
APROVEITAMENTO HIDRELÉTRICO JIRAU

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O REMANSO ESTIMADO E O
OBSERVADO NO RESERVATÓRIO DURANTE A CHEIA DE 2014

PRELIMINAR

NOTA TÉCNICA

CS NT JIR 007
MAIO/2014

CONTEÚDO

1. INTRODUÇÃO
2. VAZÕES DURANTE A CHEIA DE 2014
3. REMANSO PARA AS VAZÕES DE TR50 E TR100 ANOS
4. RECALIBRAGEM DO MODELO PARA REPRODUÇÃO DOS NÍVEIS DE ÁGUA VERIFICADOS NA CHEIA DE 2014
5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

PRELIMINAR

1 - INTRODUÇÃO

Uma cheia de magnitude sem precedentes ocorreu no rio Madeira no início de 2014, com as obras do AHE Jirau em fase final de implantação. As primeiras unidades de geração estavam em operação e/ou comissionamento e algumas ogivas do vertedouro se encontravam ainda em concretagem.

O barramento, conforme previsto no projeto de engenharia aprovado, estava preparado para receber com segurança um pico de cheia de tempo de recorrência da ordem de 500 anos e não houve risco quanto à sua integridade. Face às elevadas vazões afluentes, contudo, por motivos alheios ao controle do empreendedor, a segunda etapa (até a cota 90,0m) do primeiro enchimento do reservatório do AHE Jirau foi realizada fora do planejamento previsto pelo projeto, tendo em vista que o Plano de Enchimento foi elaborado com base em vazões teóricas (Q_{75}), conforme determinado pela Agência Nacional de Águas (ANA), e as oscilações do nível d'água do reservatório passaram a acompanhar a variação natural do rio Madeira e de seus afluentes.

A cheia submeteu o reservatório a um complexo processo hidrossedimentológico, por um lado, com o aporte de grande volume de sedimentos e, por outro, com a ocorrência de processos erosivos, levando a modificações da calha do rio Madeira. Na medida em que transcorria a cheia e evoluíam as seções topobatimétricas dos postos e réguas fluviométricas, diminuía a acuidade das curvas-chaves como estimadoras das vazões em trânsito.

Durante a cheia, foram monitorados os níveis d'água correntes, dia a dia, nos postos e réguas fluviométricas, ao longo do reservatório do AHE Jirau, que se constitui em um conjunto de dados confiáveis, uma vez que efetivamente medidos. O mesmo não sucede com as vazões diárias da hidrógrafa de cheia, que são estimadas a partir de curvas-chave determinadas pelo projeto.

Alerta para a questão, a ESBR procedeu a uma campanha de medições de vazão, compilando as relações entre níveis d'água e vazões líquidas nos posto fluviométricos, visando aferir as curvas-chave estabelecidas pelo projeto.

Esse trabalho, contudo, é complexo. Mostra-se difícil, na escala do tempo, afirmar até quando uma curva-chave pode ser aplicável e a partir de que momento se mostra recomendável aplicar uma nova equação de curva-chave redefinida.

Quando a ANEEL solicitou um estudo comparativo entre as linhas de remanso estimadas pelo projeto, aprovado pela Agência, e as efetivamente ocorridas durante a cheia, a ESBR expôs sua preocupação técnica: dispõe-se de um conjunto de níveis d'água diários medidos ao longo do reservatório, confiáveis, mas não se consegue relacionar com precisão esses níveis d'água medidos a vazões correntes diárias durante a cheia. Uma abordagem mais cuidadosa do problema se tornava necessária, demandando um maior tempo para a apresentação da análise, pois o fenômeno se caracterizava como uma passagem de uma onda de cheia, amortecida entre Abunã e Porto Velho nos reservatórios dos AHE Jirau e Santo Antônio.

Visando atender à solicitação da ANEEL, a ESBR empreendeu estudos cujos primeiros resultados são reunidos nesta nota técnica, na qual se define a hidrógrafa de cheia de 2014 a partir das curvas-chaves definidas previamente à ocorrência da cheia. Com base na hidrógrafa assim determinada, são comparados os níveis d'água observados nas réguas limnimétricas instaladas ao longo do reservatório e os estimados pelos estudos de remanso do projeto.

