51.949	599.491
672	59.402	599.472
673	69.118	599.428
674	103.233	599.378
675	84.098	599.312
676	73.994	599.230
677	54.600	599.242
678	44.213	599.267
679	39.478	599.242
680	40.603	599.187
681	39.024	599.088
682	36.702	599.058
683	34.103	599.193
684	33.207	599.233
685	32.351	599.042
686	33.813	598.924
687	45.463	598.728
688	44.367	598.633
689	41.407	598.642
690	40.072	598.601
691	34.694	598.631
692	40.472	598.598
693	51.124	598.568
694	92.234	598.577
695	76.873	598.580
696	59.193	598.563
697	44.146	598.529
698	37.650	598.596
699	36.963	598.590
700	40.760	598.573
701	46.247	598.561
702	55.867	598.563
703	52.203	598.533
704	41.441	598.593
705	43.802	598.600
706	83.756	598.588
707	73.928	598.574
708	51.988	598.562
709	44.116	598.558
710	48.542	598.596
711	55.596	598.595
712	54.061	598.589
713	46.497	598.585
714	40.537	598.591
715	36.410	598.551
716	37.810	598.556
717	51.927	598.588
718	74.299	598.573
719	79.049	598.593
720	60.931	598.586
721	52.482	598.581
722	55.569	598.587
723	61.413	598.585
724	53.472	598.600
725	51.849	598.589
726	69.449	598.597
727	56.076	598.595
728	52.613	598.600
729	50.783	598.571
730	52.693	598.584
731	73.266	598.573

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
732	147.889	598.591
733	203.266	598.578
734	239.868	598.581
735	305.895	598.600
736	224.184	598.598
737	218.796	598.575
738	179.023	598.562
739	148.467	598.561
740	110.033	598.581
741	81.997	598.564
742	69.646	598.568
743	64.408	598.596
744	60.167	598.571
745	56.695	598.573
746	53.654	598.596
747	50.690	598.576
748	49.981	598.598
749	53.268	598.600
750	50.934	598.583
751	46.982	598.565
752	43.241	598.548
753	40.962	598.462
754	39.269	598.528
755	38.513	598.561
756	37.628	598.553
757	36.836	598.563
758	38.828	598.567
759	50.581	598.575
760	64.996	598.558
761	70.415	598.554
762	103.623	598.562
763	83.305	598.561
764	63.643	598.597
765	59.789	598.576
766	55.831	598.586
767	59.920	598.574
768	48.008	598.596
769	43.173	598.559
770	76.793	598.561
771	128.574	598.553
772	181.323	598.597
773	195.975	598.580
774	148.288	598.569
775	131.993	598.583
776	128.078	598.600
777	144.021	598.595
778	152.673	598.584
779	148.744	598.587
780	126.768	598.565
781	129.901	598.582
782	117.957	598.577
783	137.418	598.563
784	145.514	598.595
785	122.962	598.576
786	102.351	598.567
787	90.699	598.605
788	84.447	598.582
789	74.290	598.577
790	83.195	598.579
791	86.828	598.587
792	78.426	598.542
793	73.310	598.580
794	132.688	598.599
795	157.495	598.572
796	336.465	598.572

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
797	269.682	598.553
798	181.714	598.577
799	143.480	598.535
800	143.353	598.585
801	122.597	598.568
802	96.272	598.570
803	82.915	598.545
804	78.016	598.586
805	76.066	598.558
806	76.576	598.555
807	74.361	598.581
808	69.127	598.584
809	66.197	598.547
810	74.865	598.553
811	85.723	598.601
812	83.232	598.578
813	73.493	598.598
814	112.067	598.565
815	107.802	598.558
816	102.166	598.555
817	88.421	598.580
818	111.601	598.561
819	240.451	598.566
820	133.010	598.564
821	128.159	598.568
822	91.129	598.580
823	80.780	598.572
824	75.900	598.565
825	62.529	598.577
826	69.694	598.581
827	82.032	598.578
828	67.664	598.589
829	99.472	598.552
830	110.903	598.565
831	106.977	598.585
832	81.373	598.560
833	69.097	598.570
834	64.495	598.568
835	61.792	598.597
836	61.235	598.590
837	61.288	598.573
838	60.600	598.557
839	58.451	598.565
840	57.062	598.576
841	55.291	598.570
842	54.435	598.562
843	54.137	598.546
844	52.811	598.595
845	51.748	598.570
846	51.167	598.593
847	51.558	598.594
848	50.385	598.578
849	49.535	598.582
850	49.168	598.573
851	48.221	598.565
852	48.057	598.581
853	48.314	598.598
854	49.151	598.561
855	48.487	598.593
856	49.690	598.595
857	48.509	598.648
858	48.651	598.679
859	48.737	598.724
860	52.107	598.776
861	49.563	598.850

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
862	48.697	598.854
863	48.031	598.902
864	47.685	598.951
865	47.279	598.997
866	46.613	599.122
867	46.607	599.229
868	45.933	599.316
869	45.316	599.378
870	44.189	599.458
871	45.373	599.607
872	46.157	599.747
873	47.198	599.816
874	49.914	599.793
875	52.638	599.749
876	49.128	599.782
877	47.058	599.794
878	46.026	599.791
879	45.337	599.747
880	44.142	599.742
881	43.349	599.798
882	42.917	599.790
883	42.748	599.772
884	42.513	599.795
885	41.949	599.780
886	41.627	599.781
887	41.281	599.768
888	41.111	599.762
889	40.777	599.794
890	39.376	599.794
891	39.719	599.773
892	39.500	599.770
893	39.774	599.771
894	39.561	599.775
895	39.098	599.789
896	38.829	599.790
897	38.303	599.794
898	38.257	599.795
899	38.177	599.795
900	38.008	599.800
901	37.429	599.800
902	37.926	599.800
903	37.214	599.794
904	37.233	599.784
905	37.657	599.783
906	37.302	599.768
907	38.030	599.760
908	48.339	599.760
909	47.491	599.762
910	44.437	599.768
911	40.064	599.770
912	39.478	599.770
913	39.284	599.770
914	39.233	599.767
915	38.930	599.770
916	38.413	599.780
917	37.940	599.790
918	36.674	599.788
919	36.476	599.793
920	35.883	599.793
921	36.014	599.795
922	39.582	599.784
923	41.381	599.775
924	39.122	599.778
925	37.350	599.794
926	35.965	599.800

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
927	35.677	599.799
928	35.115	599.771
929	34.782	599.789
930	34.362	599.788
931	34.326	599.783
932	33.961	599.790
933	33.562	599.800
934	32.892	599.790
935	32.578	599.764
936	32.194	599.756
937	32.279	599.750
938	31.499	599.765
939	31.440	599.797
940	31.757	599.800
941	36.688	599.785
942	40.625	599.758
943	42.240	599.773
944	39.841	599.798
945	36.668	599.790
946	35.904	599.766
947	34.846	599.760
948	33.735	599.772
949	32.692	599.790
950	31.667	599.796
951	31.308	599.773
952	30.714	599.751
953	30.449	599.753
954	30.074	599.762
955	29.906	599.772
956	28.994	599.787
957	28.578	599.796
958	28.298	599.800
959	27.659	599.787
960	26.786	599.800
961	26.440	599.775
962	26.575	599.758
963	26.701	599.770
964	26.315	599.770
965	26.121	599.770
966	25.440	599.745
967	24.001	599.727
968	24.329	599.748
969	26.486	599.763
970	28.676	599.770
971	29.595	599.770
972	28.301	599.768
973	26.943	599.760
974	25.505	599.745
975	29.608	599.732
976	36.165	599.710
977	37.682	599.683
978	34.059	599.653
979	30.989	599.630
980	29.631	599.608
981	28.080	599.586
982	28.050	599.569
983	27.385	599.542
984	26.779	599.505
985	25.537	599.461
986	24.983	599.450
987	24.101	599.477
988	22.397	599.515
989	22.271	599.536
990	21.941	599.540
991	27.485	599.544

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
992	35.938	599.569
993	36.830	599.660
994	40.045	599.758
995	40.226	599.785
996	37.088	599.758
997	32.012	599.746
998	35.681	599.735
999	33.624	599.723
1000	30.568	599.704
1001	29.284	599.679
1002	28.322	599.651
1003	27.136	599.617
1004	25.654	599.548
1005	28.677	599.478
1006	34.272	599.413
1007	38.500	599.364
1008	36.990	599.363
1009	42.930	599.468
1010	62.416	599.610
1011	62.886	599.755
1012	49.449	599.800
1013	37.987	599.798
1014	33.526	599.780
1015	32.898	599.793
1016	44.276	599.800
1017	43.136	599.790
1018	37.114	599.766
1019	41.142	599.756
1020	38.958	599.735
1021	34.872	599.706
1022	31.266	599.699
1023	29.264	599.752
1024	28.485	599.800
1025	26.951	599.782
1026	25.273	599.772
1027	24.186	599.748
1028	23.410	599.753
1029	22.436	599.708
1030	22.115	599.674
1031	23.336	599.609
1032	22.665	599.515
1033	21.415	599.540
1034	20.453	599.580
1035	22.329	599.564
1036	36.280	599.511
1037	61.667	599.423
1038	66.253	599.300
1039	66.786	599.205
1040	49.389	599.110
1041	39.682	599.051
1042	32.454	598.980
1043	30.223	598.914
1044	27.332	598.876
1045	28.561	598.795
1046	28.145	598.718
1047	26.630	598.678
1048	26.191	598.653
1049	26.220	598.635
1050	27.064	598.590
1051	27.687	598.516
1052	26.280	598.462
1053	27.299	598.544
1054	74.388	598.600
1055	87.868	598.590
1056	88.140	598.595

