



GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH

REAPROVEITAMENTO ENERGÉTICO DA ÁGUA DE VAZÃO ECOLÓGICA EM USINAS HIDRELÉTRICAS

WALKER MATHEUS FERREIRA DA SILVA(1); PEDRO PAULO NUNES COSTA(1); CARLOS BARREIRA MARTINEZ(2)
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS(1); UNIFEI(2)

RESUMO

No Brasil 65% da energia elétrica gerada é proveniente de usinas hidrelétricas (UHE), essas instalações possuem um arranjo no qual sua configuração é pensada de tal forma que minimize os custos de implantação e algumas dessas instalações são de desvio de rio e criam regiões conhecidas como trechos de vazão reduzida então dessa perspectiva pode-se vislumbrar uma situação onde o reaproveitamento energético da vazão ecológica se constitui em uma possível solução para diminuir essa perda de geração com a utilização das vazões residuais como parâmetro para geração secundária.

PALAVRAS-CHAVE – Perdas de geração, Vazão Ecológica, Usinas Hidrelétricas

1.0 INTRODUÇÃO

A matriz energética brasileira possui aproximadamente 80% de participação de fontes de energias renováveis, sendo que, 65% são provenientes de hidrelétricas (UHE) (10). Exemplificando, a geração de energia se baseia na transformação da energia, se iniciando com o processo de utilização da energia hidráulica potencial, contida nos reservatórios ou proveniente do escoamento dos rios que é transformada em energia mecânica por uma turbina acoplada a um gerador elétrico e posteriormente essa energia é transmitida para centros de consumo pelas linhas de transmissão (21). Apesar do privilégio que temos em relação a disponibilidade hídrica superficial, é um desafio recorrente ao setor elétrico brasileiro atender a demanda do mercado consumidor e de acompanhar sua evolução com uma oferta baseada em energia limpa. Dentre os diversos desafios, pode-se citar os elevados custos de investimentos necessários para a construção dessas UHE que cada vez mais se distanciam dos grandes centros de consumo. Além disso, a energia hidráulica é dependente principalmente da sazonalidade hidrológica (períodos de cheia e de seca), que intervém diretamente na vazão disponível, influenciando diretamente na geração de energia e na manutenção do bioma (fauna, flora, ictiofauna, entre outros) no decorrer do curso dos rios. Uma das estratégias para se evitar os impactos sobre o meio ambiente é manter uma vazão mínima que seja capaz de sustentar a vida ao longo do rio (14). Essa vazão é denominada de vazão ecológica (ou de preservação ambiental), onde essa demanda tem aberto espaço para desenvolvimento de alternativas de reaproveitamento energético, entre outros meios para aumentar a geração hidrelétrica, a exemplo do que foi implantado na UHE Belo Monte no Estado do Pará (6) e apesar do desenvolvimento de técnicas ambientais que os sistemas de geração hidrelétricos tiveram nos últimos 50 anos, ainda se convive com problemas severos e ainda assim, muitos empreendedores têm questionado a manutenção da vazão residual, pois, alegam que essa representa uma redução na disponibilidade do bloco de energia, principalmente em épocas de baixas afluências de vazão.

E nas últimas décadas, no Brasil, optou-se por implantar UHE's a fio d'água, abrindo mão da capacidade de regularização dos reservatórios que possibilitam um ganho energético significativo para o empreendimento, porém com efeito houve redução da vazão média, disponível no qual impactou a capacidade instalada das usinas e resultou no aumento do custo unitário da energia gerada. Além disso, com a falta de regularização os empreendimentos ficam expostos a uma situação de baixas afluências de vazão nos períodos de seca, o que reduz drasticamente a vazão aproveitável pela UHE nesses períodos. A par disso, a legislação Brasileira (5), impõe a manutenção de uma vazão residual mínima que varia em função das leis locais (Estaduais). Essa vazão residual muitas vezes é inferior a mínima vazão possível de ser turbinada pela casa de força, o que força o empreendedor (ou concessionário), a despachar um caudal residual pelas válvulas dispersoras ou pelo vertedor (8). Essa vazão não é transformada em energia, e se constitui em uma perda de geração diminuindo o bloco de energia gerado pela UHE. Portanto, essa investigação se justifica em função da necessidade de se verificar o real impacto energético dessa vazão.