Paralelamente ao presente estudo, com base nas campanhas de medição realizadas durante a cheia, a ESBR está reafirmando as curvas-chaves das réguas e postos fluviométricos, cujo resultado será objeto de outra nova técnica.

2 - VAZÕES DURANTE A CHEIA DE 2014

Em 2013, a THEMAG, empresa projetista do AHE Jirau, fez um extenso trabalho de consistência das curvas-chave de vários postos fluviométricos a montante do reservatório do AHE Jirau e de Porto Velho. No mesmo trabalho, foi definida uma metodologia que usa ponderações das vazões em Abunã, Morada Nova e Porto Velho para definir a vazão afluente ao barramento do AHE Jirau.

Uma descrição detalhada do trabalho de consistência das curvas-chave e da definição da vazão está disponível no relatório THEMAG 1020-JI2-RT-USC-HH-00094-00.

Ainda em 2013, a metodologia foi levemente modificada para contornar variações observadas na curva-chave de Abunã, para vazões baixas, após a imposição do reservatório. A vazão de Abunã deixou de ser calculada pelo nível de água na régua de Abunã e passou a ser calculada a partir de uma estação fluviométrica a montante, no rio Madeira, denominada *Jusante Rio Beni*. A vazão calculada na seção do Rio Beni é propagada para Abunã através do método de Muskingun e acrescida da vazão incremental entre as duas estações (detalhes no Anexo 1).

As vazões assim calculadas para a cheia de 2014 estão apresentadas na Tabela 1 e na Figura 1. Apresenta-se também, na Figura 1, a vazão em Porto Velho calculada segunda a curva-chave definida no mesmo trabalho da THEMAG.

Tabela 1 – Vazões em trânsito no reservatório do AHE Jirau durante a cheia de 2014

Data	Vazão (m ³ /s)	Data	Vazão (m ³ /s)	Data	Vazão (m ³ /s)
01/Feb/14	38451	01/Mar/14	57471	01/Apr/14	61558
02/Feb/14	39136	02/Mar/14	57661	02/Apr/14	61291
03/Feb/14	39666	03/Mar/14	57682	03/Apr/14	61257
04/Feb/14	40398	04/Mar/14	57884	04/Apr/14	61369
05/Feb/14	41224	05/Mar/14	58107	05/Apr/14	61214
06/Feb/14	42085	06/Mar/14	58306	06/Apr/14	60918
07/Feb/14	43382	07/Mar/14	58408	07/Apr/14	60467
08/Feb/14	44349	08/Mar/14	58509	08/Apr/14	59878
09/Feb/14	45383	09/Mar/14	58785	09/Apr/14	59522
10/Feb/14	46138	10/Mar/14	58987	10/Apr/14	58972
11/Feb/14	47482	11/Mar/14	59193	11/Apr/14	57904
12/Feb/14	48546	12/Mar/14	59428	12/Apr/14	56692
13/Feb/14	49438	13/Mar/14	59517	13/Apr/14	55466
14/Feb/14	50460	14/Mar/14	59906	14/Apr/14	54363
15/Feb/14	51257	15/Mar/14	60024	15/Apr/14	53295
16/Feb/14	51939	16/Mar/14	60236	16/Apr/14	52143
17/Feb/14	52546	17/Mar/14	60520	17/Apr/14	51029
18/Feb/14	53096	18/Mar/14	60844	18/Apr/14	50672
19/Feb/14	53603	19/Mar/14	61346	19/Apr/14	50717
20/Feb/14	54133	20/Mar/14	62158	20/Apr/14	50335
21/Feb/14	54625	21/Mar/14	62695	21/Apr/14	49547
22/Feb/14	55232	22/Mar/14	62978	22/Apr/14	48411
23/Feb/14	55953	23/Mar/14	63444	23/Apr/14	47396
24/Feb/14	56447	24/Mar/14	63687	24/Apr/14	46614
25/Feb/14	56738	25/Mar/14	63620	25/Apr/14	46034
26/Feb/14	56950	26/Mar/14	63480	26/Apr/14	46000
27/Feb/14	57090	27/Mar/14	63288	27/Apr/14	46255
28/Feb/14	57188	28/Mar/14	63016	28/Apr/14	46236
		29/Mar/14	62720	29/Apr/14	46270
		30/Mar/14	62453	30/Apr/14	46247
		31/Mar/14	61944		