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
1057	72.936	598.592
1058	48.679	598.551
1059	35.859	598.557
1060	47.488	598.599
1061	51.411	598.598
1062	55.596	598.600
1063	49.449	598.600
1064	56.263	598.600
1065	43.180	598.586
1066	36.909	598.591
1067	33.315	598.600
1068	35.056	598.600
1069	47.100	598.600
1070	46.778	598.600
1071	57.989	598.598
1072	47.681	598.599
1073	41.497	598.600
1074	40.783	598.596
1075	36.582	598.556
1076	47.434	598.583
1077	36.040	598.600
1078	35.620	598.598
1079	45.674	598.600
1080	52.885	598.590
1081	66.151	598.600
1082	59.494	598.577
1083	46.490	598.579
1084	48.626	598.574
1085	68.005	598.589
1086	78.512	598.594
1087	65.047	598.600
1088	67.203	598.597
1089	116.336	598.600
1090	122.310	598.600
1091	104.657	598.600
1092	109.331	598.600
1093	75.390	598.599
1094	64.707	598.574
1095	113.561	598.594
1096	163.000	598.595
1097	156.420	598.583
1098	158.697	598.600
1099	206.031	598.589
1100	279.082	598.590
1101	338.912	598.600
1102	439.598	598.600
1103	412.729	598.597
1104	303.590	598.600
1105	232.065	598.600
1106	188.990	598.600
1107	154.551	598.600
1108	170.977	598.598
1109	200.295	598.595
1110	163.408	598.600
1111	158.667	598.598
1112	142.263	598.597
1113	219.428	598.516
1114	361.576	598.495
1115	268.295	598.495
1116	225.367	598.494
1117	202.373	598.500
1118	174.949	598.495
1119	194.178	598.499
1120	169.439	598.468
1121	165.501	598.450

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
1122	219.349	598.452
1123	193.083	598.450
1124	241.897	598.455
1125	248.157	598.444
1126	237.267	598.402
1127	205.176	598.400
1128	179.880	598.400
1129	190.190	598.400
1130	158.194	598.399
1131	141.744	598.399
1132	141.027	598.400
1133	155.224	598.397
1134	177.059	598.382
1135	206.566	598.389
1136	177.249	598.397
1137	145.770	598.400
1138	146.109	598.400
1139	132.128	598.400
1140	112.104	598.400
1141	98.032	598.400
1142	88.942	598.400
1143	85.329	598.400
1144	87.597	598.390
1145	82.361	598.389
1146	91.052	598.400
1147	91.132	598.425
1148	79.195	598.441
1149	71.858	598.446
1150	67.095	598.439
1151	64.639	598.449
1152	85.473	598.443
1153	100.988	598.440
1154	97.379	598.424
1155	78.051	598.442
1156	67.870	598.437
1157	62.701	598.450
1158	59.470	598.439
1159	57.085	598.434
1160	55.278	598.450
1161	54.529	598.440
1162	53.085	598.447
1163	53.781	598.443
1164	57.863	598.420
1165	60.877	598.414
1166	77.401	598.412
1167	74.619	598.450
1168	64.946	598.448
1169	73.095	598.453
1170	72.000	598.485
1171	69.465	598.530
1172	83.910	598.473
1173	193.779	598.519
1174	267.695	598.508
1175	207.188	598.546
1176	156.618	598.526
1177	124.707	598.493
1178	112.944	598.526
1179	105.412	598.600
1180	96.998	598.599
1181	89.490	598.599
1182	87.858	598.593
1183	75.529	598.600
1184	69.690	598.577
1185	65.171	598.600
1186	62.923	598.600

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
1187	61.270	598.596
1188	58.791	598.558
1189	56.752	598.595
1190	56.494	598.599
1191	59.378	598.598
1192	66.905	598.579
1193	116.126	598.563
1194	194.380	598.578
1195	141.613	598.600
1196	97.698	598.580
1197	77.394	598.573
1198	72.003	598.595
1199	74.530	598.580
1200	73.955	598.578
1201	64.240	598.592
1202	62.806	598.588
1203	68.391	598.584
1204	63.246	598.576
1205	56.911	598.580
1206	58.830	598.643
1207	58.115	598.881
1208	66.104	599.062
1209	61.478	599.287
1210	57.258	599.555
1211	56.150	599.673
1212	61.592	599.462
1213	65.018	599.470
1214	62.351	599.485
1215	59.073	599.478
1216	57.615	599.485
1217	54.356	599.474
1218	52.425	599.468
1219	52.417	599.494
1220	50.349	599.480
1221	49.377	599.488
1222	48.979	599.469
1223	49.064	599.478
1224	49.781	599.475
1225	49.897	599.496
1226	50.213	599.594
1227	48.455	599.680
1228	46.687	599.794
1229	47.845	599.794
1230	46.815	599.785
1231	48.741	599.760
1232	43.586	599.768
1233	44.152	599.763
1234	42.941	599.773
1235	40.933	599.763
1236	43.286	599.780
1237	49.243	599.776
1238	81.487	599.755
1239	102.134	599.782
1240	85.271	599.785
1241	63.170	599.786
1242	56.747	599.780
1243	56.499	599.775
1244	56.256	599.763
1245	55.621	599.760
1246	52.351	599.773
1247	47.794	599.789
1248	49.628	599.800
1249	79.596	599.800
1250	104.261	599.772
1251	85.811	599.779

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
1252	68.296	599.774
1253	59.546	599.765
1254	54.247	599.768
1255	53.737	599.779
1256	51.292	599.756
1257	49.245	599.781
1258	48.582	599.760
1259	46.721	599.760
1260	46.641	599.783
1261	45.366	599.775
1262	44.953	599.787
1263	45.095	599.769
1264	44.267	599.746
1265	42.873	599.784
1266	42.505	599.800
1267	41.446	599.785
1268	40.189	599.747
1269	40.025	599.784
1270	41.469	599.775
1271	41.766	599.774
1272	40.654	599.796
1273	39.262	599.791
1274	38.259	599.770
1275	38.285	599.800
1276	37.837	599.800
1277	38.930	599.800
1278	37.885	599.783
1279	36.374	599.772
1280	35.617	599.796
1281	35.267	599.780
1282	34.201	599.754
1283	33.157	599.770
1284	33.243	599.786
1285	33.492	599.795
1286	32.064	599.800
1287	32.422	599.800
1288	33.108	599.790
1289	31.381	599.781
1290	30.421	599.800
1291	29.674	599.799
1292	31.847	599.771
1293	41.634	599.764
1294	69.835	599.797
1295	81.633	599.764
1296	69.034	599.796
1297	50.344	599.778
1298	41.373	599.796
1299	39.765	599.779
1300	55.837	599.782
1301	268.913	599.762
1302	348.385	599.787
1303	252.437	599.770
1304	157.692	599.773
1305	109.554	599.794
1306	82.561	599.765
1307	72.860	599.793
1308	66.696	599.774
1309	61.889	599.785
1310	59.841	599.784
1311	57.538	599.800
1312	53.731	599.800
1313	52.569	599.757
1314	50.899	599.752
1315	49.679	599.778
1316	48.949	599.768

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
1317	46.966	599.790
1318	46.311	599.799
1319	45.998	599.793
1320	44.564	599.764
1321	43.940	599.737
1322	43.069	599.771
1323	42.107	599.778
1324	40.670	599.768
1325	40.818	599.759
1326	40.223	599.755
1327	39.448	599.762
1328	41.818	599.798
1329	40.812	599.773
1330	40.014	599.798
1331	39.895	599.789
1332	39.587	599.782
1333	39.381	599.800
1334	39.453	599.800
1335	39.840	599.800
1336	39.826	599.800
1337	39.329	599.800
1338	38.248	599.800
1339	38.152	599.769
1340	36.043	599.797
1341	45.954	599.800
1342	56.524	599.800
1343	48.115	599.800
1344	44.206	599.800
1345	40.474	599.796
1346	38.460	599.795
1347	37.058	599.800
1348	36.339	599.800
1349	35.309	599.800
1350	34.370	599.800
1351	33.305	599.800
1352	32.613	599.800
1353	32.191	599.800
1354	31.651	599.800
1355	31.685	599.800
1356	30.599	599.800
1357	28.899	599.800
1358	27.722	599.800
1359	28.224	599.797
1360	27.950	599.788
1361	26.984	599.800
1362	26.810	599.800
1363	27.469	599.796
1364	25.934	599.786
1365	24.889	599.799
1366	25.747	599.800
1367	25.313	599.800
1368	24.376	599.795
1369	24.256	599.781
1370	25.737	599.775
1371	27.076	599.770
1372	23.492	599.758
1373	21.916	599.727
1374	21.451	599.694
1375	20.842	599.638
1376	21.088	599.608
1377	20.711	599.594
1378	19.529	599.574
1379	18.956	599.535
1380	16.644	599.463
1381	18.761	599.392

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
1382	19.172	599.298
1383	10.487	599.225
1384	18.188	599.146
1385	14.831	599.080
1386	12.646	599.077
1387	10.397	599.021
1388	9.680	599.020
1389	15.624	599.025
1390	15.913	599.006
1391	16.643	598.958
1392	18.905	598.913
1393	34.210	598.849
1394	47.655	598.799
1395	37.654	598.733
1396	23.024	598.685
1397	18.216	598.613
1398	31.404	598.505
1399	22.298	598.410
1400	21.852	598.359
1401	53.050	598.535
1402	63.089	598.701
1403	96.635	598.793
1404	127.244	598.828
1405	106.110	598.803
1406	93.846	598.801
1407	76.934	598.808
1408	99.925	598.780
1409	89.202	598.777
1410	143.902	598.800
1411	120.359	598.794
1412	97.003	598.795
1413	73.882	598.787
1414	79.547	598.765
1415	144.464	598.798
1416	117.301	598.776
1417	84.044	598.798
1418	63.388	598.799
1419	82.460	598.774
1420	78.688	598.763
1421	60.749	598.790
1422	48.245	598.776
1423	42.633	598.768
1424	41.218	598.765
1425	39.232	598.769
1426	38.906	598.770
1427	37.159	598.795
1428	34.706	598.763
1429	33.057	598.787
1430	31.147	598.777
1431	30.153	598.769
1432	28.209	598.784
1433	28.160	598.771
1434	31.273	598.758
1435	32.111	598.736
1436	62.769	598.765
1437	122.543	598.778
1438	87.127	598.771
1439	64.188	598.773
1440	74.083	598.785
1441	88.545	598.764
1442	173.200	598.775
1443	127.900	598.776
1444	104.208	598.762
1445	82.683	598.743
1446	89.150	598.779

