



ANÁLISE ECONÔMICA DA OPERAÇÃO RESTRITA DA USINA HENRY BORDEN

ECONOMIC ANALYSIS OF THE RESTRICTED OPERATION OF THE HENRY BORDEN

HIDROPOWER PLANT

Autores: Guilherme Geremias Prata¹, Fabiana Oliveira Ferreira²

¹Pós-graduação em Energia, Universidade Federal do ABC, Santo André, São Paulo/Brasil – Guilherme.prata@ufabc.edu.br; São Paulo/Brasil ²f.ferreira07@unifesp.br

RESUMO

O Complexo Henry Borden, localizado em Cubatão (SP), é composto por múltiplas turbinas distribuídas entre uma usina externa e outra subterrânea, aproveitando um significativo desnível hidráulico e uma vazão de projeto para a geração de energia elétrica. No entanto, as normas ambientais atualmente vigentes restringem o bombeamento das águas de um dos rios para o reservatório, permitindo-o apenas em situações de controle de cheias. Essa limitação resulta em uma expressiva redução da capacidade de geração da usina. Este estudo tem como objetivo quantificar as perdas econômicas acumuladas entre os anos de 2004 e 2024, além de projetar seus impactos futuros. Para isso, considera-se o valor de mercado da energia não gerada e os efeitos do regime de juros compostos sobre as receitas não realizadas devido à operação parcial da usina. A análise revela que, entre 1992 e 2024, as perdas econômicas decorrentes das restrições ao bombeamento para o reservatório Billings somam, em média, R\$ 7,5 bilhões. As projeções indicam que esse prejuízo poderá se estender até 2034, caso não haja mudanças no cenário regulatório. Esses resultados evidenciam o elevado custo financeiro da subutilização da Usina Henry Borden e reforçam a urgência de revisão das políticas ambientais que limitam sua operação. Diante desse contexto, o artigo propõe uma abordagem econômica que demonstra a viabilidade de utilizar os recursos arrecadados com a geração de energia elétrica para garantir a disponibilidade do insumo hídrico necessário à operação plena da usina. Ressalta-se, por fim, que a ampliação da disponibilidade hídrica não apenas aumenta a oferta de energia limpa e renovável à sociedade, como também gera benefícios econômicos ao mitigar a necessidade de investimentos em novas fontes de geração para atender à crescente demanda.

Palavras-chave: Henry Borden; Perdas econômicas; Restrições operacionais; Geração hidrelétrica.

ABSTRACT

The Henry Borden Complex, located in Cubatão (SP), is composed of multiple turbines distributed between an external plant and an underground plant, taking advantage of a significant hydraulic unevenness and a design flow for the generation of electricity. However, the environmental regulations currently in force restrict the pumping of water from one of the rivers to the reservoir, allowing it only in flood control situations. This limitation results in a significant reduction in the plant's generation capacity. This study aims to quantify the economic losses accumulated between the years 2004 and 2024, in addition to projecting their future impacts. To do so, the market value of the ungenerated energy and the effects of the compound interest regime on unrealized revenues due to the partial operation of the plant are considered. The analysis reveals that, between 1992 and 2024, the economic losses resulting from restrictions on pumping to the Billings reservoir total, on average, R\$ 7.5 billion. Projections indicate that this loss could extend until 2034, if there are no changes in the regulatory scenario. These results show the high



financial cost of the underutilization of the Henry Borden Plant and reinforce the urgency of reviewing the environmental policies that limit its operation. In this context, the article proposes an economic approach that demonstrates the feasibility of using the resources collected from the generation of electricity to ensure the availability of the water input necessary for the full operation of the plant. Finally, it should be noted that the expansion of water availability not only increases the supply of clean and renewable energy to society but also generates economic benefits by mitigating the need for investments in new generation sources to meet the growing demand.

