AVALIAÇÃO DE RESTRIÇÃO DE VAZÃO MÁXIMA EM BACIA NÃO CONTROLADA: CASO DA UHE TRÊS MARIAS

Maria J. D. Rocha [1]; Luana F. Gomes de Paiva [2]; Hugo B. Torraca[3] ; Hadassiana C. Creton[4] & Paulo Vitor M. Melo[5]

Palavras-Chave – Restrição de vazão, Vazão máxima; Bacia do São Francisco, UHE Três Marias.

INTRODUÇÃO

A operação hidráulica das Usinas Hidroelétricas (UHEs) que compõem o Sistema Interligado Nacional (SIN) é realizada considerando os Condicionantes Operativos Hidráulicos (COPHIs), as restrições elétricas e o atendimento à carga prevista (ONS, 2001; 2019). A consideração dos condicionantes operativos hidráulicos, que se referem a quaisquer limitações impostas a variáveis hidráulicas de usinas hidroelétricas, introduzem uma série de restrições operativas que devem ser consideradas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) nos modelos eletroenergéticos que subsidiam o planejamento e a programação da operação. Alguns desses condicionantes representam vazões máximas localizadas em bacias não controladas, ou seja, em trechos entre o posto fluviométrico e a usina. A vazão máxima nesses pontos de controle representa restrições à inundação na região, o que reflete na operação da usina para fins de controle de cheias. Adicionalmente, esse tipo de restrição é de complexa representação nos modelos eletroenergéticos, pois depende da vazão incremental não controlada entre o reservatório a montante mais próximo e o posto fluviométrico de controle. Assim, este trabalho objetivou avaliar um critério para incorporar a restrição não controlada de vazão máxima na cadeia de modelos eletroenergéticos do SIN.

METODOLOGIA

Área de estudo

Visando aproximar a proposta de programação da operação indicada pelo modelo DESSEM com a definida e enviada para o tempo real é importante o aprimoramento da representação de restrições de vazões máximas em trechos de bacias não controladas. Para aplicação do critério proposto, foi escolhida na bacia do rio São Franscisco o ponto de controle para cheias da UHE Três Marias cuja restrição de vazão máxima é 4.000 m³/s na cidade de Pirapora, monitorado pela estação fluviométrica 41135000 conforme apresentado na Figura 1.

1) Operador Nacional do Sistema Elétrico, maria.delmiro@ons.org.br
2) Operador Nacional do Sistema Elétrico, maria.delmiro@ons.org.br
[3]) Operador Nacional do Sistema Elétrico, hugotorraca@ons.org.br
[4]) Operador Nacional do Sistema Elétrico, Hadassiana@ons.org.br
[5]) Operador Nacional do Sistema Elétrico, paulovitor.melo@ons.org.br
ISSN: 2764-9040

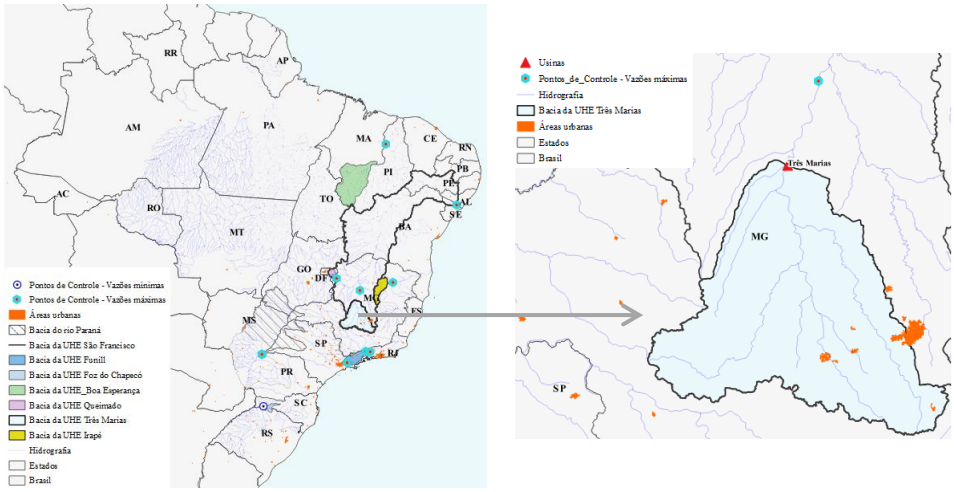


Figura 1 - Pontos de controle de vazões máximas no SIN com ênfase em Pirapora - UHE Três Marias.