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
1447	77.719	598.799
1448	97.651	598.796
1449	198.540	598.771
1450	225.129	598.749
1451	185.146	598.760
1452	142.639	598.772
1453	105.344	598.788
1454	86.074	598.778
1455	84.876	598.792
1456	67.688	598.765
1457	58.342	598.758
1458	52.147	598.770
1459	49.503	598.722
1460	45.618	598.614
1461	42.483	598.658
1462	62.926	598.639
1463	76.342	598.665
1464	81.586	598.617
1465	86.022	598.646
1466	135.143	598.640
1467	201.161	598.633
1468	172.905	598.572
1469	104.515	598.568
1470	84.348	598.573
1471	73.202	598.593
1472	84.591	598.587
1473	112.430	598.566
1474	144.634	598.595
1475	158.365	598.582
1476	153.471	598.574
1477	128.711	598.566
1478	154.669	598.567
1479	325.751	598.584
1480	426.150	598.591
1481	362.884	598.581
1482	294.388	598.582
1483	238.394	598.599
1484	185.703	598.562
1485	158.041	598.579
1486	192.802	598.562
1487	208.233	598.571
1488	177.805	598.600
1489	161.432	598.599
1490	317.199	598.584
1491	309.069	598.587
1492	237.954	598.582
1493	190.990	598.576
1494	287.742	598.558
1495	475.551	598.576
1496	300.033	598.598
1497	218.202	598.575
1498	190.220	598.583
1499	210.244	598.556
1500	188.012	598.552
1501	172.797	598.564
1502	155.406	598.567
1503	160.329	598.596
1504	257.928	598.574
1505	246.875	598.573
1506	313.376	598.582
1507	201.541	598.575
1508	174.423	598.565
1509	166.331	598.567
1510	190.764	598.583
1511	157.592	598.574

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
1512	218.769	598.544
1513	290.428	598.530
1514	256.876	598.535
1515	252.028	598.580
1516	322.298	598.600
1517	219.404	598.588
1518	184.629	598.560
1519	168.238	598.578
1520	165.650	598.584
1521	161.066	598.591
1522	220.148	598.585
1523	196.264	598.581
1524	161.479	598.567
1525	132.321	598.559
1526	120.372	598.565
1527	111.574	598.585
1528	108.639	598.581
1529	143.583	598.590
1530	156.523	598.600
1531	179.993	598.587
1532	154.088	598.587
1533	176.801	598.571
1534	329.023	598.575
1535	136.838	598.590
1536	164.859	598.575
1537	342.192	598.581
1538	373.283	598.591
1539	332.596	598.586
1540	216.677	598.578
1541	202.667	598.575
1542	161.212	598.591
1543	131.273	598.586
1544	114.192	598.577
1545	103.444	598.598
1546	117.455	598.597
1547	95.192	598.595
1548	91.545	598.588
1549	83.101	598.570
1550	82.141	598.583
1551	80.030	598.595
1552	76.576	598.566
1553	75.232	598.577
1554	76.576	598.593
1555	102.869	598.578
1556	90.202	598.477
1557	93.848	598.436
1558	91.162	598.439
1559	127.051	598.455
1560	136.838	598.440
1561	167.354	598.443
1562	205.929	598.473
1563	171.576	598.463
1564	136.838	598.460
1565	149.697	598.458
1566	158.141	598.473
1567	175.606	598.463
1568	151.616	598.461
1569	168.505	598.502
1570	127.434	598.585
1571	125.515	598.571
1572	151.616	598.590
1573	181.939	598.590
1574	172.152	598.580
1575	141.636	598.544
1576	118.798	598.580

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
1577	97.495	598.585
1578	94.616	598.590
1579	90.202	598.564
1580	87.899	598.559
1581	114.192	598.574
1582	114.192	598.577
1583	186.162	598.569
1584	148.162	598.573
1585	134.343	598.583
1586	115.535	598.595
1587	99.606	598.593
1588	93.848	598.576
1589	90.586	598.578
1590	87.899	598.608
1591	85.788	598.577
1592	84.444	598.558
1593	83.101	598.583
1594	82.141	598.583
1595	84.061	598.657
1596	79.071	598.843
1597	80.414	599.010
1598	77.343	599.430
1599	77.919	599.758
1600	77.919	599.788
1601	75.616	599.785
1602	66.020	599.756
1603	69.667	599.768
1604	68.899	599.768
1605	71.010	599.786
1606	70.242	599.774
1607	69.667	599.776
1608	68.131	599.790
1609	67.172	599.798
1610	64.293	599.788
1611	69.667	599.770
1612	71.394	599.756
1613	78.303	599.760
1614	90.202	599.777
1615	84.828	599.785
1616	83.101	599.792
1617	96.535	599.777
1618	93.273	599.783
1619	90.586	599.755
1620	73.889	599.787
1621	69.283	599.773
1622	64.677	599.780
1623	66.020	599.777
1624	77.343	599.799
1625	63.909	599.776
1626	58.919	599.770
1627	61.798	599.787
1628	62.182	599.800
1629	63.909	599.790
1630	63.525	599.782
1631	63.909	599.775
1632	62.566	599.791
1633	62.182	599.768
1634	58.919	599.783
1635	61.414	599.761
1636	60.646	599.800
1637	61.798	599.800
1638	66.404	599.773
1639	66.404	599.783
1640	56.616	599.779
1641	54.889	599.772

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
1642	55.657	599.766
1643	55.273	599.755
1644	52.202	599.764
1645	57.000	599.793
1646	54.121	599.800
1647	52.202	599.772
1648	52.202	599.767
1649	50.475	599.779
1650	48.939	599.780
1651	58.535	599.774
1652	46.253	599.765
1653	50.859	599.762
1654	45.485	599.792
1655	46.253	599.797
1656	44.717	599.761
1657	48.172	599.758
1658	48.172	599.750
1659	47.020	599.768
1660	46.636	599.799
1661	47.404	599.762
1662	45.869	599.796
1663	47.404	599.760
1664	42.759	599.756
1665	45.101	599.797
1666	42.798	599.798
1667	42.414	599.777
1668	43.949	599.760
1669	42.798	599.786
1670	43.566	599.800
1671	40.495	599.782
1672	42.414	599.762
1673	42.030	599.758
1674	39.919	599.747
1675	39.535	599.755
1676	39.152	599.777
1677	39.919	599.798
1678	39.535	599.800
1679	39.535	599.795
1680	51.434	599.787
1681	59.303	599.795
1682	66.020	599.794
1683	71.010	599.769
1684	50.475	599.751
1685	50.859	599.760
1686	48.172	599.770
1687	45.101	599.772
1688	43.949	599.775
1689	46.559	599.773
1690	46.517	599.745
1691	41.833	599.772
1692	46.315	599.762
1693	31.835	599.793
1694	40.021	599.783
1695	57.012	599.800
1696	45.195	599.800
1697	42.573	599.782
1698	61.649	599.776
1699	76.799	599.800
1700	48.332	599.788
1701	47.623	599.768
1702	67.680	599.772
1703	47.463	599.755
1704	59.193	599.756
1705	43.251	599.800
1706	45.839	599.788

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
1707	41.983	599.782
1708	41.374	599.783
1709	35.039	599.748
1710	32.800	599.773
1711	29.939	599.800
1712	32.818	599.771
1713	32.434	599.780
1714	32.174	599.800
1715	28.149	599.785
1716	23.622	599.762
1717	25.501	599.789
1718	27.748	599.788
1719	32.294	599.800
1720	35.309	599.799
1721	34.754	599.773
1722	34.898	599.770
1723	34.558	599.786
1724	34.547	599.794
1725	45.298	599.800
1726	76.241	599.800
1727	83.557	599.799
1728	65.507	599.790
1729	54.213	599.782
1730	49.368	599.776
1731	62.651	599.800
1732	68.368	599.800
1733	57.149	599.771
1734	32.375	599.753
1735	31.738	599.741
1736	32.342	599.753
1737	37.221	599.785
1738	42.424	599.800
1739	32.991	599.783
1740	37.722	599.755
1741	55.332	599.752
1742	49.682	599.772
1743	45.699	599.793
1744	42.065	599.760
1745	38.720	599.780
1746	40.410	599.785
1747	37.701	599.769
1748	33.754	599.780
1749	34.545	599.790
1750	32.326	599.777
1751	26.342	599.793
1752	26.593	599.767
1753	32.666	599.773
1754	39.894	599.800
1755	33.681	599.780
1756	39.032	599.754
1757	35.917	599.785
1758	28.284	599.700
1759	26.147	599.595
1760	27.661	599.486
1761	24.974	599.389
1762	20.668	599.270
1763	22.013	599.159
1764	64.243	599.008
1765	64.268	598.880
1766	58.858	598.779
1767	37.068	598.653
1768	66.849	598.581
1769	64.713	598.563
1770	49.805	598.599
1771	41.218	598.600

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
1772	37.513	598.600
1773	43.035	598.600
1774	42.414	598.600
1775	36.178	598.600
1776	37.940	598.600
1777	81.102	598.593
1778	81.465	598.563
1779	83.770	598.573
1780	107.563	598.599
1781	105.275	598.600
1782	60.210	598.598
1783	48.924	598.600
1784	44.236	598.593
1785	50.536	598.600
1786	37.918	598.600
1787	37.656	598.592
1788	55.622	598.600
1789	48.822	598.599
1790	84.808	598.598
1791	58.354	598.600
1792	52.071	598.600
1793	56.411	598.600
1794	49.699	598.600
1795	56.441	598.600
1796	44.054	598.580
1797	44.242	598.596
1798	36.203	598.578
1799	43.066	598.590
1800	43.178	598.577
1801	35.469	598.595
1802	27.457	598.585
1803	27.658	598.579
1804	27.329	598.592
1805	27.480	598.600
1806	27.303	598.595
1807	37.702	598.593
1808	42.966	598.583
1809	35.249	598.580
1810	54.370	598.600
1811	37.932	598.586
1812	77.600	598.600
1813	70.795	598.595
1814	73.204	598.589
1815	85.702	598.596
1816	108.979	598.600
1817	93.642	598.600
1818	93.889	598.583
1819	62.992	598.600
1820	143.270	598.600
1821	178.826	598.600
1822	124.307	598.598
1823	93.376	598.600
1824	72.307	598.595
1825	68.138	598.598
1826	75.757	598.590
1827	275.657	598.596
1828	182.047	598.582
1829	131.884	598.594
1830	200.332	598.573
1831	192.635	598.597
1832	142.559	598.600
1833	109.129	598.585
1834	101.978	598.585
1835	94.299	598.580
1836	211.312	598.590