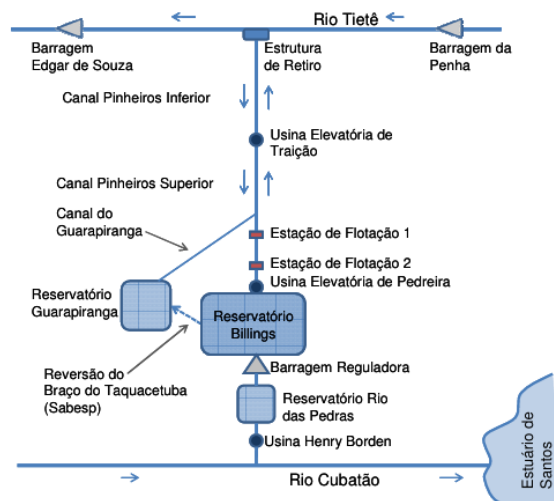
Keywords: Henry Borden; Economic losses; Operational constraints; Hydroelectric generation.

1 INTRODUÇÃO

A Usina Hidrelétrica Henry Borden, localizada no sopé da Serra do Mar, em Cubatão (SP), é composta por duas unidades uma externa e outra subterrânea e possui queda d'água de aproximadamente 720 m. Seu conjunto conta com 14 grupos geradores do tipo Pelton, totalizando a capacidade instalada de 889 MW, para uma vazão de 157,2 m³/s.

Inaugurada em 1926, no contexto do “Projeto da Serra” idealizado pela Light, sob liderança de Asa W. K. Billings, a usina desempenhou papel central no desenvolvimento energético de São Paulo, fornecendo eletricidade ao polo industrial da Baixada Santista e à Região Metropolitana. No auge de sua operação, foi considerada a maior usina de alta queda do mundo e, ainda hoje, mantém importância estratégica, operando no atendimento a demandas de pico do Sistema Interligado Nacional (SIN) [1]. Portanto, para se obter uma vazão (157,2 m³/s) dessa magnitude, o reservatório Billings depende da reversão de parte da vazão dos rios Tietê e Pinheiros já que a bacia que contribui diretamente para o reservatório produz uma vazão muito menor figura 1.

Figura 1 – Diagrama Unifilar do Sistema Pinheiros-Billings



Fonte: [2]



Desde o final da década de 1980 e ao longo dos anos 1990, a operação plena da Usina Hidrelétrica Henry Borden passou a ser limitada por normas ambientais devido a baixa qualidade da água neste complexo. A principal razão foi a poluição das águas dos rios Tiete e Pinheiros, de onde é bombeada água para o reservatório Billings. Atualmente, o bombeamento é permitido apenas em situações emergenciais, como no controle de cheias, e não para geração rotineira de energia elétrica. Essa medida busca proteger a Represa Billings utilizada no abastecimento público do Grande ABC e da Região Metropolitana de São Paulo, impedindo a entrada de efluentes poluídos. Na prática, a restrição reduziu em cerca de 75% a geração da Henry Borden [3].

Partindo do pressuposto de que todas as pessoas necessitam de água e energia elétrica para atender às demandas do cotidiano, muitas vezes determinadas pelo estilo de vida da comunidade, observa-se uma forte dependência desses recursos. A interrupção no fornecimento de energia ou de água compromete de forma significativa a qualidade de vida da população. Nesse contexto, empresas e governos, ao tratarem de assuntos relacionados a esses serviços, exercem influência direta e incisiva sobre o bem-estar coletivo. Verificou-se, por exemplo, que a política de operação adotada para mitigar cheias comprometeu de maneira substancial o aproveitamento energético, gerando impactos não apenas na segurança hídrica, mas também na receita potencial da usina. Diante disso, torna-se essencial avaliar quantitativamente tais perdas, a fim de subsidiar decisões estratégicas em políticas energéticas e orientar futuros investimentos.

2 METODOLOGIA

No presente trabalho são apresentadas as informações relacionadas a Usina Henry Borden desde a potência instalada, previsão de energia gerada com aproximadamente 25% da potência instalada e as perdas financeiras impactadas para limitação da geração de energia. Para isso fez-se um recorte de 2004 a 2024 levando em consideração os preços de energia, a taxa Selic e juros nacional ao decorrer dos anos em estudos.

Para efeitos de estudo foram consultadas as páginas [4] [5], onde podemos coletar as informações relacionadas ao local de estudo, nele conseguiu-se observar que a Usina tem uma capacidade instalada de 889 MW com uma vazão de 157,2 m³/s. Portanto, considerando as condições desfavoráveis dos rios doadores, a quantidade desta vazão de transferência foi reduzida em aproximadamente 75%. Com base nesse valor, a potência nominal da Usina e o apoio da equação 1, foram calculados a energia gerada considerando a vazão total, em seguida, calculou-se a energia gerada com os 25% desta vazão para podermos observar os impactos causados na geração de energia e consequentemente no ganho econômico.

$$Energia = p \times p_c \times t \quad (1)$$

Onde:

p : potência nominal do projeto;

p_c : Fator de capacidade, adotado 50% para o efeito dos cálculos;

t : Tempo (1 ano).



INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENERGY

Optimizing renewable energy: advanced strategies for enhanced efficiency and sustainability

Após a observação da diferença de energia gerada e a que seria gerada, quando considerado a vazão completa, converteu-se essa energia em dinheiro conforme a equação 2.

$$Ganho_{preço} = Energia \times Preço \quad (1)$$

Em seguida determinou-se a taxa de juros real pela relação entre a taxa nominal (Selic) e a inflação (IPCA), de em cima desses valores acordo com a equação 3.

$$R_{real} = \frac{1 + I_{nominal}}{1 + Inflação} - 1 \quad (3)$$

Onde:

$I_{nominal}$: é a Selic nominal;

$Inflação$: IPCA.

Em seguida foram criados dois fatores acumulados para cada ano (idx), conforme apresentados nas equações 4 e 5.

$$fator_{infla} = (1 + IPCA) \quad (4)$$

$$fator_{juros} = (1 + Juros_{real}) \quad (5)$$

Com base nos fatores acumulados de inflação e juros, foram calculados os valores presentes das rendas geradas e nominal. Para Cada Ano t , conforme as equações 6 e 7.

$$VRenda_{Gerada}(t) = Energia_{perda} \times preço(t) \prod_{k=t}^n (fator_{infla_k} \times fator_{juros}) \quad (6)$$

$$VRenda_{nominal}(t) = Energia_{nominal} \times preço(t) \prod_{k=t}^n (fator_{infla_k} \times fator_{juros}) \quad (7)$$

Onde o produto foi tomado de t até o último período disponível. Após os cálculos, os resultados foram representados graficamente em duas curvas conforme apresentado no item a seguir. Os dados referentes as taxas de Selic e IPCA foram consultadas em órgãos públicos [6] e [7].



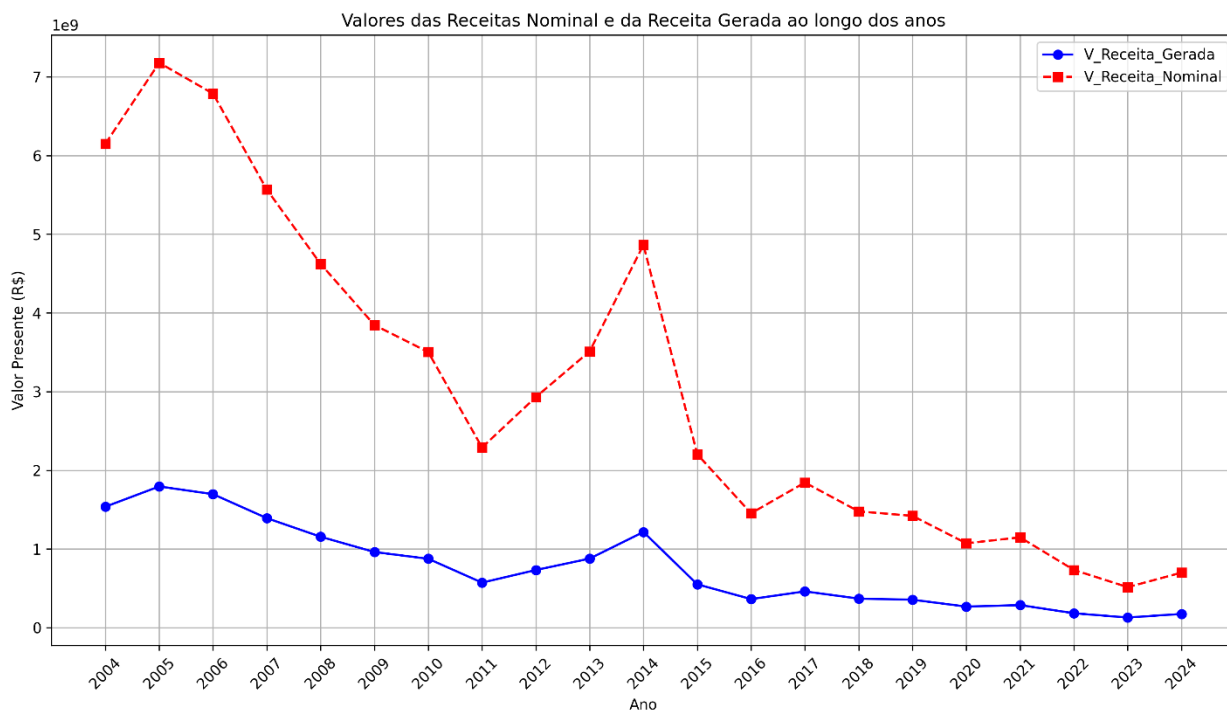
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme apresentado na Equação 1, foram estimados os valores de geração de energia elétrica para dois cenários distintos: plena carga (100% da vazão operacional) e 25% da vazão total. Os resultados apontaram uma produção de 3.893.820 MWh para o cenário de plena carga e de 973.455 MWh para o cenário restrito, o que representa uma diferença de aproximadamente 2.920.365 MWh por ano. Tal discrepância revela a magnitude da perda de potencial energético decorrente da limitação da vazão disponível para a usina hidrelétrica.

Ao se considerar ainda os preços da energia e o crescimento anual das taxas de juros e da taxa Selic, observou-se que essa diferença se intensifica ao longo do período analisado, refletindo-se em valores econômicos cada vez mais expressivos. Esse resultado evidencia que a redução operacional não apenas compromete a eficiência da usina em termos de geração energética, mas também impacta de forma significativa sua contribuição econômica no setor elétrico.

Com base na metodologia aplicada, verificou-se que as restrições impostas à operação da Usina Henry Borden ocasionaram efeitos diretos sobre a geração de energia, traduzindo-se em perdas financeiras relevantes, conforme demonstrado pelo valor presente das receitas apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Apresentação das Receitas nominal e geradas ao longo dos anos de 2004 a 2024



Fonte: Elaborado pelo Autor



INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENERGY

Optimizing renewable energy: advanced strategies for enhanced efficiency and sustainability

A figura 2 demonstra os valores das receitas nominal (linha vermelha) e receitas geradas (linha azul) ao longo do período de 2004 a 2024. De modo geral, observou-se uma tendência decrescente em ambas as variáveis, ainda que existam oscilações marcantes em determinados anos. Isso indica que, com o passar do tempo, tanto os benefícios econômicos associados à geração de energia elétrica quanto os custos relativos às perdas foram se reduzindo quando trazidos ao valor presente.

A receita nominal, como esperado, apresenta valores significativamente maiores que as valores de receita gerada, uma vez que o volume de energia calculado supera em grande escala o montante não gerado. No entanto, a diferença entre as duas curvas não se mantém constante: em alguns períodos, especialmente após 2010, a distância entre a geração e as perdas diminui de forma relevante, sugerindo uma redução da eficiência ou da utilização plena do sistema.