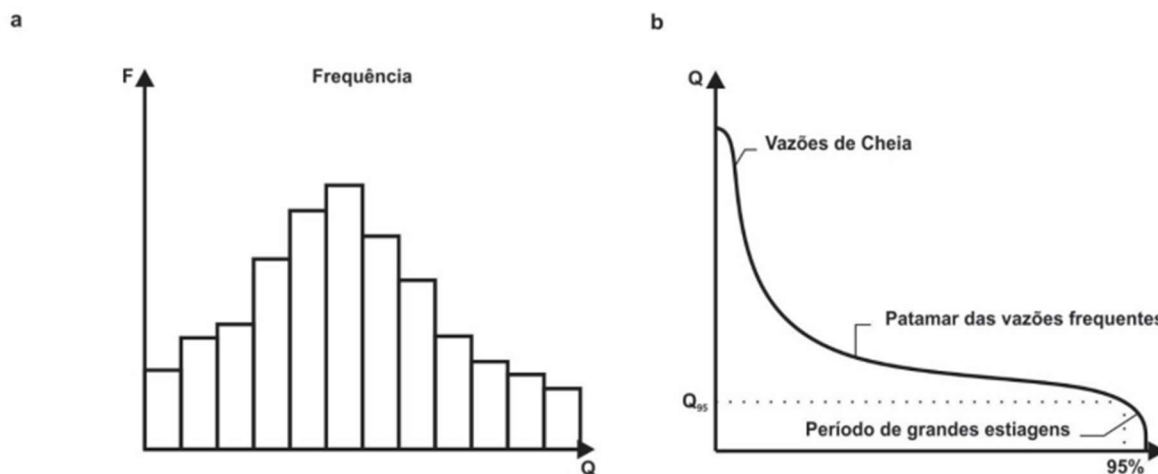
2.0 METODOLOGIAS PARA DETERMINAÇÃO DE VAZÃO ECOLÓGICA

A metodologia utilizada, se baseia em parâmetros já existentes mundialmente, que tem por objetivo, determinar uma vazão ecológica, utilizando parâmetros estabelecidos pela legislação local. De acordo com estudos já realizados, percebe-se que um valor único de vazão mínima não é suficiente para manter as condições naturais pré-existentes e que as variabilidades naturais dos sistemas hídricos são muito importantes para o desenvolvimento das comunidades aquáticas (19, 22, 23). As primeiras metodologias de determinação de vazões mínimas surgiram na década de 70 e 80. A partir daí desenvolveram-se metodologias para avaliar as vazões ecológicas correlacionando os dados obtidos a partir de levantamentos de campo sobre a ecologia dos rios. No entanto, a existência de centenas de metodologias torna o processo complexo e vulnerável a críticas. Assim os métodos têm sido classificados em categorias de acordo com sua complexidade de aplicação. Há ainda que considerar que existem problemas em aplicação das metodologias e disparidade nos resultados apresentados por diferentes utilizações (24, 25). No Brasil e no mundo são utilizadas metodologias diversas, onde cada metodologia para determinar a vazão ecológica produz normalmente mais de um cenário possível para regimes de escoamentos futuros levando em consideração um determinado rio. Essas metodologias são subdivididas e agrupadas de várias maneiras, apresentando semelhanças e diferenças pontuais, diferenciando-se principalmente mais pelas características adotadas do que por métodos em si (18). Porém, no Brasil, utiliza-se em larga escala a metodologia hidrológica, especificamente métodos de vazão (Q7,10), adotando-se um percentual dessa vazão como referência da descarga ambiental. Também, dentro desse tipo de metodologia tem-se a metodologia que preconiza a adoção de uma fração das vazões com 95% do tempo de permanência. No início da década de 2000 introduziu-se a metodologia de habitat, especificamente o método IFIM (16).

Para a metodologia hidráulica (Q95), utiliza-se da análise da curva de permanência que relaciona sua probabilidade de ocorrência ao longo de um tempo. Para isso utilizam-se dados com variabilidade diária, mensal ou anual. Estes são calculados de acordo com dados de séries históricas incorporando particularidades definidas de acordo com o curso do rio em análise. Para isso os dados disponíveis são ordenados de forma crescente, com etapas determinadas para aferição dos dados (17).