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
1837	213.062	598.600
1838	144.725	598.600
1839	104.509	598.585
1840	79.086	598.596
1841	86.848	598.563
1842	106.788	598.597
1843	107.878	598.600
1844	111.576	598.606
1845	131.292	598.572
1846	101.390	598.575
1847	142.475	598.598
1848	120.312	598.579
1849	109.890	598.580
1850	92.483	598.576
1851	73.729	598.599
1852	92.488	598.597
1853	132.963	598.590
1854	122.358	598.587
1855	195.546	598.526
1856	293.776	598.571
1857	275.205	598.558
1858	254.844	598.572
1859	224.184	598.593
1860	245.561	598.590
1861	240.070	598.595
1862	342.369	598.598
1863	268.186	598.574
1864	195.405	598.594
1865	192.749	598.594
1866	231.796	598.590
1867	231.761	598.599
1868	207.767	598.579
1869	280.617	598.600
1870	339.509	598.580
1871	337.996	598.585
1872	426.445	598.578
1873	415.360	598.579
1874	323.219	598.572
1875	259.169	598.549
1876	213.589	598.554
1877	185.821	598.571
1878	159.963	598.541
1879	142.886	598.499
1880	146.193	598.518
1881	180.530	598.521
1882	186.745	598.506
1883	158.002	598.521
1884	186.745	598.500
1885	174.627	598.516
1886	147.363	598.534
1887	133.555	598.526
1888	120.503	598.494
1889	112.903	598.485
1890	107.421	598.470
1891	104.557	598.492
1892	104.118	598.467
1893	124.609	598.473
1894	136.898	598.458
1895	201.038	598.494
1896	191.749	598.473
1897	161.619	598.492
1898	188.572	598.520
1899	222.270	598.501
1900	202.972	598.502
1901	168.309	598.546

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
1902	142.631	598.525
1903	129.295	598.489
1904	126.756	598.495
1905	151.343	598.596
1906	124.943	598.600
1907	127.231	598.600
1908	140.111	598.600
1909	143.814	598.577
1910	114.130	598.586
1911	104.846	598.569
1912	104.490	598.595
1913	104.689	598.590
1914	133.910	598.567
1915	146.098	598.598
1916	143.177	598.600
1917	129.585	598.578
1918	107.608	598.556
1919	98.927	598.579
1920	91.367	598.585
1921	91.483	598.598
1922	112.451	598.589
1923	145.220	598.585
1924	166.465	598.600
1925	131.257	598.600
1926	105.972	598.600
1927	95.843	598.600
1928	89.638	598.588
1929	91.931	598.585
1930	135.838	598.591
1931	144.397	598.600
1932	124.585	598.600
1933	102.261	598.600
1934	93.451	598.600
1935	86.058	598.600
1936	83.390	598.590
1937	81.787	598.577
1938	74.812	598.589
1939	81.503	598.597
1940	78.558	598.587
1941	81.775	598.600
1942	74.887	598.575
1943	75.046	598.586
1944	74.995	598.562
1945	74.127	598.577
1946	73.346	598.585
1947	71.378	598.588
1948	68.026	598.595
1949	65.662	598.577
1950	73.943	598.597
1951	70.786	598.596
1952	74.855	598.571
1953	76.074	598.577
1954	62.342	598.568
1955	59.986	598.591
1956	60.217	598.585
1957	66.781	598.588
1958	69.749	598.581
1959	63.266	598.597
1960	62.502	598.600
1961	95.738	598.600
1962	97.366	598.597
1963	95.610	598.573
1964	78.227	598.570
1965	72.281	598.630
1966	71.682	598.581

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
1967	69.867	598.594
1968	68.903	598.600
1969	68.334	598.583
1970	64.962	598.495
1971	63.444	598.697
1972	65.792	598.958
1973	69.755	599.265
1974	70.655	599.553
1975	65.384	599.774
1976	63.145	599.758
1977	63.395	599.799
1978	63.932	599.737
1979	76.161	599.712
1980	75.805	599.708
1981	69.676	599.700
1982	67.870	599.713
1983	69.518	599.789
1984	72.313	599.800
1985	71.250	599.800
1986	66.689	599.795
1987	66.165	599.786
1988	68.114	599.785
1989	67.370	599.796
1990	73.668	599.800
1991	69.540	599.781
1992	63.586	599.776
1993	54.546	599.777
1994	53.216	599.790
1995	48.525	599.788
1996	45.677	599.800
1997	44.527	599.798
1998	45.634	599.775
1999	48.331	599.783
2000	47.407	599.780
2001	44.699	599.774
2002	48.583	599.800
2003	57.048	599.784
2004	58.406	599.785
2005	76.946	599.793
2006	86.775	599.800
2007	71.961	599.798
2008	49.591	599.777
2009	48.303	599.760
2010	46.484	599.760
2011	45.483	599.784
2012	45.353	599.800
2013	59.348	599.800
2014	76.382	599.796
2015	44.076	599.788
2016	44.067	599.775
2017	43.087	599.773
2018	43.274	599.780
2019	50.313	599.782
2020	68.296	599.777
2021	59.822	599.783
2022	47.630	599.794
2023	45.308	599.778
2024	40.244	599.782
2025	39.981	599.764
2026	40.482	599.780
2027	40.909	599.778
2028	40.355	599.781
2029	40.194	599.798
2030	39.784	599.800
2031	44.118	599.800

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
2032	68.054	599.800
2033	78.433	599.786
2034	79.529	599.790
2035	55.722	599.782
2036	55.171	599.794
2037	51.983	599.800
2038	55.695	599.781
2039	46.267	599.778
2040	40.710	599.772
2041	45.760	599.772
2042	38.510	599.798
2043	40.079	599.800
2044	43.762	599.800
2045	33.843	599.800
2046	40.323	599.800
2047	33.365	599.791
2048	32.305	599.798
2049	32.123	599.800
2050	38.876	599.790
2051	34.784	599.789
2052	32.222	599.784
2053	31.984	599.794
2054	32.018	599.800
2055	31.135	599.800
2056	31.864	599.788
2057	50.098	599.790
2058	76.800	599.792
2059	113.623	599.780
2060	111.452	599.800
2061	83.574	599.788
2062	73.695	599.783
2063	65.135	599.799
2064	61.159	599.782
2065	52.416	599.798
2066	47.835	599.800
2067	41.620	599.800
2068	42.666	599.785
2069	42.417	599.781
2070	40.313	599.789
2071	36.197	599.790
2072	37.973	599.783
2073	36.402	599.790
2074	36.060	599.798
2075	37.110	599.767
2076	43.047	599.799
2077	64.469	599.765
2078	162.210	599.770
2079	218.313	599.758
2080	149.189	599.766
2081	104.663	599.777
2082	69.802	599.770
2083	61.968	599.771
2084	49.290	599.782
2085	52.335	599.800
2086	41.500	599.790
2087	45.962	599.775
2088	51.599	599.771
2089	37.114	599.778
2090	42.089	599.768
2091	75.365	599.782
2092	112.371	599.793
2093	111.791	599.800
2094	95.320	599.791
2095	75.532	599.794
2096	58.058	599.797

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
2097	59.554	599.783
2098	78.068	599.781
2099	92.306	599.775
2100	85.776	599.765
2101	74.790	599.776
2102	75.159	599.775
2103	82.297	599.765
2104	79.937	599.798
2105	72.937	599.775
2106	91.157	599.762
2107	78.088	599.799
2108	79.910	599.800
2109	56.788	599.788
2110	55.543	599.778
2111	56.217	599.773
2112	59.704	599.790
2113	50.450	599.799
2114	51.879	599.783
2115	56.260	599.798
2116	61.362	599.790
2117	49.225	599.681
2118	92.662	599.433
2119	159.612	599.194
2120	127.242	599.015
2121	99.610	598.867
2122	87.511	598.665
2123	72.051	598.600
2124	57.172	598.600
2125	52.661	598.600
2126	106.602	598.598
2127	80.479	598.587
2128	65.764	598.620
2129	56.604	598.575
2130	58.412	598.558
2131	52.135	598.569
2132	41.247	598.597
2133	39.584	598.597
2134	40.763	598.578
2135	37.157	598.600
2136	39.676	598.595
2137	50.605	598.585
2138	51.072	598.582
2139	65.674	598.585
2140	79.404	598.573
2141	83.904	598.557
2142	102.513	598.565
2143	69.087	598.593
2144	56.093	598.567
2145	48.647	598.579
2146	106.055	598.549
2147	94.030	598.594
2148	79.560	598.579
2149	58.294	598.589
2150	47.315	598.600
2151	56.479	598.599
2152	65.298	598.580
2153	54.527	598.609
2154	89.730	598.596
2155	85.897	598.575
2156	70.782	598.600
2157	98.405	598.600
2158	139.130	598.597
2159	248.518	598.583
2160	270.646	598.570
2161	204.399	598.600

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
2162	167.521	598.591
2163	278.852	598.600
2164	258.777	598.584
2165	217.894	598.593
2166	182.575	598.576
2167	168.634	598.579
2168	229.289	598.568
2169	394.981	598.575
2170	365.274	598.579
2171	459.125	598.600
2172	430.789	598.586
2173	400.656	598.570
2174	447.401	598.584
2175	353.395	598.596
2176	313.553	598.600
2177	299.090	598.599
2178	339.767	598.564
2179	306.827	598.564
2180	269.000	598.585
2181	217.614	598.553
2182	194.639	598.550
2183	185.530	598.568
2184	188.680	598.599
2185	216.205	598.589
2186	225.571	598.588
2187	254.334	598.562
2188	374.153	598.549
2189	511.322	598.526
2190	551.824	598.525
2191	410.259	598.537
2192	289.165	598.545
2193	229.191	598.521
2194	218.208	598.540
2195	195.914	598.554
2196	195.275	598.590
2197	316.029	598.571
2198	357.191	598.549
2199	330.649	598.586
2200	307.539	598.564
2201	276.231	598.595
2202	237.835	598.583
2203	243.577	598.574
2204	258.625	598.599
2205	241.078	598.591
2206	316.753	598.578
2207	318.046	598.529
2208	425.004	598.503
2209	411.570	598.508
2210	370.722	598.515
2211	294.592	598.503
2212	328.156	598.525
2213	484.063	598.528
2214	415.300	598.540
2215	437.918	598.549
2216	403.537	598.545
2217	506.691	598.532
2218	506.456	598.541
2219	428.710	598.573
2220	602.560	598.597
2221	652.718	598.592
2222	516.320	598.565
2223	378.828	598.574
2224	382.104	598.558
2225	331.732	598.581
2226	327.341	598.555