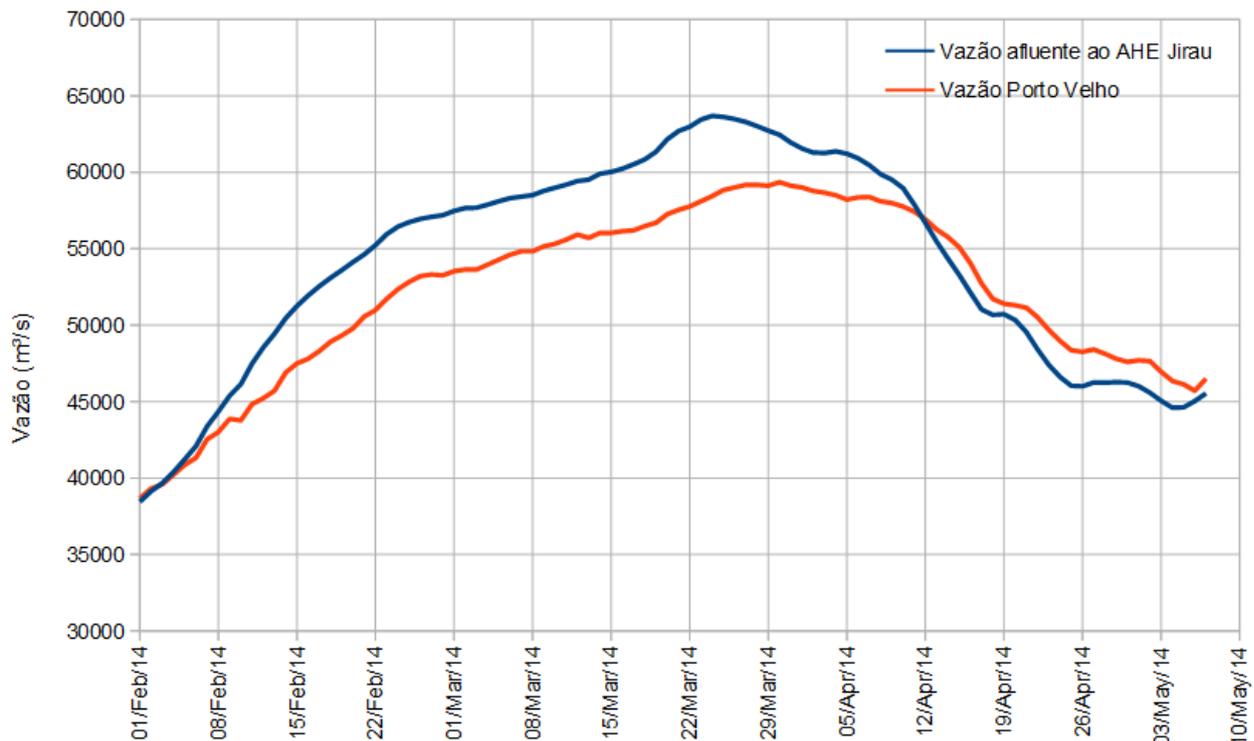


Figura 1 – Vazões em Porto Velho e em trânsito no reservatório do AHE Jirau durante a cheia de 2014

Como mencionado, em primeira aproximação, admite-se que a seção batimétrica do posto Jusante Rio Beni não foi significativamente alterada durante a passagem da cheia. Ressalta-se que esse posto, situado a montante de Abunã, encontra-se fora da influência do remanso do reservatório do AHE Jirau.

3 – REMANSO PARA AS VAZÕES DE TR50 E TR100 ANOS

Uma vez determinados os pares de valores níveis d'água, efetivamente medidos ao longo do reservatório, versus vazões diárias assim estimadas, procedeu-se à análise comparativa entre os níveis d'água de remanso no reservatório previstos pelo projeto nos estudos de remanso aprovados pela ANEEL e os observados ao longo da cheia de 2014.

Na simulação foi utilizado o modelo HEC-RAS com as mesmas configurações dos estudos para definição dos remansos, realizados em julho de 2010, mantendo-se as mesmas seções transversais e coeficientes de Manning resultantes da aplicação da metodologia recomendada e aprovada pela ANEEL (referência Nota Técnica nº 261/2010-SGH/ANEEL, de 03 de agosto de 2010).

Para a comparação foram escolhidos dois dias do histórico da cheia de 2014 cujas vazões médias diárias são equivalentes ou muito próximas às vazões de TR 50 (50.014 m³/s) e 100 anos (52.551 m³/s):

a) 14 de fevereiro – Q = 50.460 m³/s – N.A. barramento = 87,60 m

b) 17 de fevereiro – Q = 52.546 m³/s – N.A. barramento = 88,56 m

As simulações no HEC-RAS foram realizadas para as condições descritas em "a" e "b" acima e consideraram os níveis reais do reservatório do AHE Jirau nessas datas.

Os resultados comparativos entre medição nas régua limnimétricas e cálculo são apresentados no gráfico da Figura 2 a seguir. Alguns pontos da pista da rodovia BR-364 são também mostrados, assim como os níveis de água medidos junto a ela.

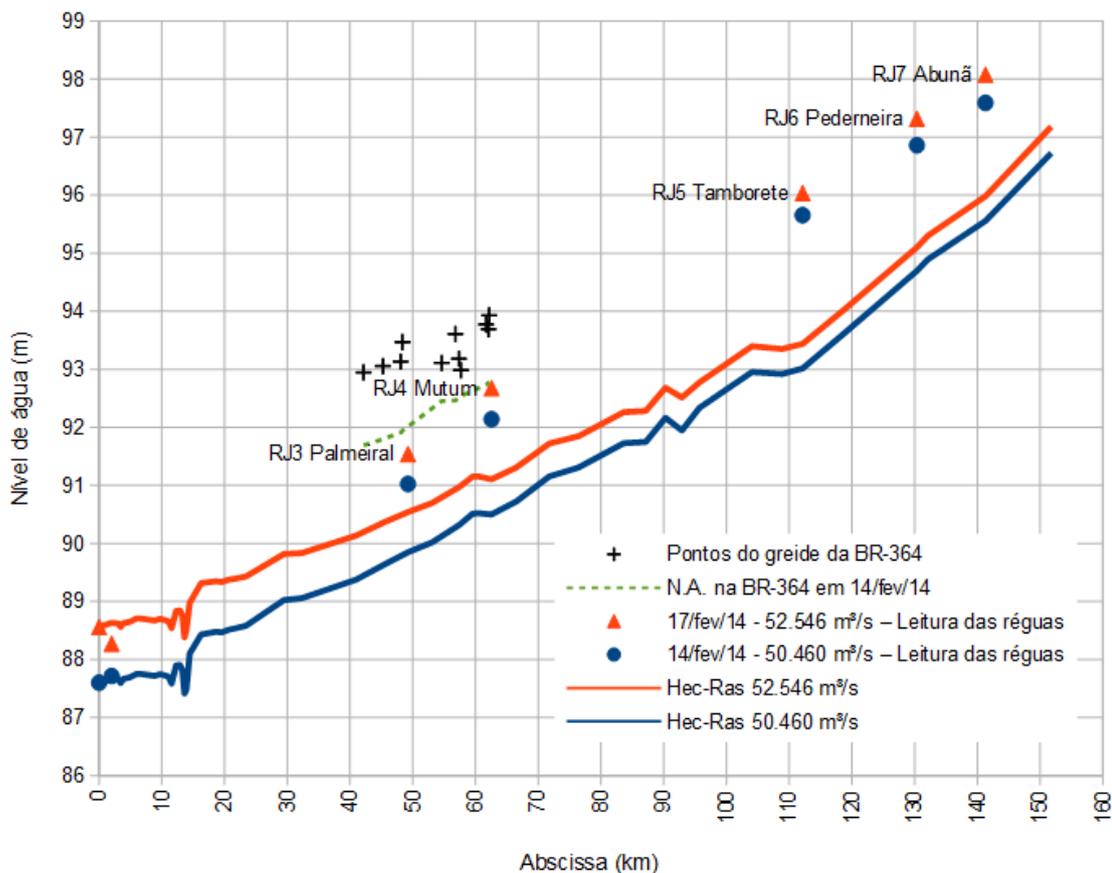


Figura 2 – Níveis de água previstos e medidos durante a cheia de 2014

Verifica-se que na região das réguas RJ3 Palmeiral e RJ4 Mutum, os níveis d'água observados foram superiores em cerca de 1,0 m a 1,5 m do que os simulados. Por outro lado, chama-se à atenção que os níveis medidos na rodovia BR-364 se mostraram superiores em mais de 1,0 m aos observados na calha do rio Madeira, o que indica que as cheias ocorridas no rio Mutum Paraná e outros contribuintes da margem direita do rio Madeira concorreram significativamente nesse processo. Ou seja, os níveis d'água alcançados na rodovia BR-364 não se deveram ao simples processo de extravasão do rio Madeira de sua calha principal, mas sim, também, da concorrência dos aportes marginais dos contribuintes da margem direita do rio Madeira, cujos tempos de recorrências foram elevadíssimos.

A magnitude de um e outro processo é de difícil quantificação, mas não resta dúvida que a diretriz da rodovia BR-364 atua como um dique de retenção lateral que dificulta a livre drenagem das vazões dos contribuintes na direção da calha do rio Madeira. As diferenças entre os níveis d'água na rodovia BR-364 e nas réguas do rio Madeira podem ser assim explicadas.

Os níveis de água observados nas réguas RJ 5 Tamborete, RJ 6 Pederneira e RJ 7 Abunã se mostraram superiores aos estimados. Porém, faz-se notar que nos estudos de remanso desenvolvidos em 2010, com a metodologia aprovada pela ANEEL, não se conheciam pontos da curva para vazões cinquentenárias ou centenárias, de modo que a calibragem ficou restrita, na ocasião, a vazões até 38.000 m³/s, suficiente para a finalidade inicial de estabelecimento da curva-guia de operação do reservatório.

Ressalta-se, desse modo, que embora mais elevados, os níveis observados em Abunã estão consistentes com o trecho de vazões altas da curva-chave desse posto, como se observa na figura 3 a seguir, indicando que para essa condição o controle é exercido pela calha do rio Madeira, não havendo interferência do reservatório do AHE Jirau. Ou seja, se houvesse, ou não, o reservatório do AHE Jirau, os níveis observados em Abunã seriam os mesmos para as vazões cinquentenária e centenária.

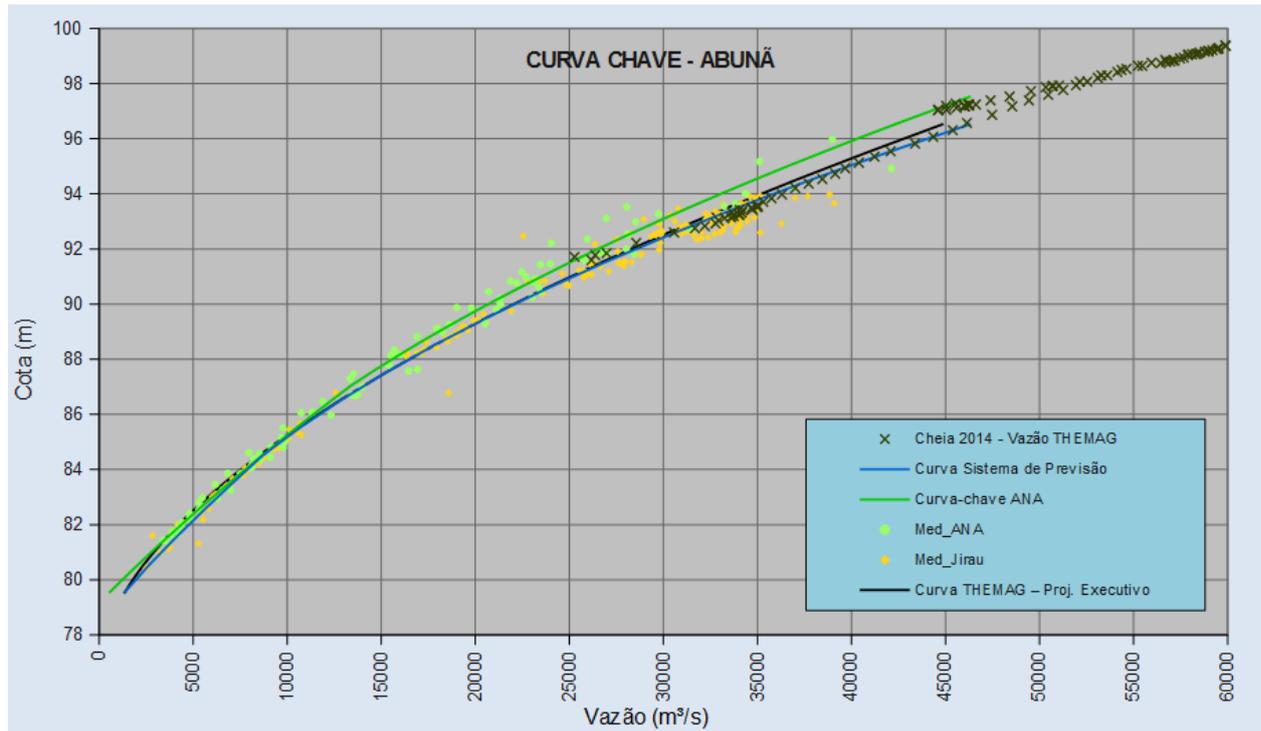


Figura 3 – Curva-chave em Abunã

4 - RECALIBRAGEM DO MODELO PARA REPRODUÇÃO DOS NÍVEIS DE ÁGUA VERIFICADOS NA CHEIA DE 2014

Para forçar o modelo HEC-RAS a responder nas seções das régua das dispostas no reservatório do AHE Jirau com os níveis observados na cheia de 2014, nos dias 14 e 17 de fevereiro de 2014, foram majorados, trecho a trecho, os coeficientes de Manning da calibragem pela metodologia ANEEL, por coeficientes multiplicadores conforme indicado na Tabela 2.

As linhas de remanso calculadas no HEC-RAS com os novos coeficientes de rugosidade são mostradas na Figura 4.

Tabela 2 – Coeficientes de rugosidade originais e reajustados

Trecho		Rugosidade "n" de Manning original (critério ANEEL)		Multiplicador do "n" de Manning	Rugosidade "n" de Manning recalibrada	
De:	Até:	Para N.A. alto*	Para N.A. baixo*		Para N.A. alto*	Para N.A. baixo*
Barramento	RJ3 Palmeiral	0.021 (91)	0.027 (82)	X 1.40 =	0.029 (91)	0.038 (82)
		0.021 (91)	0.029 (82)	X 1.40 =	0.029 (91)	0.041 (82)
		0.023 (92)	0.031 (82)	X 1.40 =	0.032 (92)	0.043 (82)
RJ3 Palmeiral	RJ4 Mutum	0.027 (92)	0.043 (82)	X 1.60 =	0.043 (92)	0.069 (82)
RJ4 Mutum	RJ5 Tamborete	0.019 (94)	0.037 (82)	X 1.60 =	0.030 (94)	0.059 (82)
RJ5 Tamborete	RJ6 Pederneira	0.052 (95)	0.031 (82)	X 1.30 =	0.068 (95)	0.040 (82)
RJ6 Pederneira	RJ7 Abunã	0.052 (95)	0.031 (82)	X 1.05 =	0.055 (95)	0.033 (82)

* Entre parênteses está o o nível de água correspondente à rugosidade

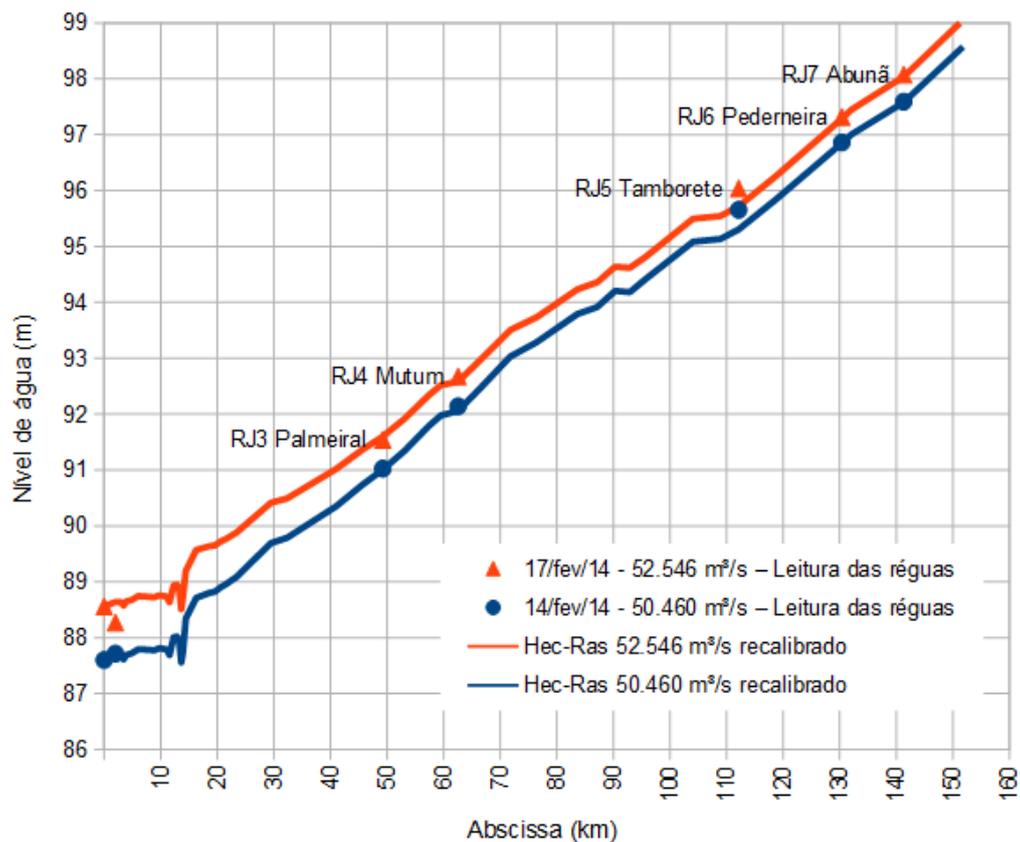


Figura 4 – Linhas de remanso calculadas pelo HEC-RAS após ajuste dos coeficientes "n" de Manning

Nota-se que no trecho entre as réguas RJ6 e RJ7 (Abunã), o multiplicador do “n” de Manning é bem inferior, em comparação com os trechos a jusante, o que indica uma inconsistência. Observando a Figura 2 apresentada no item anterior, nota-se que nas réguas RJ3 Palmeiral e RJ4 Mutum, as diferenças entre os níveis d’água observados e os estimados parecem ser de mesma magnitude, enquanto nas réguas RJ5 Tamborete, RJ6 Perderneira e RJ7 Abunã, as diferenças são um pouco mais elevadas. Isso seria um indicador que nesse trecho do reservatório pode estar ocorrendo uma afetação dos níveis d’água por depósitos de sedimentos, o que deverá ser verificado no monitoramento dos perfis topobatimétricos das seções de monitoramento, conforme previsto no Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico.

É importante destacar, entretanto, que não se recomenda proceder a essa aferição forçada do modelo HEC-RAS, através da majoração do coeficiente “n” de Manning. O correto no caso é o levantamento das seções batimétricas do reservatório após a cheia, conforme já previsto, visando reproduzir de uma forma mais adequada a nova configuração da calha do rio Madeira.

5 – CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A enchente de 2014 no rio Madeira se caracterizou como uma onda de cheia afluyente que foi amortecida nos reservatórios dos AHEs Jirau e Santo Antonio, que resultou, durante alguns dias, na ocorrência de vazões superiores em Abunã do que em Porto Velho. Portanto, em nível diário, considera-se um erro estimar vazões em Abunã durante a cheia por relação de área de drenagem a partir das vazões determinadas em Porto Velho.

Nesta nota técnica, foi admitida a hipótese que as seções topobatimétricas das réguas e postos fluviométricos do rio Madeira não chegaram a sofrer significativas alterações, permitindo que as curvas-chave determinadas pelo projeto, previamente à cheia de 2014, fossem consideradas aplicáveis para efeito da estimativa das vazões diárias afluentes ao reservatório do AHE Jirau.

No estirão do rio Madeira das réguas RJ3 Palmeiral e RJ4 Mutum foram observados níveis d’água superiores em cerca de 1,0 m a 1,5 m do que os simulados pelos estudos de remanso. Os níveis medidos na rodovia BR-364 se mostraram superiores em mais de 1,0 m aos observados na calha do rio Madeira, o que indica que as cheias ocorridas no rio Mutum Paraná e outros contribuintes da margem direita do rio Madeira concorreram significativamente nesse processo. A diretriz da rodovia BR-364 atuou como um dique de retenção lateral dificultando a livre drenagem das vazões dos contribuintes na direção da calha do rio Madeira.

Os níveis de água observados nas réguas RJ 5 Tamborete, RJ 6 Pederneira e RJ 7, Abunã se mostraram superiores aos estimados, mas essa sobrelevação seria observada independentemente se houvesse, ou não, o reservatório do AHE Jirau, para as vazões cinquentenária e centenária.

Um segundo estudo encontra-se em realização, procedendo-se à revisão das curvas-chave, recalculadas com as medições de vazão realizadas durante a cheia de 2014. Esse estudo será objeto de outra nota técnica.

Paralelamente, novos levantamentos topobatimétricos deverão ser executados para caracterização do reservatório do AHE Jirau após a cheia. Com isso, será possível recalibrar adequadamente o modelo HEC-RAS sem que os coeficientes “n” de rugosidade de Manning sejam artificialmente majorados.

PRELIMINAR

ANEXO 1

AValiação DA VAZÃO EM ABUNÃ

Num dado dia t , a vazão média no sítio da estação Abunã é avaliada por:

$$Q_{abu_t} = Q_{pro_t} + Q_{int_t}$$

onde: Q_{pro_t} é a parcela propagada do sítio da estação Jusante Rio Beni e Q_{int_t} é a parcela gerada na própria bacia intermediária entre as citadas estações.

a) Avaliação de Q_{pro_t}

Para a avaliação da vazão propagada Q_{pro_t} , é utilizada uma equação recursiva similar à do método de Muskingun, tendo por base as vazões em Jusante Rio Beni (Q_{jrb_t} e $Q_{jrb_{t-1}}$):

$$Q_{pro_t} = A_t \cdot Q_{jrb_t} + B_t \cdot Q_{jrb_{t-1}} + C_t \cdot Q_{pro_{t-1}}$$

com,

$$A_t = (-X \cdot K_t + 0,5) / (K_t - X \cdot K_t + 0,5)$$

$$B_t = (+X \cdot K_t + 0,5) / (K_t - X \cdot K_t + 0,5)$$

$$C_t = (K_t - X \cdot K_t - 0,5) / (K_t - X \cdot K_t + 0,5)$$

e,

$$K_t = K_r \cdot ((Q_{jrb_t} + Q_{pro_{t-1}}) / 2 / Q_m)^Y$$

Nessas equações, Q_m , K_r , X e Y são os parâmetros do modelo e foram previamente calibrados em 17000, 0,575, 0,05 e -0,10, respectivamente.

Para a aplicação dessa equação num dia t , notar que é preciso fornecer $Q_{pro_{t-1}}$, ou seja, o resultado de sua aplicação no dia anterior.

b) Avaliação de Q_{int_t}

Para a avaliação da vazão da bacia intermediária, Q_{int_t} , é adotada a hipótese de que ela seja proporcional à vazão observada na estação Morada Nova Jusante, situada na bacia próxima do rio Abunã:

$$Q_{int_t} = C \cdot Q_{mnj_t}$$

Nessa equação, C foi adotado igual a 0,11, que corresponde à razão entre as áreas de drenagem da bacia intermediária e da bacia do rio Abunã em Morada Nova Jusante.