Exemplificando, o critério de vazão Q95, contempla a análise de curva de permanência de vazões, em séries históricas com intervalo mínimo de 10 anos. Ou seja, assume-se hipoteticamente que 95% do tempo as vazões do curso d'água em questão serão iguais ou superiores ao valor determinado pela curva de permanência. De acordo com a Figura 1a, temos a distribuição de frequência através de colunas, e a Figura 1b, um exemplo hipotético de curva de permanência, baseada em série história arbitrária.

Figura 1: Distribuição de frequência e Curva de permanência, considerando vazão Q95



Fonte: Adaptado de Mendes (2007.)

Para exemplificação acima, a vazão de referência de 95% (noventa e cinco por cento) da curva de permanência, significa que 95% do tempo, as vazões são maiores ou iguais ao valor de Q95. E na descrição geral, os períodos de grandes estiagens correm quando são probabilidades inferiores a 95% (17). Apesar das diversas discussões que ainda pairam sobre esse assunto, esses dois métodos (Q7,10 e Q95) são bastante comuns e aceitos no Brasil, e se constituem no núcleo deste estudo. Entretanto, é importante deixar registrado que existem diversas metodologias para se determinar essas vazões e que essas são priorizadas de acordo com a avaliação de especialistas de diversas áreas de conhecimento em especial das áreas de recursos hídricos, ambientais, sociais, entre outros.

A metodologia Q7,10 é obtida através das médias móveis diárias com intervalos de 7 dias com período de um ano completo (4). A mínima das médias é memorizada e todo o processo é repetido em função da quantidade do tempo

de recorrência mínimo de dez anos, resultando uma série de valores mínimos de vazões médias de 7 dias consecutivos. Essas vazões são ordenadas em ordem crescente. A partir daí são estimadas as suas funções distributivas e períodos de retorno, e dentro desta função distributiva, estima-se a vazão mínima de 7 dias de duração com período de retorno de no mínimo 10 anos. Esta pode ser calculada de acordo com a equação abaixo.

$$Q_{7,10} = \bar{v} + \sigma [0,4500 + 0,7797 [\ln (\ln \frac{TR}{TR-1})]] \quad (1)$$

Onde, $Q_{7,10}$ é o resultado da vazão ecológica pretendida, \bar{v} é a média mínima móvel de sete dias de recorrência em um ano, σ , desvio padrão, e TR , a taxa de recorrência.

3.0 METODOLOGIA

3.1 Critérios da determinação de vazão ecológica

Atualmente a legislação sobre a manutenção da vazão ecológica é dependente de fatores ambientais, econômicos, sociais, entre outros. Segundo a Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (3), cada estado tem autonomia para identificar os aspectos predominantes para gerenciar a utilização de sua água. Isso implica em dizer que eles podem definir as particularidades dos empreendimentos nos cursos d'água onde as usinas hidrelétricas estão localizadas. Assim não existe o conceito de vazão máxima outorgável, ou seja, não há parâmetros pré-definidos para utilização dos recursos hídricos na região do aproveitamento. Porém, de acordo com a própria Agência, há legislações vigentes nos Estados e elas podem ser diversas. A Tabela 1 a seguir apresenta um resumo das vazões de outorga para os dois Estados onde se encontram as usinas objeto desse estudo. Nesta Tabela pode-se observar que existem exceções de acordo com o tipo de utilização do recurso hídrico local. Essas exceções são analisadas pelos órgãos ambientais estaduais competentes de acordo com a visão dos seus técnicos (2).

Tabela 1: Vazões de outorga

Órgão gestor	Vazão Máxima Outorgável	Legislação referente a vazão outorgável
SEMARH-Goiás	70% da Q95	Não possui legislação específica
IGAM-Minas Gerais	30% da Q7,10	Para captações a fio d'água e em reservatórios, podendo ser liberadas vazões superiores, desde que mantenha o mínimo residual de 70% da Q7,10 durante todo o tempo Portaria IGAM nº 010/1998 e 007/1999

Fonte: ANA, 2011.