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
2227	260.682	598.553
2228	228.222	598.541
2229	213.891	598.563
2230	227.358	598.552
2231	184.903	598.554
2232	228.359	598.552
2233	216.252	598.571
2234	200.704	598.446
2235	180.290	598.444
2236	158.186	598.458
2237	143.058	598.551
2238	140.115	598.619
2239	150.949	598.485
2240	169.838	598.415
2241	175.040	598.440
2242	163.792	598.429
2243	200.200	598.439
2244	156.698	598.431
2245	138.336	598.418
2246	144.532	598.431
2247	230.051	598.464
2248	174.368	598.546
2249	148.960	598.587
2250	148.327	598.563
2251	195.854	598.590
2252	285.207	598.589
2253	239.430	598.586
2254	184.020	598.577
2255	153.496	598.592
2256	162.800	598.590
2257	183.309	598.588
2258	161.408	598.564
2259	139.222	598.585
2260	120.882	598.586
2261	101.209	598.580
2262	96.214	598.583
2263	93.011	598.577
2264	94.955	598.590
2265	254.209	598.567
2266	232.981	598.575
2267	180.671	598.578
2268	149.417	598.588
2269	124.846	598.586
2270	102.324	598.572
2271	132.974	598.564
2272	182.369	598.560
2273	199.939	598.588
2274	188.715	598.580
2275	166.361	598.562
2276	150.056	598.570
2277	130.191	598.575
2278	111.835	598.573
2279	101.469	598.575
2280	110.761	598.595
2281	128.211	598.567
2282	145.830	598.578
2283	171.337	598.565
2284	122.915	598.563
2285	114.751	598.578
2286	137.470	598.593
2287	141.911	598.583
2288	127.029	598.566
2289	145.008	598.569
2290	130.171	598.573
2291	120.557	598.587

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
2292	113.424	598.565
2293	109.549	598.572
2294	108.321	598.573
2295	104.879	598.570
2296	99.874	598.577
2297	94.820	598.569
2298	93.220	598.553
2299	91.344	598.587
2300	86.636	598.587
2301	81.766	598.558
2302	78.546	598.553
2303	74.841	598.558
2304	73.616	598.566
2305	73.844	598.574
2306	76.918	598.566
2307	72.785	598.576
2308	67.740	598.551
2309	68.502	598.570
2310	67.338	598.583
2311	67.353	598.560
2312	69.007	598.593
2313	71.497	598.571
2314	71.951	598.569
2315	71.601	598.563
2316	70.056	598.564
2317	70.936	598.556
2318	69.522	598.566
2319	67.479	598.565
2320	78.411	598.579
2321	85.011	598.587
2322	78.897	598.568
2323	78.829	598.600
2324	84.100	598.580
2325	86.573	598.586
2326	85.323	598.576
2327	84.691	598.569
2328	84.197	598.598
2329	80.093	598.796
2330	78.600	599.105
2331	87.764	599.395
2332	91.919	599.519
2333	84.257	599.513
2334	80.210	599.534
2335	77.649	599.561
2336	77.171	599.583
2337	77.758	599.645
2338	80.142	599.732
2339	74.869	599.743
2340	70.143	599.771
2341	67.657	599.775
2342	68.415	599.782
2343	74.990	599.756
2344	75.238	599.793
2345	75.054	599.733
2346	72.797	599.792
2347	78.415	599.774
2348	97.852	599.798
2349	95.576	599.800
2350	84.835	599.781
2351	82.455	599.763
2352	79.887	599.789
2353	80.787	599.797
2354	81.715	599.769
2355	77.577	599.800
2356	75.633	599.774

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
2357	75.979	599.780
2358	74.258	599.799
2359	73.183	599.778
2360	71.013	599.767
2361	67.395	599.794
2362	65.559	599.797
2363	63.521	599.788
2364	64.472	599.782
2365	66.184	599.800
2366	65.948	599.795
2367	65.176	599.754
2368	62.348	599.784
2369	63.229	599.783
2370	63.490	599.758
2371	62.511	599.784
2372	64.667	599.781
2373	64.477	599.748
2374	63.974	599.778
2375	63.943	599.798
2376	63.650	599.793
2377	63.185	599.770
2378	62.315	599.769
2379	59.822	599.790
2380	60.266	599.773
2381	59.470	599.749
2382	58.317	599.784
2383	54.309	599.798
2384	51.555	599.798
2385	53.522	599.800
2386	98.312	599.787
2387	112.258	599.768
2388	98.141	599.766
2389	80.576	599.776
2390	71.062	599.800
2391	63.619	599.784
2392	61.260	599.771
2393	60.706	599.770
2394	59.196	599.769
2395	59.863	599.780
2396	59.619	599.780
2397	59.898	599.780
2398	58.158	599.781
2399	57.582	599.774
2400	59.308	599.778
2401	56.064	599.790
2402	53.565	599.775
2403	50.588	599.795
2404	50.332	599.777
2405	52.822	599.777
2406	54.412	599.765
2407	55.379	599.768
2408	55.830	599.753
2409	56.741	599.769
2410	57.991	599.780
2411	57.791	599.767
2412	58.908	599.755
2413	61.930	599.778
2414	61.804	599.796
2415	59.343	599.782
2416	57.049	599.758
2417	55.365	599.778
2418	58.703	599.793
2419	63.423	599.785
2420	65.551	599.762
2421	65.046	599.777

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
2422	63.499	599.785
2423	63.914	599.792
2424	65.200	599.797
2425	64.061	599.800
2426	61.028	599.800
2427	59.517	599.795
2428	58.509	599.785
2429	56.879	599.774
2430	55.311	599.763
2431	54.184	599.761
2432	53.765	599.780
2433	53.134	599.790
2434	52.937	599.793
2435	52.335	599.790
2436	52.182	599.790
2437	49.915	599.786
2438	47.550	599.775
2439	47.238	599.775
2440	50.385	599.770
2441	54.272	599.771
2442	56.984	599.780
2443	58.721	599.774
2444	73.177	599.770
2445	28.885	599.768
2446	22.238	599.755
2447	21.866	599.756
2448	21.632	599.765
2449	22.334	599.780
2450	22.180	599.790
2451	22.237	599.787
2452	22.445	599.790
2453	22.587	599.790
2454	22.184	599.790
2455	21.975	599.780
2456	21.950	599.761
2457	23.150	599.757
2458	27.518	599.755
2459	27.574	599.775
2460	30.540	599.800
2461	60.339	599.794
2462	75.229	599.800
2463	68.808	599.768
2464	54.674	599.760
2465	54.626	599.748
2466	59.485	599.728
2467	55.888	599.702
2468	50.728	599.682
2469	38.919	599.662
2470	35.262	599.634
2471	35.915	599.608
2472	36.943	599.607
2473	37.021	599.672
2474	28.430	599.721
2475	30.424	599.689
2476	30.191	599.634
2477	31.978	599.611
2478	27.242	599.750
2479	26.903	599.751
2480	27.021	599.671
2481	26.871	599.617
2482	34.019	599.615
2483	38.699	599.611
2484	34.134	599.555
2485	29.567	599.518
2486	26.839	599.425

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
2487	25.868	599.425
2488	25.083	599.423
2489	24.924	599.373
2490	25.907	599.282
2491	28.711	599.229
2492	39.091	599.230
2493	41.166	599.173
2494	24.695	599.085
2495	36.233	599.042
2496	38.782	598.986
2497	42.404	599.053
2498	30.758	599.107
2499	27.241	599.159
2500	25.615	599.209
2501	31.672	599.128
2502	47.421	599.193
2503	37.502	599.254
2504	55.293	599.267
2505	64.366	599.283
2506	45.027	599.290
2507	36.825	599.310
2508	36.215	599.288
2509	37.313	599.099
2510	34.459	598.811
2511	45.432	598.640
2512	80.233	598.650
2513	70.689	598.601
2514	51.262	598.599
2515	38.995	598.568
2516	33.611	598.546
2517	33.290	598.585
2518	37.008	598.600
2519	38.434	598.581
2520	38.707	598.587
2521	43.081	598.592
2522	45.254	598.585
2523	38.998	598.573
2524	32.738	598.600
2525	39.202	598.600
2526	39.935	598.600
2527	38.866	598.587
2528	50.062	598.575
2529	59.011	598.596
2530	63.663	598.575
2531	108.114	598.574
2532	87.731	598.573
2533	96.845	598.588
2534	66.220	598.600
2535	45.058	598.600
2536	33.168	598.597
2537	35.360	598.600
2538	45.983	598.588
2539	75.743	598.561
2540	75.090	598.580
2541	90.983	598.572
2542	114.556	598.583
2543	97.686	598.577
2544	74.832	598.596
2545	62.183	598.597
2546	64.781	598.595
2547	76.747	598.581
2548	106.257	598.590
2549	125.265	598.599
2550	110.720	598.583
2551	87.835	598.568

