

Assunto	RL Nº	Data de Emissão
UHE MARIMBONDO – CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA PONTE GUMERCINDO PENTEADO	GEP.E.0023.2019	11.07.2019

NOTA TÉCNICA



Assunto	RL Nº	Data de Emissão
UHE MARIMBONDO – CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA PONTE GUMERCINDO PENTEADO	GEP.E.0023.2019	11.07.2019

FOLHA DE ATUALIZAÇÃO

Revisões em vigor										
Parte / Página	I / 4									
Revisão	0									
Parte / Página	II / 5									
Revisão	0									
Parte / Página	III / 5									
Revisão	0									
Parte / Página	IV / 6	IV / 7								
Revisão	0	0								
Parte / Página	V / 8	V / 9								
Revisão	0	0								
Parte / Página	VI / 10									
Revisão	0									
Parte / Página	VII / 11									
Revisão	1									
Parte / Página	VIII / 12									
Revisão	1									
Parte / Página										
Revisão										
Parte / Página										
Revisão										
Parte / Página										
Revisão										
Observações:										

Órgão Emissor	Vistos	Aprovação	Data da Revisão	Revisão
GEP.E	GEP.E	GEP.E	21.02.2020	01

Isaac Benchimol
Ger. de Est. e Proj. de Geração
Matr. 19458-7

Assunto	RL Nº	Data de Emissão
UHE MARIMBONDO – CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA PONTE GUMERCINDO PENTEADO	GEP.E.0023.2019	11.07.2019

SUMÁRIO

PARTE I	-	IDENTIFICAÇÃO E SÍNTESE.....	4
PARTE II	-	OBJETIVO.....	5
PARTE III	-	METODOLOGIA.....	5
PARTE IV	-	ESTABELECIMENTO DO MODELO.....	6
PARTE V	-	ESTUDOS HIDROLÓGICOS.....	8
PARTE VI	-	LEVANTAMENTO DE CAMPO.....	10
PARTE VII	-	RESULTADOS.....	11
PARTE VIII	-	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	12

Visto por	Responsável pelo Conteúdo	Data da Revisão	Revisão	Página
Órgão: GEP.E	Órgão: GEP.E	21.02.2020	01	3/12



Assunto	RL Nº	Data de Emissão
UHE MARIMBONDO – CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA PONTE GUMERCINDO PENTEADO	GEP.E.0023.2019	11.07.2019

PARTE I - IDENTIFICAÇÃO E SÍNTESE

I.1. IDENTIFICAÇÃO DO RELATÓRIO

- AUTOR

Sergio Warszawski – Engenheiro Civil – GEP.E
CREA 2006100605

- CLIENTE

GLA.E

- ORGÃOS ENVOLVIDOS E DISTRIBUIÇÃO

GLA.E / GPH.O / GIG.E / DOMR.O

I.2. SÍNTESE

Este estudo foi motivado pelos questionamentos apresentados pela Agência Nacional de Águas – ANA no ofício 127/2019/SER-ANA.

Como não há histórico de registro de níveis no referido local, a análise apresentada será fundamentada em modelagem matemática computacional, utilizando o modelo HEC-RAS, desenvolvido pelo Hidrologic Engineering Center, que realiza a simulação do escoamento permanente, gradualmente variado, baseado na solução da equação diferencial do escoamento unidimensional à superfície livre e servirá como um balizador para obter respostas em tempo hábil.

Destaca-se, contudo, que ao final desta Nota Técnica serão apresentadas recomendações relevantes para que, a médio prazo, seja possível obter respostas mais precisas aos questionamentos apresentados pela ANA.

Visto por	Responsável pelo Conteúdo	Data da Revisão	Revisão	Página
Órgão: GEP.E	Órgão: GEP.E	21.02.2020	01	4/12



Assunto	RL Nº	Data de Emissão
UHE MARIMBONDO – CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA PONTE GUMERCINDO PENTEADO	GEP.E.0023.2019	11.07.2019

PARTE II - OBJETIVO

A presente Nota Técnica tem como objetivo avaliar o efeito do remanso do reservatório da UHE Marimbondo, mais especificamente na seção transversal ao Rio Grande, na Ponte Gumercindo Penteado, que realiza a interligação entre os municípios de Colômbia-SP e Planura-MG, verificando o nível d'água neste local.