3.2 Determinação de potência e energia

A potência instalada de uma usina hidrelétrica "Pinst" é diretamente dependente da massa específica da água " ρ ", da vazão de projeto " Q ", do desnível existente no local " H ", da aceleração da gravidade " g " e do rendimento global da instalação " η ", o produto dessas grandezas, resulta na potência bruta da instalação, Equação 2 (9).

$$P_{inst} = \rho * g * Q * H * \eta / 1000 \text{ (kW)} \quad (2)$$

A Energia Firme corresponde à máxima produção que uma Usina pode fornecer, considerando o período mais seco registrado no histórico de vazões sem a ocorrência de déficits, considerando-se todo o registro histórico de afluições apresentada na Equação 3 (15).

$$E_{firme} = P_{inst} \dots Top.med. \quad (3)$$

Sendo Top.med. o tempo médio de operação da instalação (mês ou ano). Para se calcular a perda de arrecadação (Parrec) com o despacho da vazão residual em um determinado período de tempo multiplica-se o valor de comercialização de energia (Venerg) em R\$ / kWh pela somatória da vazão despachada pelos sistemas de vertimento ou elementos dispersores com finalidade ambiental " $\sum Q_{san}$ " pela massa específica da água " ρ ", pelo desnível existente no local " H ", pela aceleração da gravidade " g " e pelo rendimento global da instalação " η ", conforme apresentado na Equação 4 a seguir.

$$Parrec. = Venerg * \sum Q_{san} * \rho * g * H * \eta * 24h \text{ [R\$]} \quad (4)$$

4.0 ESTUDO DE CASO

O objetivo deste estudo é analisar as vazões operacionais de despacho nas UHEs Retiro Baixo (Tabela 3) e Serra do Facão (Tabela 4), identificando as respectivas vazões ecológicas. Para tanto, foi utilizada a série histórica fornecida pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), por meio do Sistema de Acompanhamento dos Reservatórios (SAR).

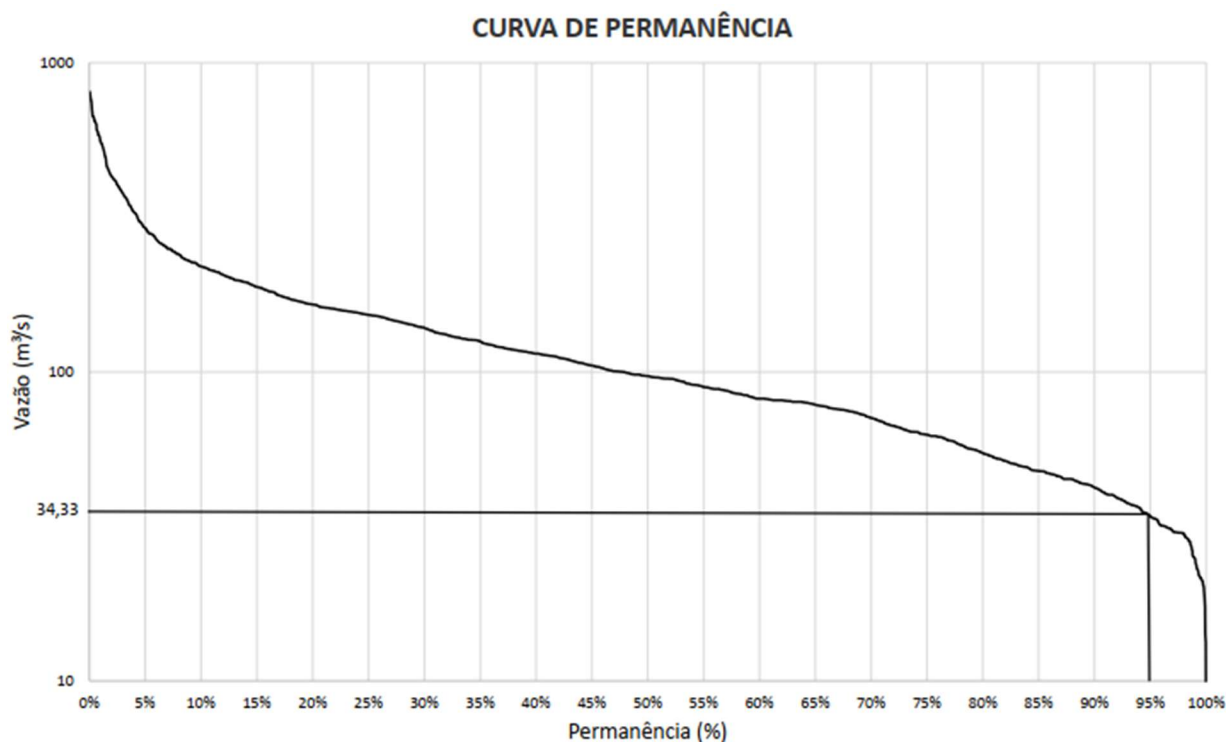
Para a Usina de Retiro Baixo, obteve-se os dados de vazões médias mínimas móveis apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Vazões médias mínimas móveis de 7 dias com tempo de recorrência de 10 anos