O comportamento temporal revela três momentos distintos. No primeiro período, de 2004 a 2006, há um crescimento da receita nominal, culminando em um pico no valor nominal em 2005. Em seguida, entre 2007 e 2011, ocorre uma queda acentuada tanto na receita nominal quanto na receita gerada. Posteriormente, entre 2012 e 2014, a nominal apresenta um repique de recuperação, mas esse movimento não se sustenta, e a partir de 2015 observa-se uma trajetória de queda contínua. Já nos anos mais recentes, de 2017 em diante, os valores se estabilizam em patamares mais baixos, indicando menor relevância econômica do sistema.

Essa redução progressiva no valor presente da geração nominal pode refletir diferentes fatores, como a diminuição da operação da usina, mudanças regulatórias, variações na disponibilidade hídrica ou ainda a introdução de fontes alternativas no sistema elétrico. Do ponto de vista econômico, o resultado mostra que a quantidade de geração se tornou menos lucrativo ao longo do tempo, enquanto os valores arrecadados apesar de manterem magnitude muito inferior, acompanham a mesma tendência. Para uma melhor percepção, a tabela 1 mostra os valores de média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV) para três variáveis: preço, valor presente das perdas e valor presente nominal.

Tabela 1 – Descrição estatística dos dados simulados

	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (CV %)
Preço (\$R)	227.45	73.74	32.42
Receita Gerada (10^9)	7.5	5.2	69.43
Receita Nominal (10^9)	3.0	2.1	69.43

Fonte: Elaborado pelo Autor

Com base na tabela 1, podemos observar que os coeficientes de variação evidenciaram comportamentos diferenciados entre as variáveis. O preço apresenta variabilidade moderada em relação à média, com coeficiente em torno de 30%. Tal valor, embora represente oscilações significativas ao longo do período estudado, é considerado aceitável em séries econômicas, uma vez que indica flutuações relevantes, porém ainda dentro de uma faixa relativamente previsível e que não compromete a estabilidade global do indicador.

Em contraste, a receita gerada demonstra elevada dispersão em torno da média, alcançando aproximadamente 70%. Esse resultado evidencia uma forte instabilidade na receita gerada, marcada por anos em que o valor presente das receitas geradas fora substancialmente superior em comparação a outros períodos. Essa elevada variabilidade pode estar associada a



fatores como oscilações hidrológicas, alterações na operação do sistema ou mudanças nas práticas de gestão energética, revelando maior sensibilidade dessa variável às condições externas e operacionais.

A geração nominal apresenta comportamento análogo, com coeficiente de variação igualmente elevado e semelhante ao das receitas gerada. Essa proximidade sugere uma relação direta entre ambas as variáveis, possivelmente decorrente da influência conjunta de fatores estruturais e ambientais. Desse modo, tanto a geração quanto as perdas refletem a mesma vulnerabilidade às flutuações do sistema, ressaltando a necessidade de considerar tais elementos nos processos de planejamento e tomada de decisão em contextos energéticos.

4 CONCLUSÕES

A análise da evolução do valor presente da geração nominal e das perdas no período de 2004 a 2024 evidencia uma tendência de redução progressiva da relevância econômica do sistema, com queda acentuada nos valores de geração e consequente diminuição das perdas associadas. Embora a magnitude das perdas seja muito inferior à da geração, ambas acompanham a mesma trajetória decrescente, o que sugere que o sistema vem sendo subutilizado ao longo do tempo.

Nos últimos anos, observa-se uma estabilização em patamares baixos, o que pode indicar não apenas a redução de sua contribuição energética, mas também mudanças estruturais no setor elétrico, como a diversificação da matriz, restrições operacionais e maior peso de fontes alternativas. Nesse sentido, os resultados apontam para a necessidade de reavaliar o papel desse sistema no planejamento energético nacional, seja para buscar formas de otimizar seu uso, seja para redefinir sua função dentro do conjunto de ativos de geração disponíveis.

Em síntese, os resultados demonstram que tanto a Receita nominal quanto as receitas geradas sofreram forte declínio ao longo dos últimos 20 anos em estudo, com um processo de estabilização recente em níveis baixos. Isso sugere uma possível subutilização do sistema e uma perda de importância econômica, elementos que merecem atenção em estudos de planejamento energético e de avaliação de viabilidade de longo prazo.

A análise estatística evidencia comportamentos distintos entre os preços e os valores presentes da receita nominal e da receita gerada. Enquanto o preço apresenta média estável e coeficiente de variação moderado (32,42%), indicando flutuações dentro de uma faixa previsível, tanto o valor presente das receitas apresentaram coeficientes de variação elevados (69,43%), revelando forte instabilidade ao longo do período analisado. Essa discrepância sugere que, embora os preços de referência mantenham certa regularidade, a operação do sistema de geração apresenta elevada variabilidade, refletindo possíveis oscilações hidrológicas, mudanças regulatórias ou restrições operacionais. Em termos de planejamento energético, os resultados apontam para uma baixa previsibilidade econômica da usina, o que compromete sua confiabilidade como ativo de longo prazo e reforça a necessidade de reavaliação de seu papel no sistema elétrico nacional.

Finalmente, considera-se que a despoluição dos rios Tietê e Pinheiros representa uma oportunidade para a plena utilização da capacidade produtiva da Usina Henry Borden. Nesse contexto, seria pertinente a realização de estudos que avaliem a viabilidade de destinar parte dos benefícios econômicos advindos do aumento da geração de energia da usina ao custeio das



Fortaleza, Ceará
Centro de Eventos do Ceará

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENERGY

Optimizing renewable energy: advanced strategies for enhanced efficiency and sustainability

ações de despoluição das águas. Tal medida se justifica pelo fato de o complexo de Henry Borden estar situado em um ponto estratégico, não apenas para o município e o estado de São Paulo, mas também para o sistema energético nacional, reforçando sua relevância no contexto brasileiro.

REFERÊNCIAS

- [1] ASANO JR, Roberto, et al. **Integration of Water Transfers in Hydropower Operation Planning**. *Energies*, 2024, 17.23: 5872.
- [2] MARTINS, Luiz. **Análise da viabilidade técnico-econômico-ambiental da operação do sistema elevatório Tietê-Billings no suprimento de água e eletricidade na Região Metropolitana de São Paulo**. 2010. PhD Thesis. Universidade de São Paulo.
- [3] PENTEADO, Claudio Luis de Camargo; ALMEIDA, Daniel Ladeira; BENASSI, Roseli Frederigi. **Conflitos hídricos na gestão dos reservatórios Billings e Barra Bonita**. *Estudos avançados*, 2017, 31: 299-322.
- [4] Secretária de Meio Ambiente e Proteção Animal. **Atlas Socioambiental de São Bernardo do Campo**. Disponível em: Represa Billings: nossa água, nossa vida - São Bernardo . Acessado em: 12.08.2025.
- [5] Empresa Metropolitana de Água e Energia (EMAE). **USINA HENRY BORDEN**. Disponível em: USINA HENRY BORDEN | EMAE. Acessado em: 10.08.2025.
- [6] Banco Central do Brasil, Boletim, Seção mercado financeiro e de capitais (Bacen/Boletim/M. Finan.). **Taxa de juros nominal - Overnight / Selic (PAN12_TJOVER12)**. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br>. Acessado em: 15.08.2025
- [7] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Sistema Nacional de Índices de Preços ao Consumidor (IBGE/SNIPC). **Índice nacional de preços ao consumidor amplo (IPCA): Taxa de variação (PRECOS_IPCAG)**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acessado em 15.08.2025.