PARTE III - METODOLOGIA

Para a determinação dos efeitos de remanso, foi utilizado o programa HEC-RAS, desenvolvido para simular o escoamento permanente, gradualmente variado, em rios e canais. Por meio deste programa, pode-se calcular o perfil de linha d'água para rios de qualquer seção transversal, sob escoamento subcrítico ou supercrítico, para diversas vazões em trânsito e condições de contorno.

Este modelo é baseado no "Standard Step Method", que se trata de um procedimento iterativo para solução da equação de energia de escoamentos a superfície livre. A perda de carga é composta por perdas por atrito e perdas por contração/expansão do escoamento. As perdas por atrito são estimadas pela formulação de Manning.

Cada trecho de rio é representado, no modelo, por duas seções transversais, uma em cada extremidade, que devem ser representativas do curso d'água no estirão. Essas seções devem ser locadas também onde ocorrerem mudanças de declividade, área molhada, rugosidade do canal e/ou obstáculos localizados.

A seção transversal é informada ao modelo através de pares de pontos (distância, cota), em número suficiente para a caracterização da sua geometria. Caso as mudanças de seção transversal ou de velocidade de escoamento entre duas seções sejam excessivas, o modelo introduz automaticamente seções fictícias intermediárias, realizando interpolação a partir das seções extremas.

São especificadas as distâncias entre seções transversais, para o centro da calha, margem esquerda e margem direita, de modo a se representar a ocorrência de acidentes como curvas ou meandros ao longo do trecho.

O programa considera diferentes vazões para os diferentes trechos de cálculo, o que permite caracterizar as vazões incrementais e a ocorrência de afluentes localizados.

A solução da equação diferencial do escoamento depende do estabelecimento de uma condição de contorno, que pode ser o nível d'água para a seção mais de jusante, no caso de escoamento subcrítico, ou o nível d'água da seção mais de montante, no caso de supercrítico. Os cálculos são processados de jusante para montante, no primeiro caso, ou em sentido oposto, no segundo.

Quando ocorre mudança de regime ao longo do estirão fluvial (passagem de escoamento subcrítico para supercrítico ou o contrário), o programa informa o ocorrido e prossegue os cálculos assumindo regime crítico nas seções de mudança. Estes trechos devem ser analisados separadamente, a posteriori.

Visto por	Responsável pelo Conteúdo	Data da Revisão	Revisão	Página
Órgão: GEP.E	Órgão: GEP.E	21.02.2020	01	5/12



Assunto	RL Nº	Data de Emissão
UHE MARIMBONDO – CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA PONTE GUMERCINDO PENTEADO	GEP.E.0023.2019	11.07.2019

O programa admite dois tipos de perda de carga ao longo do escoamento: perdas por atrito, distribuídas ao longo de cada trecho, e perdas localizadas, resultantes de transições bruscas no escoamento.

Para a determinação das perdas de carga por atrito entre as seções, é utilizada a fórmula de Manning para o escoamento livre, na qual o coeficiente de rugosidade “n” é função de diversos fatores, tais como vegetação, configuração do fundo e das margens do canal, etc.

As perdas de carga localizadas são devidas, em geral, à variação, mais ou menos brusca, das condições geométricas entre duas seções (área e, consequentemente, velocidade), que caracterizam uma contração ou expansão do escoamento. O programa calcula estas perdas como sendo um percentual da variação da carga cinética entre as duas seções consecutivas. Este percentual é conhecido como coeficiente (de contração ou expansão), e é tanto maior quanto mais brusca for a transição, devendo ser fornecido ao modelo.

PARTE IV - ESTABELECIMENTO DO MODELO

Para o estabelecimento do modelo foram utilizadas 23 seções topobatimétricas do reservatório de Marimbondo, desde o local da barragem até 118 km de distância ao eixo do barramento. A Figura 1 apresenta a localização destas seções, enquanto a Tabela 1 apresenta as seções empregadas no modelo, bem como suas distâncias relativas e até o eixo do aproveitamento.

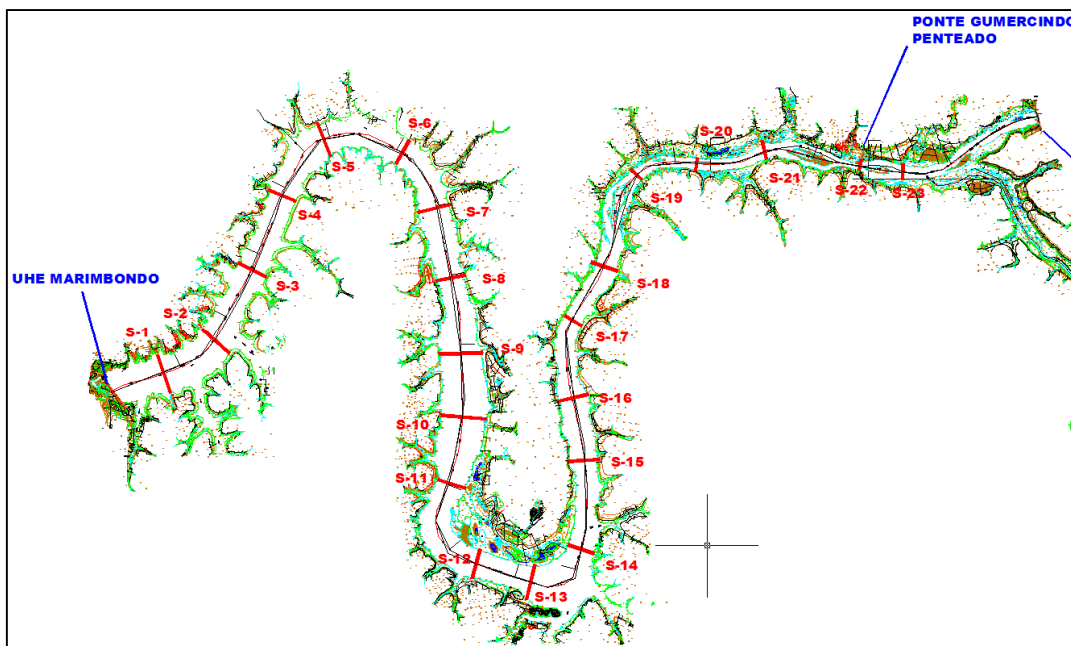


Figura 1 – Seções transversais adotadas no modelo

Visto por	Responsável pelo Conteúdo	Data da Revisão	Revisão	Página
Órgão: GEP.E	Órgão: GEP.E	21.02.2020	01	6/12

SW

Assunto

UHE MARIMBONDO – CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA
PONTE GUMERCINDO PENTEADO

RL Nº

GEP.E.0023.2019

Data de Emissão

11.07.2019

Seção	Distância relativa (m)	Distância acumulada (m)
Eixo	0	0
S-1	3686	3686
S-2	4381	8067
S-3	5642	13709
S-4	5642	19351
S-5	4883	24234
S-6	5849	30083
S-7	4568	34651
S-8	5053	39704
S-9	5418	45122
S-10	4364	49486
S-11	4608	54094
S-12	7194	61288
S-13	4030	65318
S-14	5250	70568
S-15	6279	76847
S-16	4462	81309
S-17	5626	86935
S-18	4344	91279
S-19	6879	98158
S-20	4456	102614
S-21	4956	107570
S-22	6995	114565
S-23	3095	117660

Tabela 1 – Topologia do modelo de remanso

Vale ressaltar que se adotou o sentido de jusante para montante do rio como sendo positivo. Além disso, o eixo central do rio foi tomado como referência para a determinação das distâncias de cada seção à barragem.

Destaca-se que a calibração do modelo não pôde ser realizada devido à falta de dados disponíveis. Por se tratar de escoamento em reservatório, já implantado, para o estabelecimento do modelo, estipulou-se o valor médio de 0,04 para o coeficiente de Manning, coerente com as situações de escoamento simuladas, válido para todo o estirão em estudo.

Visto por

Órgão: GEP.E

Responsável pelo Conteúdo

Órgão: GEP.E



Data da Revisão

21.02.2020

Revisão

01

Página

7/12

Assunto	RL Nº	Data de Emissão
UHE MARIMBONDO – CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA PONTE GUMERCINDO PENTEADO	GEP.E.0023.2019	11.07.2019

PARTE V - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os estudos hidrológicos realizados tiveram como objetivo estimar as vazões do Rio Grande no estirão estudado, para tempos de recorrência até 100 anos.

Para isso, foi empregada a série de vazões naturais afluentes médias diárias à UHE Marimbondo. A partir dessa série de vazões, obteve-se a série de vazões diárias máximas anuais, apresentada na Tabela 2, a seguir.

Data	Vazão (m³/s)
1931	4549
1932	3331
1933	3056
1934	6310
1935	4551
1936	6004
1937	5001
1938	6046
1939	6998
1940	4612
1941	4761
1942	6281
1943	3848
1944	4925
1945	7339
1946	7419
1947	4458
1948	4903
1949	5816
1950	5395
1951	5348
1952	2626
1953	3705
1954	2819
1955	3650
1956	4834
1957	3736
1958	4887
1959	5613
1960	7571
1961	6238
1962	5646
1963	5082
1964	6846
1965	7400
1966	7350

Visto por	Responsável pelo Conteúdo	Data da Revisão	Revisão	Página
Órgão: GEP.E	Órgão: GEP.E	21.02.2020	01	8/12



Assunto

UHE MARIMBONDO – CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA
PONTE GUMERCINDO PENTEADO

RL Nº

GEP.E.0023.2019

Data de Emissão

11.07.2019

Data	Vazão (m³/s)
1967	3949
1968	3945
1969	5528
1970	2549
1971	4781
1972	4350
1973	4854
1974	3826
1975	4881
1976	6859
1977	5617
1978	4904
1979	6032
1980	6835
1981	7370
1982	10368
1983	7857
1984	9213
1985	4101
1986	6485
1987	4274
1988	4814
1989	5551
1990	6589
1991	9234
1992	5035
1993	4316
1994	7805
1995	4920
1996	8026
1997	3997
1998	5235
1999	7555
2000	2777
2001	4858
2002	6534
2003	6444
2004	5736
2005	4877
2006	8113
2007	6417
2008	5685
2009	4918
2010	6805

Visto por

Órgão: GEP.E

Responsável pelo Conteúdo

Órgão: GEP.E

SW

Data da Revisão

21.02.2020

Revisão

01

Página

9/12

Assunto	RL Nº	Data de Emissão
UHE MARIMBONDO – CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA PONTE GUMERCINDO PENTEADO	GEP.E.0023.2019	11.07.2019

Data	Vazão (m³/s)
2011	5876
2012	4857
2013	2392
2014	2433
Média	5468.2
Máximo	10368
Mínima	2392.00
Cvar	0.297
Assim	0.412

Tabela 2 – Vazões Diárias Máximas Anuais

Considerando a reduzida assimetria amostral calculada, na análise de frequência de cheias, optou-se por empregar a distribuição de Gumbel, seguindo orientação das “Diretrizes para Projeto de Pequenas Centrais Hidrelétricas”, publicadas pela Eletrobrás. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 3, a seguir.

Tempo de Recorrência (anos)	Vazão (m³/s)
2	5201
5	6638
10	7590
20	8502
25	8792
50	9684
100	10569

Tabela 3 – Análise de Frequência de Vazões Diárias Máximas Anuais

PARTE VI - LEVANTAMENTO DE CAMPO

No dia 18.06.2019, foi realizado o levantamento topográfico do tabuleiro da Ponte Gumercindo penteado, de forma a possibilitar a análise dos níveis no local de interesse.

O levantamento, realizado pela Equipe de Furnas, registrou:

Cota do tabuleiro = 448,42 m

Cota do fundo do tabuleiro = 445,80 m

Visto por	Responsável pelo Conteúdo	Data da Revisão	Revisão	Página
Órgão: GEP.E	Órgão: GEP.E	21.02.2020	01	10/12



Assunto	RL Nº	Data de Emissão
UHE MARIMBONDO – CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA PONTE GUMERCINDO PENTEADO	GEP.E.0023.2019	11.07.2019

PARTE VII - RESULTADOS

Os resultados do trabalho estão sintetizados nos perfis de linha d'água ao longo do rio Grande, desde a barragem da UHE Marimbondo até o local da ponte Gumercindo Penteado, considerando as condições simuladas.