Ano	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Vazões (m³/s)	26,7	24,5	26,3	23,5	5,7	11	6,7	4,1	21	18,5	26,6

Aplicando a Equação 1, tem-se o resultado de 5,89 m³/s de vazão ecológica (Q7,10). Considerando a legislação vigente, aplicável ao Estado de Minas Gerais, 70% da referida vazão deve ser mantida no TVR, o que corresponde a 4,12 m³/s. Ao se analisar os dados disponibilizados pelo SAR, observa-se que, para vazões inferiores a 7 m³/s não há turbinamento, sendo essa vazão dispensada pelo sistema extravasor da UHE e para a Usina Serra do Facão, foi obtida a curva de permanência de vazões, apresentada na Figura 2, onde se obteve o valor de 34,33 m³/s correspondente a Q95. A legislação vigente para o Estado de Goiás, determina uma vazão residual no TVR de 70% da Q95 o que corresponde a 24,03 m³/s.

Figura 2: Curva de permanência Usina de Serra do Facão



A UHE Retiro Baixo, opera comercialmente desde março de 2010. Sendo equipada com duas unidades geradoras do tipo Kaplan vertical, com potência nominal unitária de 42,35 MW e engolimento unitário de 128,18 m³/s. A vazão mínima turbinável será considerada como 15% do valor de engolimento nominal, ou seja, 19,20 m³/s. O histórico de geração/despacho pelos vertedores, disponibilizados pelo SAR (acesso em 24/09/2020), indica que a mínima vazão despachada (vazão ecológica) foi de 7 m³/s, superior a vazão ecológica exigida que é de 4,12 m³/s. Apesar da vazão ecológica ser de 4,12 m³/s, Retiro Baixo manteve em alguns períodos vazões até sete vezes superior a este valor, mesmo em períodos de baixa afluência de vazões ao reservatório. Isso resultou que durante 441 dias ao longo dos 10 anos de observação (24/09/2010 a 24/09/2020), houve vertimentos na instalação. Adota-se a hipótese de que a operação da UHE Retiro Baixo irá despachar pelos grupos geradores apenas vazões superiores a 19,2 m³/s sendo

que as vazões inferiores a essa, e superiores a vazão ecológica, serão armazenadas no reservatório. O balanço entre as vazões turbinadas e vertidas para a finalidade de manutenção da vazão sanitária está apresentado na Tabela 4, e indica que a perda de geração no histórico disponível é de apenas 2,75% da energia gerada. Ao se aplicar um preço médio da energia hidráulica médio do último ano (06-2020 a 06-2021) como sendo de R\$ 183,82/MWh (7) obtém-se uma perda de valor de energia comercializada.

Tabela 3: Dados técnicos UHE Retiro Baixo

Rio	Paraopeba		
Bacia	São Francisco		
Localização do eixo	Latitude: 18° 53" 40' S Longitude: 44° 46" 54' W		
Estado/ municípios	Minas Gerais/Curvelo, Pompeu e Felixlândia		
Tipo do reservatório	Fio d'água		
Vazão outorgada	Sem especificações do órgão regulador		
Posto	19118 – Barramento central do reservatório		
Período de observação	24/09/2010 a 24/09/2020		
CARACTERÍSTICAS		RESERVATÓRIO	
Turbina	Kaplan	N.A. Normal	616,0m
Unidades Geradoras / η médio	2 / 78%	N.A. Maximorum	617,0m
Potência Nominal	41MW	N.A. Minimorum	614,0m
Energia Assegurada	38,5MW	Área Inundada	22,58km ²
Vazão Nominal Unitária	128,18m ³ /s	Volume Útil	241.590 m ³
Vazão Máxima de Projeto (10.000 nos)	3.955,00m ³ /s	Vida Útil	47,4 anos
Vazão Sanitária	Calculada - 4,12 m ³ /s	Comprimento	37.600 m
Vazão Mínima Média Mensal	23,20 m ³ /s	Profundidade média	22m
BARRAGEM		VERTEDOURO	
Tipo	Terra/Enrocamento	Tipo	Superfície Creager
Altura	45m	Capacidade	3.955,00m ³ /s
Extensão Total da Crista	1.351,67m	N° Vãos	3
Elevação da Crista	619,0m	Tipo	Seguimento

Fonte: Adaptado de FURNAS, 2021.

Tabela 4: Acompanhamentos de geração UHE Retiro Baixo

Somatória das vazões turbinadas em 10 anos	205.806,81
Somatória das vazões vertidas para manutenção da Qsanitária em 10 anos - m ³ /s / dia (24 hs)	5.665,00
Perda percentual de geração	2,75%
Perda de arrecadação com despacho da vazão sanitária em R\$ (10 anos)	8.414.342,86
Perda de arrecadação média com despacho da vazão sanitária R\$/ano	841.434,29

A UHE Serra do Facão, está em operação comercial desde outubro de 2010. Sendo equipada com duas unidades geradoras do tipo Francis vertical de potência nominal unitária de 106,29 MW, e engolimento nominal unitário de 155,50 m³/s. A vazão mínima turbinável nesses equipamentos será considerada como de 15% do engolimento nominal, ou seja, 23,33 m³/s. O histórico de geração/ despacho pelos vertedores, disponibilizados pelo SAR (acesso em 24/09/2020), indica que a mínima vazão despachada (vazão ecológica) foi de 6 m³/s inferior a vazão ecológica exigida que é de 24,03 m³/s. Assim a UHE, ao longo dos 10 anos de observação (24/09/2010 a 24/09/2020), despachou durante 94 dias vazões ecológicas pelo sistema de vertimento. Adota-se a hipótese de que a operação da UHE irá despachar pelos grupos geradores apenas vazões superiores a 24,03 m³/s sendo que as vazões inferiores a essa e superiores a vazão ecológica serão armazenadas no reservatório. O balanço entre as vazões turbinadas e vertidas para a finalidade de manutenção da vazão sanitária está apresentado na Tabela 6, e indica que a perda de geração no histórico disponível é de apenas 0,25% da energia gerada.

Tabela 5: Dados UHE Serra do Facão

Rio	São Marcos
Bacia	Paraná
Localização do eixo	Latitude: 18° 04" 00' S Longitude: 47° 40" 00' W

Estado/ municípios		Goiás / Catalão e Davinópolis	
Tipo do reservatório		Regularização	
Vazão outorgada		Sem especificações do órgão regulador	
Posto		19016 – Barramento central do reservatório	
Período de observação		24/09/2010 a 24/09/2020	
CARACTERÍSTICAS		RESERVATÓRIO	
Turbina	Francis	N.A. Normal	756,0 m
Unidades Geradoras / η médio	2 / 78%	N.A Maximorum	756,98 m
Continuação...			
Potência Nominal	106,29 MW	N.A. Minimorum	680,6 m
Energia Assegurada	178,80 MW	Área Inundada	218,84 km ²
Vazão Nominal Unitária	155,49 m ³ /s	Volume Útil	5.199 hm ³
Vazão Máxima de Projeto (10.000 nos)	2.684 m ³ /s	Vida Útil	100 anos
Vazão Sanitária	24,03m ³ /s	Comprimento	60 km
Vazão Mínima Média Mensal	37,75m ³ /s	Profundidade média	24m
BARRAGEM		VERTEDOIRO	
Tipo	Concreto / Argila	Tipo	Superfície Creager
Altura	81 m	Capacidade	2684 m ³ /s
Extensão Total da Crista	660,90 m	N° Vãos	2
Elevação da Crista	759,0m	Tipo	Seguimento

Fonte: Adaptado de FURNAS, 2021.

Tabela 6: Acompanhamentos de geração UHE Serra do Facão

Somatória das vazões turbinadas em 10 anos - m3/s / dia	289.532,08
Somatória das vazões vertidas para manutenção da Qsanitária em 10 anos - m3/s / dia (24 hs)	714,54
Perda percentual de geração	0,25%
Perda de arrecadação com despacho da vazão sanitária em R\$ (10 anos)	1.953.813,84
Perda de arrecadação média com despacho da vazão sanitária R\$/ano	195.381,38

5.0 CONCLUSÃO

No Brasil, a exigência legal dos valores de manutenção da vazão ecológica, variam de acordo com os Estados. A Legislação de alguns Estados prevê metodologias que implicam em baixas vazões residuais despachadas ao longo dos rios (por exemplo, 70% da Q7,10 - MG). Em outros Estados (p.e. Goiás) essa vazão deve ser de 70% da Q95. Em ambos os casos analisados, a redução percentual da vazão turbinada se apresentou pequena, variando de 0,25% para a UHE Serra do Facão até 2,75% para a UHE Retiro Baixo. Observa-se que no caso da UHE Serra do Facão, a vazão residual exigida é proporcionalmente maior do que a da UHE Retiro Baixo. Entretanto, as características de afluência de vazão e a existência do reservatório de acumulação permitem uma maior flexibilidade na manutenção da vazão residual, minimizando as perdas de geração.

Os dados apresentados e os resultados obtidos mostram que o impacto da manutenção da vazão residual é pequeno e representa menos de R\$ 16.280,00 por mês para Serra do Facão e R\$ 70.200,00 para Retiro Baixo. Outro fato a ser considerado é que UHEs com maiores reservatórios se apresentam com melhores condições de manter as vazões residuais com baixa redução da energia gerada ao longo do tempo.

Ao final, conclui-se preliminarmente que a redução da geração pode ser considerada pequena e que possíveis ajustes no despacho de carga podem minimizar ainda mais essa perda. Sugere-se que sejam desenvolvidos novos estudos envolvendo um maior número de centrais e que se leve em consideração a possibilidade de incluir regras no despacho de carga contemplando as exigências ambientais de forma a minimizar ainda mais essa perda.

No geral, a princípio, a utilização de vazão ecológica como reaproveitamento de energia elétrica nas usinas em enfoque, demonstra um percentual muito pequeno, inviabilizando um possível investimento para geração de energia auxiliar, porém, em estudos em larga escala, pode-se trazer um potencial parâmetro para futuros empreendimentos que relacionam metodologias de cogeração de energia, no qual pode ser uma alternativa plausível para adoção na geração de energia.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) ANA. (s.d.). Agência Nacional de Águas. "SAR - Sistema de Acompanhamento de Reservatórios". Disponível em <<https://www.ana.gov.br/sar0/MedicaoSin>>. Acesso em 24/09/2020.

- (2) ANA. (2011). Agência Nacional de Águas. "Outorga de direito de uso de recursos hídricos", VI, 50. Brasília, DF, Brasil: ANA. Fonte: arquivos.ana.gov.br
- (3) ANA. (2020). Agência Nacional de Águas. "Outorga e Fiscalização". Disponível em <<https://www.ana.gov.br/gestao-da-agua/outorga-e-fiscalizacao>>
- (4) BENNETI, D., LANNA, E., & COBALCHINI, S. (2003). "Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios". Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 149-160.
- (5) BRASIL. (2000). "Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos". Brasília, Distrito Federal, Brasil: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas.
- (6) CARDINOT, F., SAMPAIO, L., REZENDE, P., NETTO, C. (2007) "O Aproveitamento hidrelétrico de Belo Monte". XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.
- (7) CCEE, (2021). "Preço de Liquidação das Diferenças – PLD". Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Acesso em 25 de maio de 2021: < https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/oque-fazemos/como_ccee_atua/precos/preco_horario>.
- (8) COLLISCHONN, W., AGRA, S., FREITAS, G., PRIANTE, G. (2006). "Da vazão ecológica ao hidrograma ecológico". Rio Grande do Sul, Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- (9) DOLAND, J. J. (1954). "Hydro Power Engineering". The Ronald Press Company, New York, 1954.
- (10) EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2020 ano base 2019. . Brasília - DF: [s.n.], 2020.
- (11) FURNAS. (2014). "Sistema Furnas" - ELETROBRAS. Usinas Hidrelétricas. ELETROBRAS.
- (12) FURNAS. (s.d.). "Usina de Serra do Facão". Sistema Furnas - ELETROBRAS. .Acesso em 25 de maio de 2021, disponível em <<https://www.furnas.com.br/serradofacao/?culture=pt>>.
- (13) FURNAS. (s.d.). "Usina de Retiro Baixo". Sistema Furnas - ELETROBRAS. Acesso em 25 de maio de 2021, disponível em <<https://www.furnas.com.br/subsecao/131/usina-retiro-baixo---82-mw?culture=pt>>.
- (14) GASQUES, F. C., NEVES, L. G., SANTOS, D. J., MAUAD, F. F., & OKAWA P, M. C. (2018). "Regionalização de Vazões Mínimas – Breve Revisão Teórica". Revista Eletrônica de Engenharia Civil.
- (15) HICKS, R. et al. Large Scale, "Nonlinear Optimization of Energy Capability for the Pacific Northwest Hydroelectric System". IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, v. PAS-93, n. 5, p. 1604–1612, set. 1974. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4075526/>>.
- (16) LONGHI, E., & FORMIGA, K. (2011). "Metodologias de determinação de vazão ecológica em rios". Revista Brasileira de Ciências Ambientais, 33-48.
- (17) MENDES, L. (2007). "Análise dos critérios de outorga de direitos de usos consuntivos dos recursos hídricos baseados em vazões mínimas e de vazões de permanências". São Paulo, São Paulo, Brasil: Universidade de São Paulo.
- (18) PINTO, V., RIBEIRO, C., & SILVA, D. (2016). "Vazão ecológica e o arcabouço legal brasileiro". v, 9, n. 1, 091-109. Revista Brasileira de Geografia Física.
- (19) POFF, N., ALLAN, J., BAIN, M., KARR, J. R., PRESTEGAARD, K. L., RICHTER, B., STROMBERG, J. (1997). "The Natural Flow Regime". Bioscience 47, 769-784.
- (20) PORTO, A., A. C. (2017). "Avaliação da eficiência de tecnologias de proteção da ictiofauna em empreendimentos hidrelétricos". Belo Horizonte. Minas Gerais. Brasil: Universidade Federal de Minas Gerais.
- (21) RAMAGE, J., & EVERETT, B. (1996). "Hydroelectricity: Renewable e energy power for a sustainable future". Oxford: Oxford University Press.
- (22) RICHTER, B., BAUMGARTNER, J., POWELL, J., & BRAUN, D. (1996). "Method for Assessing Hydrologic Alteration within Ecosystems". Conservation Biology 10, 1163-1174.