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
2552	110.652	598.552
2553	153.216	598.594
2554	132.655	598.579
2555	89.175	598.590
2556	71.003	598.598
2557	72.555	598.591
2558	137.924	598.585
2559	372.702	598.583
2560	335.764	598.587
2561	356.892	598.551
2562	353.241	598.560
2563	332.123	598.585
2564	282.727	598.598
2565	270.984	598.583
2566	215.450	598.580
2567	203.024	598.568
2568	209.679	598.573
2569	291.695	598.575
2570	273.220	598.586
2571	260.140	598.566
2572	237.259	598.591
2573	241.382	598.561
2574	273.657	598.581
2575	254.734	598.596
2576	209.007	598.602
2577	184.957	598.532
2578	144.776	598.622
2579	131.561	598.458
2580	108.789	598.473
2581	111.153	598.423
2582	105.407	598.492
2583	96.858	598.433
2584	108.749	598.428
2585	98.349	598.471
2586	87.110	598.431
2587	94.003	598.469
2588	92.681	598.489
2589	96.310	598.445
2590	124.463	598.473
2591	112.876	598.445
2592	96.491	598.414
2593	82.786	598.431
2594	75.226	598.430
2595	72.123	598.470
2596	77.194	598.529
2597	63.509	598.518
2598	58.138	598.517
2599	61.199	598.508
2600	81.038	598.543
2601	70.902	598.573
2602	77.667	598.600
2603	78.750	598.584
2604	117.843	598.569
2605	119.052	598.581
2606	83.194	598.578
2607	69.249	598.589
2608	62.291	598.591
2609	63.707	598.565
2610	70.450	598.573
2611	70.069	598.591
2612	63.933	598.576
2613	81.543	598.579
2614	75.711	598.549
2615	97.368	598.565
2616	148.865	598.589

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
2617	145.474	598.588
2618	173.247	598.579
2619	176.132	598.594
2620	184.450	598.600
2621	168.814	598.598
2622	182.404	598.569
2623	217.251	598.593
2624	216.483	598.577
2625	165.125	598.600
2626	147.964	598.585
2627	118.824	598.590
2628	112.970	598.594
2629	107.338	598.571
2630	93.495	598.588
2631	90.471	598.593
2632	88.925	598.585
2633	116.093	598.601
2634	145.701	598.567
2635	94.409	598.585
2636	80.016	598.539
2637	76.972	598.578
2638	70.425	598.580
2639	74.928	598.593
2640	78.848	598.596
2641	82.352	598.588
2642	70.634	598.593
2643	78.032	598.592
2644	90.600	598.582
2645	115.341	598.590
2646	106.144	598.588
2647	84.982	598.577
2648	74.473	598.600
2649	82.694	598.588
2650	90.707	598.582
2651	88.630	598.573
2652	77.431	598.553
2653	69.673	598.569
2654	69.228	598.577
2655	61.690	598.572
2656	71.215	598.590
2657	124.277	598.583
2658	122.425	598.578
2659	158.708	598.565
2660	140.687	598.593
2661	114.968	598.600
2662	88.951	598.595
2663	76.691	598.576
2664	72.667	598.563
2665	68.305	598.593
2666	65.761	598.595
2667	65.920	598.599
2668	60.378	598.580
2669	57.717	598.598
2670	62.128	598.572
2671	57.235	598.585
2672	56.308	598.583
2673	63.516	598.600
2674	67.871	598.590
2675	62.605	598.573
2676	54.064	598.580
2677	52.126	598.574
2678	54.438	598.563
2679	53.755	598.573
2680	53.901	598.581
2681	53.884	598.598

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
2682	54.245	598.585
2683	54.059	598.569
2684	52.212	598.582
2685	51.108	598.580
2686	52.348	598.582
2687	49.660	598.594
2688	49.582	598.579
2689	49.243	598.583
2690	47.833	598.584
2691	49.939	598.573
2692	54.434	598.590
2693	51.869	598.608
2694	50.098	598.793
2695	53.382	599.036
2696	47.440	599.299
2697	47.912	599.512
2698	47.126	599.690
2699	48.183	599.796
2700	45.667	599.781
2701	46.484	599.797
2702	47.161	599.800
2703	45.117	599.787
2704	44.590	599.782
2705	44.545	599.780
2706	44.250	599.768
2707	43.942	599.765
2708	44.101	599.799
2709	44.020	599.773
2710	43.305	599.760
2711	43.051	599.794
2712	43.647	599.781
2713	44.626	599.773
2714	42.115	599.792
2715	58.716	599.800
2716	68.570	599.775
2717	92.186	599.770
2718	65.831	599.798
2719	51.631	599.780
2720	47.692	599.798
2721	47.244	599.800
2722	43.810	599.791
2723	43.117	599.767
2724	42.839	599.777
2725	42.591	599.788
2726	41.296	599.756
2727	41.386	599.758
2728	41.027	599.779
2729	41.363	599.788
2730	42.030	599.777
2731	40.583	599.798
2732	39.755	599.799
2733	41.002	599.790
2734	41.293	599.776
2735	43.660	599.758
2736	50.838	599.768
2737	40.766	599.781
2738	41.442	599.764
2739	39.620	599.750
2740	38.795	599.781
2741	38.285	599.795
2742	39.160	599.772
2743	39.000	599.756
2744	37.860	599.775
2745	38.589	599.788
2746	37.302	599.800

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
2747	37.603	599.775
2748	39.403	599.757
2749	39.134	599.793
2750	37.662	599.793
2751	38.140	599.795
2752	39.157	599.799
2753	37.941	599.780
2754	36.312	599.757
2755	37.074	599.784
2756	37.448	599.800
2757	35.257	599.800
2758	36.780	599.784
2759	34.672	599.766
2760	36.392	599.770
2761	34.344	599.800
2762	35.285	599.792
2763	35.076	599.771
2764	32.888	599.757
2765	33.282	599.736
2766	32.927	599.788
2767	32.920	599.760
2768	33.046	599.771
2769	34.720	599.776
2770	32.999	599.790
2771	33.442	599.758
2772	41.513	599.754
2773	41.190	599.796
2774	36.312	599.780
2775	34.065	599.781
2776	32.783	599.778
2777	32.901	599.763
2778	32.808	599.755
2779	33.027	599.769
2780	32.762	599.778
2781	32.691	599.800
2782	32.546	599.763
2783	33.933	599.762
2784	32.296	599.788
2785	31.794	599.786
2786	31.737	599.778
2787	31.741	599.789
2788	31.679	599.796
2789	32.493	599.800
2790	32.719	599.780
2791	32.422	599.793
2792	32.376	599.800
2793	32.428	599.788
2794	34.554	599.758
2795	31.393	599.760
2796	31.622	599.775
2797	31.984	599.780
2798	32.137	599.768
2799	31.909	599.753
2800	32.023	599.758
2801	32.337	599.758
2802	31.929	599.770
2803	31.917	599.763
2804	31.930	599.755
2805	33.323	599.744
2806	30.540	599.752
2807	30.615	599.793
2808	30.925	599.796
2809	29.700	599.800
2810	30.179	599.796
2811	31.161	599.770

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
2812	30.919	599.767
2813	30.922	599.770
2814	30.808	599.759
2815	30.723	599.756
2816	30.807	599.752
2817	30.359	599.780
2818	30.934	599.800
2819	35.639	599.790
2820	30.296	599.758
2821	29.986	599.743
2822	30.031	599.731
2823	29.577	599.744
2824	30.258	599.750
2825	31.088	599.743
2826	30.943	599.743
2827	30.787	599.738
2828	30.664	599.744
2829	30.456	599.750
2830	30.223	599.763
2831	30.274	599.769
2832	30.732	599.752
2833	30.464	599.740
2834	30.767	599.723
2835	30.730	599.693
2836	30.540	599.589
2837	30.411	599.508
2838	30.482	599.481
2839	30.566	599.433
2840	30.579	599.370
2841	30.781	599.317
2842	31.054	599.263
2843	42.267	599.193
2844	63.813	599.135
2845	109.043	599.073
2846	152.407	598.966
2847	107.498	598.874
2848	53.748	598.771
2849	30.686	598.665
2850	34.640	598.616
2851	36.900	598.564
2852	30.270	598.528
2853	30.001	598.449
2854	31.850	598.378
2855	34.793	598.391
2856	35.432	598.540
2857	29.985	598.659
2858	29.019	598.770
2859	37.419	598.883
2860	40.143	598.987
2861	33.529	599.013
2862	29.874	599.104
2863	25.615	599.103
2864	25.450	598.980
2865	25.169	598.950
2866	25.232	598.977
2867	25.338	599.008
2868	25.237	598.868
2869	25.357	598.753
2870	25.312	598.715
2871	24.900	598.690
2872	24.880	598.614
2873	27.715	598.595
2874	47.705	598.549
2875	132.794	598.515
2876	253.138	598.603

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
2877	203.057	598.620
2878	139.324	598.572
2879	87.121	598.580
2880	60.356	598.581
2881	52.632	598.536
2882	49.336	598.567
2883	94.098	598.597
2884	80.222	598.586
2885	62.091	598.557
2886	50.556	598.596
2887	45.295	598.563
2888	44.003	598.588
2889	47.107	598.600
2890	45.462	598.600
2891	62.981	598.600
2892	81.376	598.600
2893	57.927	598.600
2894	53.656	598.590
2895	52.375	598.572
2896	47.277	598.561
2897	46.046	598.572
2898	57.505	598.575
2899	88.907	598.593
2900	182.813	598.588
2901	157.025	598.579
2902	111.522	598.553
2903	75.398	598.554
2904	62.828	598.568
2905	58.896	598.581
2906	55.985	598.575
2907	51.698	598.565
2908	48.230	598.587
2909	51.824	598.573
2910	66.652	598.567
2911	54.548	598.590
2912	53.302	598.590
2913	52.335	598.570
2914	53.388	598.548
2915	54.387	598.570
2916	49.217	598.563
2917	59.383	598.593
2918	61.540	598.577
2919	52.619	598.555
2920	49.866	598.561
2921	53.718	598.583
2922	98.517	598.535
2923	221.194	598.524
2924	166.470	598.515
2925	124.747	598.527
2926	78.204	598.522
2927	73.698	598.549
2928	86.956	598.530
2929	93.806	598.528
2930	111.777	598.529
2931	88.186	598.501
2932	95.142	598.539
2933	107.166	598.502
2934	110.474	598.534
2935	88.877	598.530
2936	103.273	598.525
2937	325.539	598.538
2938	226.740	598.527
2939	230.288	598.544
2940	223.861	598.514
2941	220.564	598.507