Destaca-se que as simulações realizadas possuem incertezas inerentes à modelagem computacional. Além disso, a ausência de dados básicos, que impossibilitou a calibração do modelo, contribui com estas incertezas, provocando distorções nos resultados.

UHE Marimbondo no NA máximo normal (NA = 446,30 m)

Para a condição em que o reservatório esteja operando em seu nível d'água máximo normal, a modelagem matemática indicou:

Vazão média de longo termo = 1852 m³/s → NA Ponte Gumercindo Penteado = 446,33 m.

Vazão TR 100 anos = 10569 m³/s → NA Ponte Gumercindo Penteado = 447,16 m.

Ou seja, operando em seu nível máximo normal, o reservatório da UHE Marimbondo irá atingir o fundo do tabuleiro da ponte Gumercindo Penteado, até mesmo para a vazão MLT.

UHE Marimbondo no NA com 95% do Volume Útil (NA = 445,73 m)

Para a condição em que o reservatório esteja operando com restrição de 95% de seu volume útil, ou seja, na EL. 445,73 m, a modelagem matemática indicou:

Vazão média de longo termo = 1852 m³/s → NA Ponte Gumercindo Penteado = 445,77 m.

Vazão TR 100 anos = 10569 m³/s → NA Ponte Gumercindo Penteado = 446,73 m.

Ou seja, para a vazão MLT, considerando a restrição acima, o NA do reservatório da UHE Marimbondo no local da Ponte Gumercindo Penteado estará alguns centímetros abaixo do fundo do tabuleiro desta ponte.

De acordo com as simulações realizadas, para que a ponte Gumercindo Penteado esteja protegida para uma recorrência de 100 anos, é necessário que o nível d'água da UHE Marimbondo seja mantido na cota 443,50 m.

Adicionalmente, foram realizadas simulações com o objetivo de verificar em qual nível d'água o reservatório da UHE Marimbondo deverá ser mantido, para diversas vazões afluentes, de forma a garantir a proteção da ponte.

Visto por	Responsável pelo Conteúdo	Data da Revisão	Revisão	Página
Órgão: GEP.E	Órgão: GEP.E	21.02.2020	01	11/12



Assunto	RL Nº	Data de Emissão
UHE MARIMBONDO – CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA PONTE GUMERCINDO PENTEADO	GEP.E.0023.2019	11.07.2019

Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 4, a seguir:

Vazão afluyente (m³/s)	Nível d'água (m)
1.000	445,29
2.000	445,25
3.000	445,19
4.000	445,10
5.000	444,98
6.000	444,83
7.000	444,61
8.000	444,40
9.000	444,11
10.000	443,74

Tabela 4 – Nível d'água da UHE Marimbondo, para diversas vazões afluentes, de forma a garantir a proteção da ponte

PARTE VIII - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante das incertezas da modelagem realizada, devido aos fatos citados anteriormente, o presente estudo deve ser considerado como uma análise preliminar, que estima os níveis d'água na ponte.

Deve-se enfatizar a relevância do assunto em questão, que pode, inclusive, impactar na geração do empreendimento. Por isso, é essencial que seja elaborado um estudo mais detalhado, com dados de campo, para que seja possível obter resultados mais precisos.

Neste contexto, é fundamental a instalação de um lance de réguas na Ponte Gumercindo Penteado, com a realização de leituras diárias.

Como não foi realizada calibração do modelo, para alcançar resultados consistentes, deve-se realizar leitura de régua diária por, no mínimo, um ano hidrológico, de forma a permitir a formação de uma massa de dados consistente.

Através da relação entre os níveis d'água na UHE Marimbondo e na Ponte Gumercindo Penteado, para cada vazão observada, será possível realizar as análises pertinentes e responder, com maior precisão, aos questionamentos apresentados pela Agência Nacional de Águas – ANA no ofício 127/2019/SER-ANA.

Visto por	Responsável pelo Conteúdo	Data da Revisão	Revisão	Página
Órgão: GEP.E	Órgão: GEP.E	21.02.2020	01	12/12