(23) RICHTER, B., MATHEWS, R., HARRISON, D., & WIGINGTON, R. (2003). "Ecologically Sustainable Water Management: Managing River Flows for Ecological Integrity". *Ecological Applications* 13, 206-224.

(24) SARMENTO, R. (2007). "Estado da arte da vazão ecológica no Brasil e no mundo". 38p. UNESCO/ANA/CBHSF.

(25) SOUZA, C., JÚNIOR, C., & GIACOMONI, M. (2004). VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. "Vazão ecológica constante vs. vazão ecológica variável". Maceió, AL, Brasil: UFAL.

DADOS BIOGRÁFICOS



Formação: Graduação em Engenharia Mecânica (UNA)
 Mestrando em Engenharia Mecânica com ênfase em Energia e Sustentabilidade (UFMG) Experiência: *Projetos em energia renovável
 *Controle de manutenção em equipamentos de mineração
 *Auditoria de qualidade e contas Cursos complementares: Qualidade; PMP e controle de manutenção; Energia renovável;

(2) PEDRO PAULO NUNES COSTA
 02/2019 02/2021 UFMG Universidade Federal de Minas Gerais Belo Horizonte, Brasil. Mestrado em Energia e Sustentabilidade; Bolsista na investigação da viabilidade econômica e energética da utilização de centrais fotovoltaicas consorciadas a Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGHs); de forma que estes possam ter seu fator de capacidade elevado. 03/2010 05/2016 UFVJM Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri Diamantina, Brasil. Graduação em Engenharia Mecânica (5 anos); 01/2014 – 06/2014 UINIEV-UBS (Université de Bretagne du Sud) – Lorient, France Intercâmbio em Mestrado em Engenharia Mecânica e Materiais; 02/2007 – 12/2009 IFMG (Instituto Federal de Minas Gerais – São João Evangelista, Brasil. Técnico em Agropecuária (3 anos)

(3) CARLOS BARREIRA MARTINEZ
 Engenheiro Civil (1984), mestre (UNIFEI / 1988) e doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos (UNICAMP - 1994). Atuou como professor na Escola de Engenharia da UFMG de 1994 a 2017. Fundador e Coordenador do CPH/UFMG até 2017. Professor Titular IEM / UNIFEI e do PPGMEC / UFMG. Foi bolsista do Programa Pesquisador Mineiro (PPM) 2009 / 2017. Bolsista de Produtividade CNPq de 2012 até a atualidade (1B). Tem experiência na área de Fontes Renováveis de Energia e Planejamento Energético. Atua em PCHs, mecanismo de transposição de peixes, mexilhão dourado, sistema fluído mecânicos, modelagem física e sistemas de repulsão de peixes em turbinas.