Regionalização de vazões e regressão linear

A regionalização de vazões é uma técnica amplamente utilizada na hidrologia para estimar características hidrológicas em locais com dados de baixa qualidade, escassos ou inexistentes, a partir de informações disponíveis em locais hidrologicamente semelhantes. Trata-se da transposição de uma série de vazões ou vazões específicas para outro eixo de um rio ou para outro rio com caraterísticas similares. Essa abordagem pode ser feita de diversas maneiras e é essencial para a gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas.

Para este estudo, optou-se por um método de regionalização utilizando regressões lineares de picos de vazões no ponto de controle próximas ao valor da restrição. A regressão linear para estimar a relação entre picos de vazão em dois pontos distintos de uma bacia hidrográfica é uma técnica respaldada por princípios de hidrologia estatística (Tucci, 2009) que destacam a importância da análise de séries temporais e da consideração das incertezas associadas às estimativas.

O método adotado seguiu-se com a (i) identificação de todos os eventos cujos picos de vazão foram próximos ao valor da vazão de restrição, (ii) identificação do pico equivalente no ponto da usina, (iii) remoção dos pares de pontos não adequados para estimativa da regressão, (iv) ajuste da Regressão Linear e (v) estimativa da vazão na usina que corresponde à vazão de restrição no ponto de controle.

Identificação de eventos críticos

Foram selecionados os eventos hidrológicos com picos de vazão em Pirapora entre 3.000 m³/s e 5.000 m³/s, utilizando uma janela móvel de 11 dias, composta por 5 dias anteriores ao evento e 5 dias posteriores, além do próprio dia de referência. Um total de 132 picos candidatos no horizonte de 1931 a 2024 foram considerados. Essa janela foi considerada para garantir que cada evento de cheia foi contabilizado apenas uma vez. A Figura 2 apresenta a série histórica completa na usina, no posto e os picos identificados.

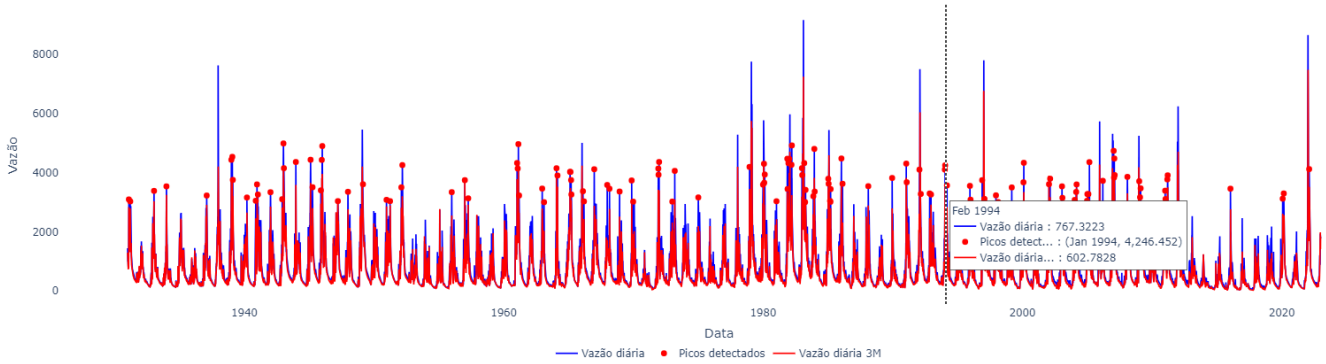


Figura 2 - Identificação dos picos históricos de vazão (m³/s).