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
2942	188.832	598.503
2943	217.842	598.523
2944	193.648	598.507
2945	157.477	598.541
2946	156.389	598.538
2947	170.146	598.537
2948	160.055	598.525
2949	178.766	598.523
2950	163.498	598.519
2951	147.237	598.534
2952	118.210	598.520
2953	98.368	598.518
2954	106.299	598.550
2955	94.627	598.538
2956	81.459	598.508
2957	75.012	598.508
2958	70.341	598.529
2959	66.915	598.508
2960	66.104	598.517
2961	63.605	598.516
2962	61.960	598.522
2963	84.169	598.512
2964	221.073	598.523
2965	241.855	598.498
2966	184.072	598.534
2967	132.490	598.520
2968	90.215	598.511
2969	83.179	598.496
2970	75.682	598.529
2971	71.607	598.524
2972	66.910	598.525
2973	71.395	598.497
2974	73.166	598.511
2975	84.421	598.519
2976	73.627	598.498
2977	76.578	598.497
2978	82.320	598.555
2979	95.761	598.558
2980	87.777	598.590
2981	71.691	598.587
2982	62.930	598.518
2983	55.557	598.496
2984	58.311	598.503
2985	79.036	598.526
2986	92.397	598.498
2987	67.382	598.536
2988	59.365	598.558
2989	56.189	598.506
2990	54.003	598.527
2991	57.060	598.542
2992	65.423	598.563
2993	69.729	598.497
2994	83.523	598.530
2995	91.171	598.548
2996	85.949	598.535
2997	109.267	598.573
2998	95.373	598.503
2999	96.678	598.506
3000	76.200	598.522
3001	66.777	598.541
3002	59.572	598.573
3003	57.668	598.550
3004	71.142	598.485
3005	119.668	598.535
3006	122.278	598.536

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
3007	109.404	598.479
3008	82.744	598.575
3009	74.975	598.523
3010	76.808	598.503
3011	72.561	598.495
3012	83.312	598.506
3013	78.378	598.550
3014	67.090	598.563
3015	65.168	598.520
3016	65.393	598.493
3017	61.438	598.471
3018	63.211	598.533
3019	57.313	598.516
3020	55.187	598.474
3021	65.139	598.538
3022	61.493	598.591
3023	55.890	598.517
3024	53.847	598.543
3025	52.562	598.487
3026	55.221	598.540
3027	55.016	598.573
3028	60.201	598.535
3029	60.212	598.506
3030	60.064	598.548
3031	53.185	598.454
3032	51.076	598.485
3033	61.664	598.527
3034	94.517	598.552
3035	86.144	598.530
3036	70.332	598.468
3037	62.499	598.569
3038	60.242	598.573
3039	76.388	598.538
3040	80.846	598.472
3041	92.606	598.583
3042	155.241	598.509
3043	226.264	598.516
3044	176.721	598.528
3045	133.571	598.527
3046	92.264	598.562
3047	79.910	598.684
3048	73.465	598.710
3049	73.213	598.659
3050	68.787	598.646
3051	65.179	599.086
3052	63.542	599.533
3053	63.501	599.649
3054	64.855	599.628
3055	66.538	599.598
3056	66.840	599.686
3057	78.304	599.729
3058	75.607	599.719
3059	71.413	599.726
3060	66.587	599.782
3061	63.390	599.759
3062	61.411	599.723
3063	60.394	599.697
3064	59.296	599.734
3065	58.173	599.710
3066	58.415	599.742
3067	66.825	599.755
3068	81.577	599.770
3069	72.507	599.733
3070	66.006	599.770
3071	64.290	599.787

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
3072	65.580	599.788
3073	60.150	599.745
3074	57.774	599.769
3075	57.340	599.790
3076	57.389	599.740
3077	56.726	599.772
3078	59.519	599.762
3079	72.090	599.785
3080	70.755	599.800
3081	70.244	599.795
3082	73.544	599.753
3083	70.123	599.788
3084	64.851	599.771
3085	70.056	599.800
3086	71.519	599.785
3087	66.211	599.773
3088	60.871	599.779
3089	58.159	599.753
3090	57.151	599.758
3091	54.905	599.745
3092	55.343	599.764
3093	81.087	599.785
3094	146.982	599.782
3095	225.317	599.733
3096	204.225	599.782
3097	160.204	599.738
3098	132.689	599.760
3099	92.269	599.750
3100	80.263	599.755
3101	73.378	599.756
3102	71.382	599.795
3103	68.444	599.752
3104	66.854	599.751
3105	65.367	599.737
3106	63.724	599.733
3107	62.208	599.773
3108	61.153	599.725
3109	57.915	599.786
3110	59.150	599.767
3111	59.230	599.758
3112	59.472	599.773
3113	58.364	599.751
3114	57.941	599.738
3115	60.456	599.749
3116	78.886	599.731
3117	70.572	599.766
3118	61.662	599.721
3119	57.544	599.778
3120	70.301	599.759
3121	192.048	599.794
3122	132.434	599.792
3123	93.509	599.761
3124	71.912	599.750
3125	63.712	599.767
3126	63.083	599.753
3127	60.551	599.777
3128	59.418	599.765
3129	56.665	599.753
3130	56.916	599.740
3131	52.000	599.777
3132	48.000	599.775
3133	43.000	599.799
3134	40.000	599.746
3135	38.346	599.730
3136	37.397	599.718

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
3137	35.483	599.739
3138	34.534	599.777
3139	34.442	599.742
3140	35.309	599.759
3141	33.896	599.725
3142	33.748	599.775
3143	33.301	599.715
3144	33.386	599.763
3145	31.480	599.774
3146	33.396	599.732
3147	29.564	599.792
3148	29.574	599.735
3149	30.581	599.728
3150	29.662	599.755
3151	29.768	599.764
3152	29.342	599.760
3153	28.400	599.775
3154	28.446	599.772
3155	29.639	599.752
3156	27.725	599.742
3157	25.297	599.716
3158	26.246	599.710
3159	25.307	599.711
3160	25.183	599.738
3161	24.492	599.766
3162	26.906	599.767
3163	24.827	599.784
3164	26.400	599.774
3165	24.670	599.761
3166	25.446	599.751
3167	23.760	599.738
3168	25.610	599.714
3169	23.600	599.711
3170	24.418	599.720
3171	22.648	599.721
3172	22.711	599.749
3173	21.869	599.786
3174	22.525	599.735
3175	22.942	599.721
3176	21.958	599.738
3177	21.058	599.747
3178	20.125	599.750
3179	20.100	599.756
3180	19.200	599.758
3181	20.144	599.754
3182	20.997	599.734
3183	18.175	599.723
3184	18.074	599.727
3185	20.980	599.741
3186	26.393	599.750
3187	35.436	599.756
3188	35.086	599.752
3189	29.902	599.746
3190	28.392	599.729
3191	26.727	599.718
3192	23.723	599.715
3193	20.961	599.720
3194	24.940	599.718
3195	21.305	599.705
3196	22.320	599.718
3197	20.198	599.725
3198	21.157	599.728
3199	19.200	599.745
3200	21.091	599.745
3201	19.200	599.728

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
3202	26.314	599.748
3203	23.224	599.772
3204	16.887	599.800
3205	17.658	599.774
3206	15.717	599.713
3207	20.190	599.746
3208	23.045	599.787
3209	23.707	599.780
3210	26.449	599.751
3211	18.919	599.716
3212	24.201	599.706
3213	28.089	599.700
3214	22.907	599.698
3215	25.956	599.710
3216	22.879	599.719
3217	24.226	599.733
3218	30.706	599.740
3219	26.086	599.776
3220	41.718	599.787
3221	33.614	599.724
3222	27.388	599.691
3223	26.121	599.663
3224	33.143	599.658
3225	28.592	599.704
3226	21.303	599.773
3227	10.723	599.791
3228	14.250	599.748
3229	32.779	599.778
3230	33.037	599.789
3231	32.215	599.800
3232	27.468	599.790
3233	27.070	599.776
3234	25.209	599.791
3235	30.517	599.784
3236	36.457	599.792
3237	35.109	599.799
3238	36.873	599.799
3239	37.251	599.700
3240	46.676	599.661
3241	32.019	599.749
3242	25.107	599.796
3243	28.066	599.688
3244	27.393	599.287
3245	22.524	598.739
3246	23.225	598.623
3247	23.920	598.687
3248	18.537	598.682
3249	18.513	598.637
3250	21.645	598.634
3251	23.413	598.681
3252	28.240	598.695
3253	28.198	598.779
3254	20.916	598.991
3255	22.006	599.133
3256	18.298	599.207
3257	17.273	599.177
3258	25.021	599.038
3259	35.214	598.791
3260	38.826	598.597
3261	33.161	598.654
3262	41.023	598.664
3263	50.539	598.641
3264	41.383	598.642
3265	30.897	598.610
3266	45.712	598.600

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
3267	42.508	598.609
3268	34.709	598.692
3269	43.900	598.710
3270	38.834	598.714
3271	84.101	598.670
3272	121.259	598.532
3273	115.560	598.495
3274	98.785	598.481
3275	65.285	598.547
3276	50.946	598.724
3277	54.639	598.811
3278	57.944	598.613
3279	48.819	598.570
3280	43.357	598.761
3281	39.320	598.765
3282	37.835	598.662
3283	35.802	598.751
3284	54.233	598.764
3285	49.018	598.686
3286	68.722	598.662
3287	124.709	598.738
3288	89.143	598.799
3289	61.188	598.752
3290	68.659	598.592
3291	122.467	598.497
3292	107.643	598.501
3293	92.467	598.530
3294	118.028	598.550
3295	69.454	598.579
3296	72.926	598.519
3297	137.510	598.493
3298	186.724	598.565
3299	185.390	598.548
3300	288.621	598.587
3301	363.960	598.601
3302	294.923	598.553
3303	232.544	598.570
3304	245.903	598.605
3305	212.962	598.541
3306	165.104	598.562
3307	132.505	598.559
3308	103.821	598.584
3309	72.538	598.573
3310	60.576	598.553
3311	60.148	598.577
3312	62.825	598.512
3313	153.168	598.584
3314	182.890	598.566
3315	183.115	598.583
3316	151.621	598.560
3317	116.791	598.586
3318	104.995	598.570
3319	87.028	598.437
3320	87.447	598.440
3321	88.987	598.462
3322	111.882	598.440
3323	150.914	598.433
3324	163.258	598.442
3325	225.671	598.444
3326	250.944	598.468
3327	261.638	598.500
3328	240.087	598.484
3329	235.610	598.573
3330	176.602	598.599
3331	138.271	598.526

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
3332	112.420	598.414
3333	110.684	598.439
3334	114.411	598.433
3335	119.380	598.448
3336	79.104	598.439
3337	71.884	598.478
3338	82.293	598.555
3339	90.053	598.510
3340	78.363	598.532
3341	90.297	598.499
3342	104.657	598.572
3343	81.077	598.476
3344	87.258	598.471
3345	114.707	598.472
3346	106.947	598.470
3347	108.639	598.421
3348	122.354	598.524
3349	123.101	598.448
3350	86.999	598.521
3351	69.957	598.563
3352	57.588	598.549
3353	64.337	598.461
3354	81.482	598.493
3355	84.323	598.515
3356	113.489	598.469
3357	141.456	598.515
3358	182.728	598.515
3359	210.077	598.550
3360	208.197	598.516
3361	212.764	598.517
3362	150.334	598.520
3363	140.938	598.519
3364	166.479	598.562
3365	168.575	598.548
3366	130.356	598.420
3367	134.077	598.483
3368	150.183	598.462
3369	128.641	598.460
3370	119.292	598.479
3371	237.508	598.547
3372	205.465	598.456
3373	159.417	598.496
3374	130.532	598.539
3375	115.067	598.487
3376	87.494	598.524
3377	78.100	598.498
3378	75.499	598.495
3379	101.508	598.414
3380	130.282	598.485
3381	96.683	598.569
3382	124.640	598.512
3383	186.331	598.532
3384	166.431	598.557
3385	126.579	598.505
3386	138.633	598.463
3387	130.777	598.473
3388	100.145	598.579
3389	85.185	598.445
3390	89.436	598.446
3391	111.073	598.537
3392	117.603	598.458
3393	110.997	598.449
3394	93.119	598.426
3395	80.423	598.482
3396	72.822	598.590

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
3397	63.748	598.455
3398	60.990	598.547
3399	59.572	598.565
3400	58.159	598.493
3401	58.360	598.410
3402	59.744	598.413
3403	48.283	598.554
3404	54.738	598.430
3405	55.640	598.545
3406	52.746	598.502
3407	50.192	598.571
3408	54.520	598.537
3409	48.050	598.584
3410	52.565	598.445
3411	51.165	598.479
3412	48.690	598.479
3413	50.202	598.501
3414	51.885	598.557
3415	47.354	598.508
3416	47.580	598.458
3417	42.974	598.498
3418	44.696	598.536
3419	43.710	598.598
3420	43.477	598.532
3421	40.708	598.437
3422	39.753	598.530
3423	42.525	598.581
3424	44.457	598.575
3425	40.682	598.690
3426	42.476	598.825
3427	40.920	598.955
3428	41.546	599.094
3429	39.328	599.209
3430	42.135	599.297
3431	40.265	599.385
3432	43.072	599.480
3433	43.984	599.565
3434	47.146	599.633
3435	72.916	599.692
3436	117.239	599.745
3437	112.065	599.785
3438	81.544	599.761
3439	56.808	599.729
3440	55.568	599.654
3441	63.014	599.667
3442	61.611	599.706
3443	57.382	599.745
3444	42.989	599.771
3445	43.713	599.728
3446	43.688	599.692
3447	41.278	599.680
3448	39.625	599.681
3449	41.021	599.691
3450	48.911	599.717
3451	44.295	599.728
3452	46.608	599.759
3453	35.078	599.743
3454	38.150	599.595
3455	46.210	599.600
3456	50.123	599.576
3457	40.194	599.658
3458	41.455	599.763
3459	39.312	599.760
3460	40.720	599.737
3461	37.641	599.764

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
3462	47.099	599.708
3463	37.278	599.695
3464	28.833	599.674
3465	44.486	599.648
3466	43.106	599.646
3467	48.249	599.702
3468	43.748	599.750
3469	51.004	599.753
3470	47.046	599.729
3471	45.256	599.648
3472	38.990	599.681
3473	44.124	599.769
3474	34.936	599.744
3475	34.220	599.673
3476	35.400	599.637
3477	34.473	599.638
3478	33.552	599.628
3479	33.567	599.670
3480	34.387	599.722
3481	36.033	599.448
3482	33.224	599.359
3483	32.224	599.408
3484	34.260	599.480
3485	33.825	599.543
3486	31.556	599.626
3487	30.813	599.742
3488	31.644	599.779
3489	36.335	599.710
3490	33.600	599.734
3491	36.746	599.740
3492	37.036	599.670
3493	49.287	599.660
3494	53.922	599.657
3495	43.069	599.637
3496	43.078	599.626
3497	38.721	599.685
3498	35.653	599.729
3499	34.209	599.788
3500	33.514	599.784
3501	31.568	599.765
3502	33.270	599.773
3503	30.209	599.778
3504	29.728	599.726
3505	29.773	599.721
3506	30.527	599.763
3507	26.798	599.760
3508	26.912	599.755
3509	27.176	599.781
3510	28.289	599.788
3511	26.850	599.796
3512	29.590	599.748
3513	26.800	599.680
3514	26.800	599.727
3515	24.938	599.780
3516	26.800	599.754
3517	27.105	599.720
3518	26.800	599.691
3519	29.597	599.720
3520	27.937	599.769
3521	25.863	599.760
3522	24.933	599.758
3523	24.018	599.778
3524	24.177	599.772
3525	28.113	599.737
3526	25.817	599.694

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
3527	23.422	599.648
3528	23.641	599.648
3529	21.300	599.663
3530	19.837	599.682
3531	20.816	599.676
3532	20.802	599.663
3533	21.760	599.657
3534	24.557	599.657
3535	24.912	599.660
3536	26.727	599.683
3537	23.836	599.691
3538	20.047	599.694
3539	17.734	599.685
3540	19.232	599.656
3541	17.715	599.636
3542	18.373	599.597
3543	16.681	599.627
3544	16.427	599.695
3545	15.343	599.733
3546	16.442	599.750
3547	24.140	599.736
3548	40.552	599.723
3549	36.294	599.688
3550	27.375	599.658
3551	28.317	599.673
3552	24.600	599.706
3553	22.064	599.749
3554	24.782	599.778
3555	22.852	599.781
3556	21.920	599.731
3557	18.225	599.680
3558	21.037	599.633
3559	23.761	599.589
3560	24.583	599.541
3561	32.136	599.482
3562	62.459	599.410
3563	56.745	599.334
3564	58.603	599.296
3565	61.377	599.426
3566	53.140	599.624
3567	39.344	599.694
3568	29.845	599.684
3569	29.488	599.709
3570	27.307	599.645
3571	25.320	599.648
3572	24.397	599.676
3573	22.117	599.685
3574	21.971	599.672
3575	30.272	599.640
3576	37.337	599.628
3577	53.536	599.659
3578	69.974	599.730
3579	67.990	599.799
3580	42.641	599.733
3581	37.175	599.676
3582	54.671	599.700
3583	80.449	599.718
3584	74.819	599.630
3585	48.589	599.593
3586	32.873	599.633
3587	33.108	599.630
3588	31.991	599.643
3589	22.155	599.639
3590	21.753	599.613
3591	25.666	599.607

Tempo (dia)	Vazão (m³/s)	N.A. (m)
3592	20.380	599.647
3593	25.068	599.756
3594	18.204	599.822
3595	22.621	599.786
3596	26.380	599.673
3597	36.878	599.701
3598	55.752	599.729
3599	49.048	599.768
3600	42.750	599.797
3601	31.702	599.689
3602	25.434	599.649
3603	28.362	599.589
3604	23.584	599.605
3605	24.125	599.619
3606	22.912	599.563
3607	21.860	599.468
3608	29.487	599.384
3609	50.782	599.284
3610	45.846	599.125
3611	71.242	598.953
3612	40.366	598.800
3613	36.106	598.702
3614	33.883	598.650
3615	33.699	598.663
3616	35.556	598.581
3617	58.711	598.549
3618	85.795	598.583
3619	61.695	598.508
3620	46.081	598.515
3621	41.147	598.539
3622	42.575	598.515
3623	55.616	598.482
3624	67.782	598.480
3625	61.673	598.520
3626	42.067	598.708
3627	58.726	598.703
3628	59.395	598.720
3629	55.649	598.564
3630	42.845	598.573
3631	46.908	598.548
3632	60.178	598.562
3633	62.970	598.591
3634	46.544	598.594
3635	39.766	598.584
3636	33.056	598.545
3637	30.982	598.475
3638	28.369	598.579
3639	36.090	598.645
3640	35.590	598.688
3641	29.577	598.720
3642	46.231	598.568
3643	52.461	598.662
3644	62.794	598.720
3645	40.480	598.643
3646	52.549	598.675
3647	66.694	598.501
3648	43.800	598.595
3649	38.946	598.702
3650	37.515	598.661
3651	59.068	598.578
3652	69.039	598.570

**Apêndice IV – Séries de vazões utilizadas nas simulações
do cinquenta cenários de assoreamento para o estudo de
caso da PCH Mogi-Guaçu: período de 2014 – 2063.**

Figura A1 – Séries de vazões médias diárias originais e invertidas. Séries: 1, 2 e 3.

Figura A2 – Séries de vazões médias diárias originais e invertidas. Séries: 4, 5 e 6.

Figura A3 – Séries de vazões médias diárias originais e invertidas. Séries: 7, 8 e 9.

Figura A4 – Séries de vazões médias diárias originais e invertidas. Séries: 10, 11 e 12.

Figura A5 – Séries de vazões médias diárias originais e invertidas. Séries: 13, 14 e 15.

Figura A6 – Séries de vazões médias diárias originais e invertidas. Séries: 16, 17 e 18.

Figura A7 – Séries de vazões médias diárias originais e invertidas. Séries: 19, 20 e 21.

Figura A8 – Séries de vazões médias diárias originais e invertidas. Séries: 22, 23 e 24.

Figura A9 – Série de vazões médias diárias original e invertida. Série: 25.