Determinação do pico equivalente na usina

Para cada evento identificado, foi determinado o pico de vazão correspondente em Três Marias, no intervalo de três dias anteriores, até o dia do pico em Pirapora. Essa defasagem temporal considera o tempo de propagação da onda de cheia que pode variar de um evento para outro.

Análise de dados e ajuste da Regressão Linear

Foram excluídos os 5% dos pares de dados com as maiores e menores diferenças relativas entre os picos de vazão em Três Marias e Pirapora. Os casos com grandes diferenças indicam eventos em que a precipitação ocorreu predominantemente a jusante de Três Marias, enquanto os pares com picos muito próximos sugerem que a precipitação se concentrou majoritariamente a montante do reservatório. Ambas as situações representam condições hidrológicas atípicas e, portanto, foram tratadas como outliers no contexto da regressão, por não refletirem o comportamento médio do processo de propagação da cheia ao longo do rio. A Figura 3 apresenta os pares excluídos.

A regressão foi ajustada utilizando o método Total Least Squares (TLS), que minimiza os erros perpendiculares à reta de ajuste quando ambas as variáveis possuem incertezas de mesma grandeza nos dados, sendo mais recomendada em estudos hidrológicos onde tanto as variáveis regressoras quanto as regredidas estão sujeitas a erros de medição, o que descreve melhor as variáveis adotadas.

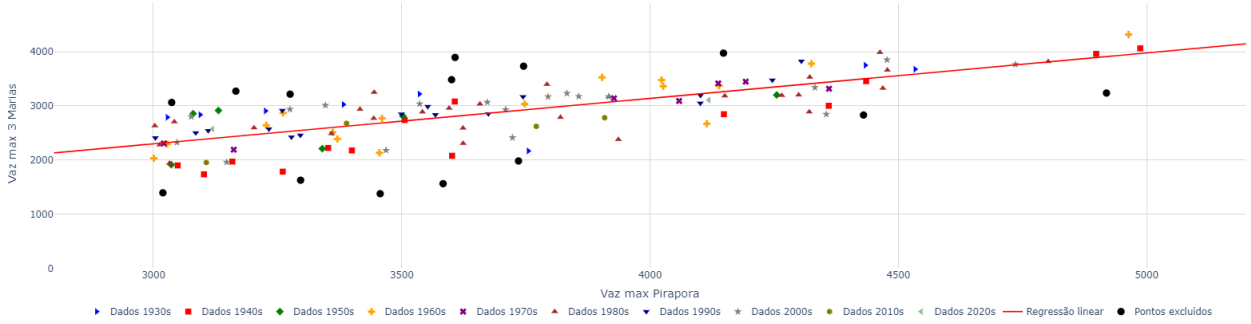


Figura 3 - Eventos selecionados e pontos excluídos de vazão (m³/s)

RESULTADOS

Simulação com Bootstrap

Foi utilizada a regressão via TLS (Total Least Squares) para estimar o pico de vazão em Pirapora a partir do pico observado em Três Marias. Com o objetivo de obter uma estimativa mais robusta da relação entre essas duas localidades, a regressão foi repetida 4.000 vezes utilizando a técnica de bootstrap (Efron & Tibshirani, 1993). Para cada reta obtida em uma iteração do bootstrap, foram adicionados 400 ruídos provenientes da distribuição empírica dos resíduos correspondentes àquela amostra específica.

Os pontos ao longo da reta foram amostrados em intervalos regulares de 50 m³/s, no intervalo de 3.000 a 5.000 m³/s. Em seguida, para cada ponto amostrado, foram calculadas a mediana e as faixas dos percentis 5%, 20%, 80% e 95%, conforme apresentado na Figura 4, permitindo assim uma avaliação probabilística da relação entre os picos de vazão em Três Marias e Pirapora.

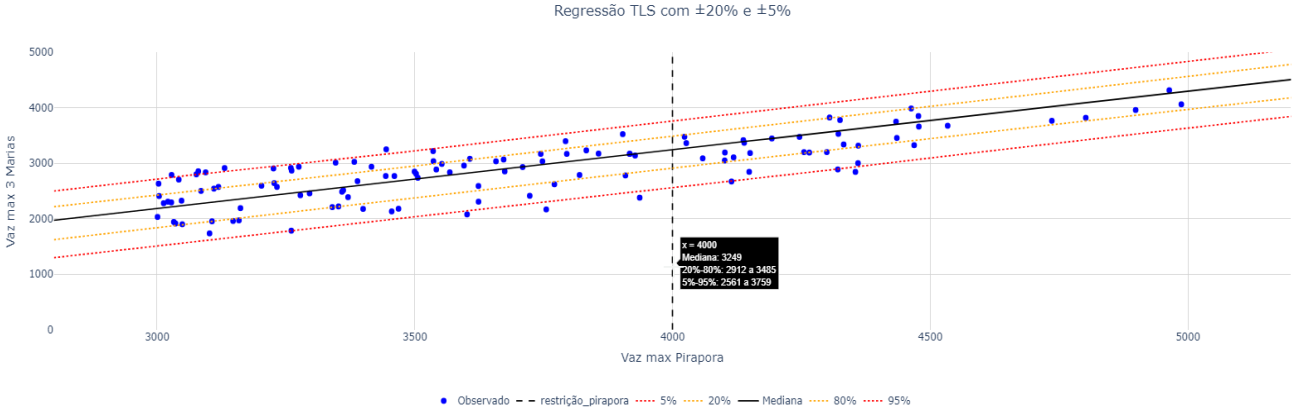


Figura 4 - Regressão linear com a inclusão dos intervalos de confiança.

Considerando a restrição de vazão de 4.000 m³/s em Pirapora, a análise indicou os seguintes valores correspondentes em Três Marias: o percentil de 5% foi de 2.561 m³/s, o de 20% foi de 2.912 m³/s, a mediana foi de 3.249 m³/s, o percentil de 80% foi de 3.485 m³/s e o de 95% foi de 3.759 m³/s. Desse modo, considerando uma maior segurança, foi definido o valor de referência para períodos chuvosos com maior probabilidade da restrição de defluência estar ativa, isto é, situações em que os valores defluídos em Três Marias ultrapassassem 2.560 m³/s.

CONCLUSÕES

O método proposto pode indicar aos modelos de otimização eletroenergética sobre a partir de qual vazão recomenda-se começar a alocar o excedente dessa vazão no volume de espera na usina, ou sinalizar a possibilidade de ultrapassar o valor da restrição no ponto a jusante. O uso de regressões pelo método dos mínimos quadrados totais (TLS) para a regionalização de uma vazão específica mostrou-se uma abordagem viável, permitindo a estimativa de diferentes percentis de segurança. Destaca-se que, complementarmente, esse critério deve ser aplicado com cautela e não substitui a medição direta, especialmente em contextos de operação de sistemas hidráulicos. Adicionalmente, é importante considerar que, para cada evento específico, características particulares devem ser avaliadas individualmente, uma vez que a resposta hidrológica pode variar significativamente conforme as condições do evento. Por fim, o método pode proporcionar um valor de referência para representação na modelagem e para operação da usina considerando condição de cheias servindo como base para a tomada de decisão.

REFERÊNCIAS

Efron, B., & Tibshirani, R. J. (1993). An introduction to the bootstrap. Chapman & Hall.

Operador Nacional do Sistema Elétrico. (2001) Inventário das restrições operativas hidráulicas dos aproveitamentos hidrelétricos – RE 3/092/2001 – 2ª revisão. Agosto de 2001.

Operador Nacional do Sistema Elétrico. (2019). Procedimentos de Rede: Submódulo 8.1 – Programação diária da operação eletroenergética (Revisão 2019.08). ONS. https://www.ons.org.br/ProcedimentosDeRede/Módulo%208/Submódulo%208.1/Submódulo%208.1%20201 9.08.pdf

Tucci, C. E. M. (Org.). (2009). Hidrologia: ciência e aplicação (4ª ed.). Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH