



VIABILIDADE ECONÔMICA DA MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO DE UMA USINA HIDRELÉTRICA

Leonardo Henrique Pereira

Graduado em Engenharia Elétrica

Universidade de São Paulo (USP)

e-mail: leo_2x@yahoo.com.br

Samia Alvarenga

Mestra em Economia (UFS)

Universidade de Federal de Minas Gerais (UFMG)

e-mail: samia_alvarenga@hotmail.com

Mayara de Carvalho Puhle

Graduada em Relações Internacionais

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

e-mail: puhle.mayara@gmail.com

RESUMO: As usinas hidrelétricas possuem um papel relevante na matriz energética brasileira, ao abarcarem 65,2% do total da eletricidade gerada no Estado. A partir disso, torna-se relevante avaliar, economicamente, a implementação de um novo sistema de controle e automação de uma usina hidrelétrica situada na região centro-oeste do Brasil, sendo esse o objetivo principal deste trabalho. Para tanto, metodologicamente realizou-se um estudo de caso amparado na metodologia de análise de investimentos e de gerenciamento de projetos, tendo como base as premissas divulgadas pelo edital público da “Eletrobras Furna”. Assim, após a coleta e a avaliação dos dados obtidos e seguindo a metodologia exposta anteriormente, foi atestado a viabilidade da implementação do projeto de modernização da usina hidrelétrica em foco. Ao fim, este trabalho também fornece um embasamento positivo para a requisição, se necessário, de novos estudos aplicados e detalhados para o tema abordado.

Palavras-chave: Hidrelétricas; Automação; Projeto; Viabilidade; Retorno.

ABSTRACT: Hydroelectric plants play a relevant role in the Brazilian energy matrix, accounting for 65.2% of the total electricity generated in the state. Therefore, it is important to economically evaluate the implementation of a new control and automation system for a hydroelectric plant located in the central-western region of Brazil, which is the main objective of this work. To this end, a case study was carried out using the investment analysis and project management methodology, based on the premises disclosed in the public notice of “Eletrobras Furna”. Thus, after collecting and evaluating the data obtained and following the methodology previously explained, the feasibility of implementing the modernization project for the hydroelectric plant in question was confirmed. Finally, this work also provides a positive basis for requesting, if necessary, new applied and detailed studies on the topic addressed.

Keywords: Hydroelectric; Automation; Project; Viability; Return.



1. INTRODUÇÃO

A matriz energética de um país é um indicador de grande importância para a análise de desenvolvimento econômico, representando o conjunto de fontes de energia ofertado no país para captar, distribuir e utilizar energia nos respectivos setores chaves da sociedade, sendo esses o meio comercial, o industrial e o residencial (BORGES NETO; DE CARVALHO, 2012; LEITE; ALVES; PICCHI, 2020). A partir disso, torna-se possível quantificar a energia disponível no território nacional e, consequentemente, determinar a sua origem, a qual volta-se à sua possibilidade de renovação ou não, onde o efeito de cada forma impacta diretamente o resto da sociedade que a produz e/ou consome.

Seguindo essa linha de raciocínio, torna-se importante apresentar a matriz energética e elétrica presente no Brasil e as suas semelhanças ou diferenças em relação à global. Nesse sentido, verifica-se, no sistema internacional, a existência de uma matriz energética e elétrica global que predominantemente utiliza de fontes não renováveis, em especial o petróleo e seus derivados, como base da produção de energia mundialmente, causando uma grande emissão de gases do efeito estufa (BORGES NETO; DE CARVALHO, 2012; CRUZ; DANIELI; SOUZA, 2023). Contudo, diferentemente disso, o Estado brasileiro se destaca mundialmente ao possuir uma matriz elétrica que dispõe majoritariamente de fontes renováveis (MOREIRA, 2015), as quais expressam mais de 80% da oferta interna de energia (BEN, 2022), onde a base dessa matriz se encontra nas hidrelétricas (TEIXEIRA; DA SILVA, 2021; FUSER; ABRÃO, 2021¹ com 65,2% (BEN, 2021) do total gerado.

A partir disso, deve-se compreender a história do setor de hidreletricidade no Brasil, o qual tem como ponto de partida o estado de Minas Gerais. Assim, o começo desse setor ocorreu em 1883, quando houve a construção da primeira barragem hidrelétrica brasileira, a barragem de Ribeirão do Inferno, criada “para fornecer energia para uma mina de extração de diamantes” (DE OLIVEIRA, 2018, p. 321). Em seguida, em 1889 há a inauguração da primeira usina da América do Sul de grande porte (DE OLIVEIRA, 2018), Usina de Marmelos, criada a fim de alimentar o setor têxtil da região (FREITAS FILHO *et al.*, 2011). Com o sucesso desse empreendimento, foi constatado o potencial hidrológico nacional e, a partir do século 20, especialmente no início da década de 70, a aposta nessa matriz renovável passou a diferenciar o Brasil em comparação com outros países industrializados.

Segundo Sistema de Informação de Geração presente na Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2022), o Brasil tem em operação 219 usinas hidrelétricas de grande porte, as Usinas Hidrelétricas (UHEs), além de 425 pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) e 739 centrais geradoras hidrelétricas (CGHs), totalizando aproximadamente 112 GigaWatt (GW) instalado. Além disso, dentre as 219 usinas de grande porte, três estão entre as dez maiores do planeta, sendo elas Itaipu Binacional, Belo Monte e Tucuruí, as quais, sozinhas, conseguiriam atender o consumo do Brasil durante mais de 10 dias (ENERGIA, 2021). No entanto, com o aumento da demanda, juntamente com a crise hídrica, esta última acontecendo em 2021, levou ao desabastecimento dos reservatórios das regiões Centro-Oeste e Sul, o que ocasionou o déficit de energia e, consequentemente, o aumento da tarifa da energia elétrica (MOREIRA, 2015) para a bandeira vermelha.

Dessa forma, durante esse momento, para a compensação das regiões em déficit de energia, o Operador Nacional do Sistema (ONS) efetuou diversas manobras do Sistema Interligado Nacional (SIN) para realizar o despacho de energia excedente de outras regiões para as regiões em necessidade (MOREIRA, 2015). Este foi um cenário excepcional, demandando uma robustez sem precedentes do nosso Sistema Elétrico de Potência (SEP). Contudo, essa robustez e eficiência do sistema está em “check”, isto porque, conforme citado anteriormente, grande parte da base hidrelétrica instalada data do início da década de 70, ou seja, grande parte



das usinas hoje em operação possuem uma tecnologia com mais de cinquenta anos, ou menos, de defasagem.

Assim, visando uma maior integração e confiabilidade da planta (MACHADO, 2013) e consequentemente do SIN, é de extrema importância a realização de modernizações nas usinas de grande porte do Brasil. Todavia, os incrementos técnico-científico necessários para realizar o desenvolvimento dessas usinas é gigante, englobando as partes civis (barragens e prédios), as mecânicas (geradores, turbinas, comportas e sistemas hidromecânicos), as elétricas (transformadores, linhas de transmissão, painéis elétricos, banco de baterias) e, o controle e automação (relés de proteção, painéis de controle, controladores lógicos programáveis e sistemas supervisórios) desses segmentos. Ainda assim, a área que mais sofre com os avanços tecnológicos, acentuando ainda mais a defasagem técnico-científica, é a parte de Controle e Automação.

Nesse sentido, para que qualquer modernização ocorra, torna-se necessário analisar os investimentos e os retornos previstos, os quais devem ser levados em consideração para os Planos de Operação Elétrica de Médio Prazo do SIN (PAR/PEL, 2020), dando embasamento para as modificações necessárias na usina. Com isso, o problema de pesquisa deste trabalho volta-se à possibilidade econômica de uma modernização do sistema de controle e automação de usinas hidrelétrica.

Para tal, será realizado um estudo de caso da Usina Hidrelétrica X – será utilizado o “X” para não identificar a empresa real – a fim de analisar a viabilidade econômica da implementação de um novo sistema de controle e automação, tal metodologia será tratada com maior especificidade na próxima seção. Além disso, com o intuito de efetuar o objetivado, está pesquisa realizará uma análise documental dos arquivos que foram disponibilizados pela empresa em questão. A partir disso, pretende-se, especificamente, estruturar os orçamentos de investimento e fluxos de caixas iniciais para a modernização, utilizando os indicadores “Valor Presente Líquido”, “Taxa Interna de Retorno”, “Taxa de Mínima Atratividade” e o tempo de retorno do capital investido.

Assim, buscou-se, em última instância, analisar os indicadores de viabilidade desse novo projeto (CAMLOFFSKI, 2014), os quais foram citados anteriormente, a fim de identificar se há possibilidade de efetivação desse novo sistema de controle e automação. Com isso, este estudo contribui para a redução das incertezas inerentes ao montante investido, identificando a viabilidade econômica dessa modernização.

Por fim, a primeira seção apresentará os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento e resolução do trabalho, explicitando os principais indicadores usados para alcançar o objetivo deste estudo. Em seguida, haverá a exposição dos resultados juntamente à discussão das principais descobertas deste trabalho, avaliando a possibilidade de confirmação a viabilidade econômica da implementação de um projeto de modernização da usina hidrelétrica em questão. Na última seção, será realizada as considerações finais do trabalho, identificando os principais resultados e limitações deste estudo, além de caminhos para novas pesquisas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Com relação à base metodológica, há a identificação de forma de resolução da problemática deste estudo, os qual possui um caráter descritivo, por meio: do método escolhido, da metodologia desenvolvida; e das técnicas de coleta e de análise de dados aplicados. Nesse sentido, esse trabalho utiliza do método hipotético-dedutivo (dedutivo-empírico), ao apresentar um problema que deriva de expectativas ou conhecimentos prévios dos autores (Lakatos; Marconi, 2017). A partir disso, foi criada uma hipótese, havendo, posteriormente, a tentativa



de falseá-la, reformulando-a até que ela supere os testes e seja corroborada (Lakatos; Marconi, 2017).

Ademais, utiliza-se uma única abordagem metodológica, sendo essa o estudo de caso, onde será analisada a Usina Hidrelétrica X – será utilizado o “X” para não identificar a empresa real. Nesse sentido, ao identificar que tal metodologia busca realizar “uma inferência causal sobre o efeito real de X em Y no caso particular” (Mahoney; Barrenechea, 2017, p. 2, tradução própria), este trabalho quer identificar o real efeito financeira da modernização do sistema de controle e automação.

Visando esse objetivo, foram utilizadas várias técnicas de coleta e análise de dados, dentre elas está: o mapeamento de processos, a revisão narrativa de literatura, a análise documental e avaliação quantitativa dos dados obtidos. Sobre o mapeamento de processos, ele foi utilizado como uma técnica a fim de identificar funcional e se desenvolve uma usina hidrelétrica, sendo usado para a descrição desse fenômeno (Collier, 2011; George; McKeown, 1985; King; Keohane; Verba, 1994).

Por fim, houve a realização de uma revisão narrativa da literatura (fonte secundária), onde, por meio de uma pesquisa exploratória, sobre os conceitos de investimentos, “*capital expenditure (CAPEX)*”, também conhecido como despesas de capital, custos, fluxos de caixas, juros e indicadores de viabilidade, os quais serão detalhados posteriormente. Além disso, também foi feita uma seleção documental (fonte primária) por meio dos arquivos disponibilizados pela usina em questão. Em última instância, a avaliação quantitativa dos dados obtidos através da análise documental seguiu as equações dos conceitos adquiridos na revisão narrativa da literatura, sendo que elas são expostas especificamente adiante. Dentre os indicadores de viabilidade citados, pode-se destacar:

2.1 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

Um dos principais métodos de avaliação de investimentos é o Valor Presente Líquido, por levar em consideração o valor do dinheiro no tempo, juntamente com o volume em valores absolutos. A partir disso, a sua conceituação volta-se à “quantidade de moeda (dinheiro) que um indivíduo tem disponível e concorda em ceder a outro, temporariamente, mediante determinada remuneração” (BRUNI, 2018, p. 28), sendo assim considerado a soma das receitas líquidas futuras descontadas ao valor presente com uma taxa de desconto, ou também conhecida como taxa mínima de atratividade (TMA), trazidos para a referência do ano zero (ASSAF NETO, 2016). Conforme a Equação 1:

$$VPL = \sum_{t=0}^T \frac{FC(t)}{(1+i)^t} \quad (1)$$

Onde, VPL: Valor Presente Líquido, já conceituado anteriormente; FC: Fluxo Caixa, o qual se relaciona à movimentação de recursos em um certo período (t) (BRUNI, 2018), onde há os desembolsos para a implementação do projeto; t: Momento ou período analisado do Fluxo de Caixa; i: taxa de desconto (ou taxa de mínima de atratividade), sendo essa uma taxa de retorno real ou uma de retorno nominal descontada pela inflação.

Ao fim dos cálculos, será possível obter importantes conclusões sobre o investimento em análise, por exemplo: VPL > 0, projeto viável ou lucrativo; VPL < 0, projeto inviável ou prejuízo; e, por fim, VPL = 0, receitas e despesas são equivalentes.



2.2 TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

É um indicador complementar ao VPL, conforme visto anteriormente, auxiliando o investidor a indicar se um projeto ou investimento é viável, ou seja, se ele possui rentabilidade do investimento inicial (BRUNI, 2018; JULIO, 2021). Assim, essa taxa é um modelo hipotético calculado a partir de uma projeção de fluxo de caixa, sendo essa uma previsão das receitas geradas por um investimento ao longo de um determinado período (JULIO, 2021), onde seu conceito baseia-se na igualdade da Equação 1, exposta o parágrafo anterior, a zero (ASSAF NETO, 2016), conforme a Equação 2:

$$0 = VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC(t)}{(1 + TIR)^t} \quad (2)$$

Com a igualdade realizada e o TIR determinado, o investidor pode equalizar a taxa de retorno entre outras taxas e escolher a melhor opção. Por último, o tomador de decisões pode analisar o TIR com a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) proposto, sendo o último entendido como “o custo específico de cada financiamento, ponderando-os em função dos volumes financiados” (BRUNI, 2018, p. 149), onde deve-se ver a aplicabilidade do projeto, como por exemplo: $TIR > TMA$, projeto viável ou lucrativo, $TIR < TMA$, projeto inviável ou prejuízo.

2.3 PAYBACK

Além disso, há o *payback* conhecido como retorno em português, refere-se ao período em que um investimento leva para recuperar o valor que foi aplicado (JULIO, 2021), sendo uma ferramenta de previsão de resultados, usada para descobrir o tempo preciso para recuperar a aplicação inicial (ASSAF NETO, 2016). No entanto, no termo *payback* são aplicadas duas conceituações distintas, sendo a primeira o Payback Simples, o qual, conforme a Equação 3, reflete o método mais simples para se avaliar a viabilidade de um investimento, ou seja, sem descontar os fluxos de caixas futuros, apenas somando os fluxos auferidos no período, até que a soma se iguale ao valor do investimento (BRUNI, 2018; RIBEIRO, 2009).

$$\text{Payback Simples} = \frac{\text{investimento}}{\sum_{t=0}^n FC(t)} \quad (3)$$

Ademais, existe, também, o Payback Descontado, quando se utiliza a Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Assim, essa outra forma de *payback* considera: a desvalorização do dinheiro ao longo do tempo, o custo de capital da empresa e, ainda, o fluxo de caixa depois de recuperado o investimento (BRUNI, 2018). Conforme apresentado na Equação 4:

$$\text{Payback Descontado} = \frac{\text{investimento}}{\sum_{t=0}^n \frac{FC(t)}{(1+TMA)^t}} \quad (4)$$



2.4 RECEITA

A partir disso, para a análise do benefício agregado ao novo projeto de modernização da planta, foi realizado um levantamento da produção média advinda da Usina Hidrelétrica X, objeto de estudo desse trabalho. Logo, resgatando os últimos relatórios anuais do Operador do Sistema Nacional (ONS), referente ao ano de 2021, pode-se observar uma produção média, ao ano, de 1479 GWh (ONS, 2021).

Por fim, cruzando o resultado obtido anteriormente com o preço médio da energia hidráulica definida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para o ano de 2021, sendo este de R\$ 186,88 MWh⁻¹ (ANEEL, 2021), verifica-se uma receita bruta média conforme o exposto na Equação 5.

$$\begin{aligned}
 \text{Receita Bruta Média} &= \\
 (\text{quantidade produzida em Mwh}) \times (\text{valor recebido por Mwh}) & \quad (5) \\
 \text{Receita Bruta Média} &= (1479 \times 10^3 \text{MWh}) \times \left(\text{R\$} \frac{186,88}{\text{MWh}} \right) \\
 &= \text{R\$ } 276.395.520,00
 \end{aligned}$$

2.5 INVESTIMENTO

Seguindo as diretrizes presentes no edital público “Eletrobras Furnas” (ELETROBRAS FURNAS, 2021), trata-se do investimento necessário para implementação de um novo sistema de controle e automação da usina hidrelétrica. Portanto o investimento total envolve: os painéis de controle das unidades geradoras, juntamente dos seus respectivos painéis de serviços auxiliares; o sistema de supervisão, conforme o padrão definido pela engenharia da usina; as instalações elétricas para o novo sistema de monitoramento; e todos os serviços de engenharia, projetos, descomissionamento, comissionamento e integração do novo sistema oferecido.

Durante o processo de ratificação do ganhador, ocorrido em maio de 2022, vários proponentes apresentaram os seus melhores preços ao longo da negociação virtual, em que o lance vencedor, o qual possuía o melhor preço e aderiu de forma mais fiel ao edital, foi de R\$ 6.560.000,00 (ELETROBRAS FURNAS, 2021), conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1 - Lista de Preços de 2021 em reais

Descrição	Preço Total
Projeto Executivo	R\$ 906.574,15
Fornecimento p/ Modernização da Sala de Controle	R\$ 420.616,30
Fornecimento p/ Modernização da Rede Operativa	R\$ 544.176,66
Fornecimento p/ Modernização da Unidade Geradora 1	R\$ 645.829,68
Fornecimento p/ Modernização da Unidade Geradora 2	R\$ 645.829,68
Fornecimento p/ Modernização da Unidade Geradora 3	R\$ 645.829,68
Fornecimento p/ Modernização dos Serviços Auxiliares	R\$ 549.911,88
Fornecimento p/ Modernização do Vertedouro	R\$ 320.571,52
Fornecimento de Sobressalentes	R\$ 171.994,62
Fornecimento de Materiais	R\$ 173.880,66
Fornecimento de Serviços em Campo	R\$ 1.534.785,17



Total	R\$ 6.560.000,00
-------	------------------

Fonte: ELETROBRAS FURNAS – Edital Público - LI.GS.G.00112.2021.

2.6 INFLAÇÃO

A taxa de inflação, compreendida como o reajuste dos preços ao longo do tempo, será de caráter homogêneo, ou seja, é aquela onde todos os custos serão deflacionados ao mesmo índice (SOUZA; NETO, 2012). Logo, a partir da adoção do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), há uma projeção de variação de 5,5% ao ano para o ano de 2023 (BCB, 2022).

Consequentemente, deflaciona-se a TMA adotada pela empresa ganhadora do edital, por meio da utilização do cálculo do VPL, a chamada taxa nominal (SMART; MEGGINSON; GITMAN, 2004), conforme a Equação 6.

$$(1 + In) = (1 + TMA) \times (1 + If) \quad (6)$$

Onde, In: taxa nominal; TMA: TMA real da Empresa; If: taxa de inflação do período.

2.7 TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE, TAXA NOMINAL E A TAXA DE RENTABILIDADE

Avaliando a atratividade do projeto e a situação atual da taxa de juros do país (BANCO CENTRAL, 2022), foi adotado a taxa Selic esperada para o ano de 2023, sendo essa a de 13.75%, a qual foi entendida como o mínimo esperado para que o projeto possua retorno financeiro. Dessa forma, quaisquer taxas inferiores ao apontado anteriormente não viabilizam os riscos presentes no investimento do projeto, isso porque o mercado estaria fornecendo produtos de menor volatilidade com a mesma taxa de retorno.

A partir disso, e aplicando a Equação 6, sendo o investimento inicial previsto no valor R\$ 6.560.000,00, que foi calculado anteriormente, e os fluxos de caixa previsto na Tabela 2, obtém-se a Taxa Nominal aplicável para o projeto. Assim, tal taxa corresponde a 20% do montante investido, sendo superior ao delimitado pela taxa Selic do Brasil. Por fim, há, igualmente, a taxa de rentabilidade mínima esperada do mercado para a eficiência (BRUNI, 2018) do projeto, sendo esta igual a 1.3%, variando conforme a estratégia desenvolvida pelas empresas e a importância desse projeto para a situação dela.

2.8 DISPONIBILIDADE AUMENTADA ASSEGURADA

Finalizando os indicadores de viabilidade utilizados neste trabalho, verifica-se que para o investimento se tornar viável, é essencial avaliar o incremento da disponibilidade necessária para o aumento na produção de energia. Nesse sentido, deve-se compreender qual tipo de incremento pode ser utilizado na produção e operação da usina para que a implementação do projeto e, consequentemente, desse novo sistema de automação, seja considerado vantajoso à empresa.

Logo, essa análise deve ser realizada em conjunto com o time de operação e manutenção da planta, em que este realizará outro estudo envolvendo a confiabilidade, a disponibilidade e a mantinabilidade da usina, também conhecida como análise RAM (Reliability, Availability e Maintainability). Assim, a confiança se relaciona à possibilidade de desempenho de uma certa ação em um determinado período (NBR 5462, 1994; VINADÉ, 2003) e, a manutenção, volta-



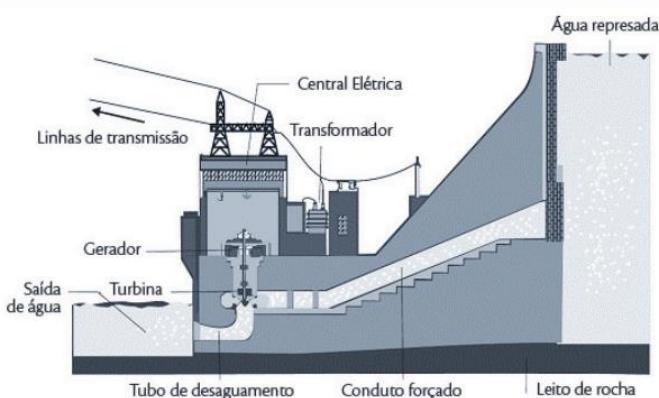
se à “capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas” (NBR 5462, 1994). Ao fim do estudo de viabilidade econômica, observa-se a criação de um índice de disponibilidade, o qual é passado ao time de operação que deverá incrementá-lo no projeto para que ele seja viável economicamente, cabendo a esse setor realizar uma segunda análise de vieses técnicos para o entendimento da plausibilidade do incremento prático requisitado (RIBEIRO, 2009).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O objetivo desse estudo consiste na avaliação econômica da implementação de um novo sistema de controle e automação em uma usina hidrelétrica situada na região centro-oeste do Brasil. A partir disso, esse novo sistema controlará de forma automática e de maneira mais eficiente todo o processo de produção de energia elétrica, partindo desde a energia cinética e/ou potencial contida nos rios e barragens, até a transmissão.

O princípio de funcionamento de uma hidrelétrica baseia-se no controle dos movimentos das águas, as quais são provenientes tanto dos rios, sendo essas conhecidas como usinas fio d’água por dependerem do curso original do corpo hídrico (AZEVEDO; DA SILVA; QUEIROGA, 2021), quanto por meio dos reservatórios com água represada (Barragens), como também advindas do desnível das águas (ROSA, 2022). Dessa forma, esse fluxo de água atravessa uma turbina (IEC, 2019) que estará acoplada ao rotor de um gerador síncrono, onde a sua movimentação produz a energia elétrica. Assim, há a transformação da energia cinética em energia mecânica e, por fim, elétrica por meio do movimento das águas (AZEVEDO; DA SILVA; QUEIROGA, 2021; DE QUEIROZ *et al.*, 2012; ROSA, 2022), conforme a Figura 1:

Figura 1. Funcionamento de uma Usina Hidrelétrica.

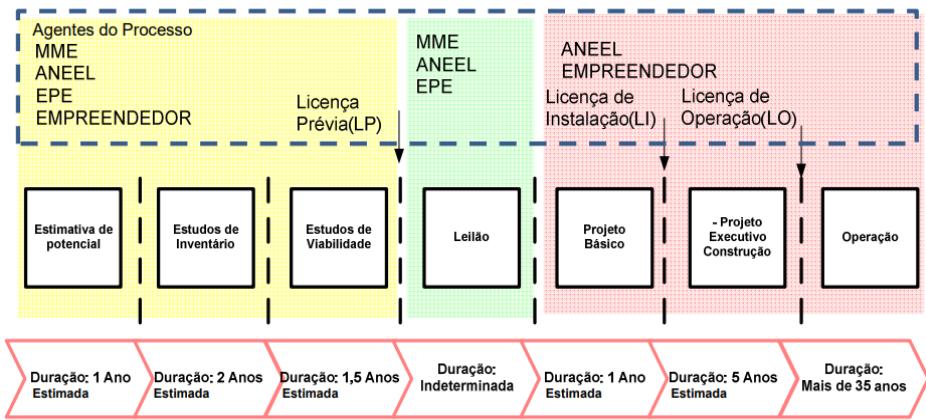


Fonte: REBOLLAR, P.B.M. (2011).

Com o aumento da competitividade no mercado de energia, os operadores de usinas hidrelétricas estão adotando uma posição mais agressiva, visando extrair o melhor desempenho de seus ativos com o menor custo possível. Nesse sentido, é possível observar que cada empreendimento hidrelétrico possui seus indicadores de viabilidade bem definidos no seu modelo de negócios durante o ciclo de vida de uma UHE, conforme visto na Figura 2.



Figura 2. Ciclo de Vida de uma Usina Hidrelétrica (UHE)



Fonte: Machado (2013).

Logo, uma correta gestão de ativos pode oferecer um embasamento eficaz para a tomada de decisão referente às possíveis melhorias na operação e/ou, até mesmo, melhores planos de modernização, incrementando o retorno sobre o capital investido. Com isso, entende-se que estratégias mais eficazes de adequação, recuperação ou eventual substituição de equipamentos com desempenhos abaixo da média (MACHADO, 2013), são essenciais para que esse tipo de gestão seja possível.

Visando a compreensão da viabilidade econômica do projeto de modernização do sistema de controle e automação da usina hidrelétrica X, foi elaborada a análise dos indicadores econômicos, os quais foram expostos na seção “Material e Métodos”. Assim, essa avaliação ocorreu por meio do software Microsoft Excel, expondo os indicadores de Valor Presente Líquido, a Taxa Interna de Retorno e a Taxa de Mínima Atratividade, sendo igualmente realizada a análise em função do período necessário para haver um retorno do capital investido.

3.1 SIMULAÇÕES PRELIMINARES

O objetivo das simulações a serem apresentadas, têm como foco a ratificação do incremento percentual da disponibilidade da usina necessária para a viabilidade e implementação do projeto que busca atualizar o sistema de controle e automação. Nesse sentido, foi adotado o tempo mínimo de 15 (quinze) anos entre os projetos de modernização, devido à obsolescência dos equipamentos instalados e os avanços da tecnologia, onde o próprio período pode variar conforme a estratégia da empresa e a importância da respectiva usina para o sistema nacional interligado. Ademais, o prazo de obsolescência é um dado que igualmente é fornecido pelo fabricante do equipamento, onde este atesta que a possibilidade de suporte ao instrumento somente será atendida conforme a vida útil do referido item (SILVA *et al.*, 2016)

A partir disso, foi realizada a análise do Valor Presente Líquido (VPL), conforme Tabela 2 exemplificada.



Tabela 2. Fluxo de Caixa Depois da Modernização (Disponibilidade Aumentada Necessária - 0,65% ao Ano)

Tempo	Fluxo de Caixa Esperado
Ano 0	-R\$ 6.560.000,00
Ano 1	R\$ 1.796.570,88
Ano 2	R\$ 1.808.248,59
Ano 3	R\$ 1.820.002,21
Ano 4	R\$ 1.831.832,22
Ano 5	R\$ 1.843.739,13
Ano 6	R\$ 1.855.723,43
Ano 7	R\$ 1.867.785,64
Ano 8	R\$ 1.879.926,24
Ano 9	R\$ 1.892.145,76
Ano 10	R\$ 1.904.444,71
Ano 11	R\$ 1.916.823,60
Ano 12	R\$ 1.929.282,96
Ano 13	R\$ 1.941.823,29
Ano 14	R\$ 1.954.445,15
Ano 15	R\$ 1.967.149,04
VPL	R\$ 2.058.211,63

Fonte: Resultados originais da pesquisa.

De acordo com a Tabela 2, observa-se que o percentual mínimo para o incremento da disponibilidade da usina X, a fim de que viabilize a lucratividade do projeto, é de 0,65%. Além de haver a necessidade do VPL > 0, conforme exposto na Tabela 2, o que por si só já denotaria um projeto viável para a execução por conta da sua rentabilidade, o presente modelo de negócios também deve possuir uma taxa interna de retorno (TIR) superior à Taxa Nominal utilizada, a qual é de 27,22% e com uma taxa de rentabilidade de 1,3, onde o último possui um valor superior ao desejado. Os resultados do Payback Simples e Descontado se encontram nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Payback Simples

Tempo	Fluxo de Caixa Esperado	Payback Simples
Ano 0	-R\$ 6.560.000,00	-R\$ 6.560.000,00
Ano 1	R\$ 1.796.570,88	-R\$ 4.763.429,12
Ano 2	R\$ 1.808.248,59	-R\$ 2.955.180,53
Ano 3	R\$ 1.820.002,21	-R\$ 1.135.178,32
Ano 4	R\$ 1.831.832,22	R\$ 696.653,90

Fonte: Resultados originais da pesquisa.



Tabela 4. Payback Descontado

Tempo	Fluxo de Caixa Esperado	VPL	Payback Descontado
Ano 0	-R\$ 6.560.000,00	-R\$ 6.560.000,00	-R\$ 6.560.000,00
Ano 1	R\$ 1.796.570,88	R\$ 2.245.889,06	-R\$ 4.314.110,94
Ano 2	R\$ 1.808.248,59	R\$ 2.825.829,94	-R\$ 1.488.281,00
Ano 3	R\$ 1.820.002,21	R\$ 3.555.525,07	R\$ 2.067.244,07

Fonte: Resultados originais da pesquisa.

Para o retorno do investimento, também conhecido como *Payback*, foi estimado que, no presente projeto, o Payback Simples estaria relacionado a um período de 3 anos e 7 meses, enquanto o Payback Descontado seria de 2 anos e 5 meses, respectivamente, conforme as Tabelas 3 e 4. No entanto, para uma análise comparativa e informativa, é exemplificado, igualmente, na Tabela 5 o *break-even point* desse projeto, ou seja, o ponto onde o investimento não ocasionaria lucros, mas também não haveria prejuízos, sendo um momento de “equilíbrio entre as receitas e as despesas do empreendimento” (TERRIBILI FILHO, 2014, p. 44).

Contudo, do ponto de vista do mercado financeiro e da própria necessidade de obter-se lucro, todo o período do *break-even point* seria uma situação negativa. Isso porque, a alocação de investimentos em um empreendimento neutro acaba sendo um modelo de negócio inviável, pois, para essa situação, a melhor escolha seria a alocação do capital em um diferente projeto que possuísse uma melhor perspectiva de rentabilidade.

Tabela 5. Fluxo de Caixa Depois da Modernização (Disponibilidade Aumentada Necessária - 0,5% ao Ano) - Breakeven Point

Tempo	Fluxo de Caixa Esperado
Ano 0	-R\$ 6.560.000,00
Ano 1	R\$ 1.381.977,60
Ano 2	R\$ 1.388.887,49
Ano 3	R\$ 1.395.831,93
Ano 4	R\$ 1.402.811,09
Ano 5	R\$ 1.409.825,14
Ano 6	R\$ 1.416.874,27
Ano 7	R\$ 1.423.958,64
Ano 8	R\$ 1.431.078,43
Ano 9	R\$ 1.438.233,82
Ano 10	R\$ 1.445.424,99
Ano 11	R\$ 1.452.652,12
Ano 12	R\$ 1.459.915,38
Ano 13	R\$ 1.467.214,95
Ano 14	R\$ 1.474.551,03
Ano 15	R\$ 1.481.923,78
VPL	≈ R\$ 0.000.000,00

Fonte: Resultados originais da pesquisa.



Assim, com a análise do Valor Presente Líquido (VPL), conforme expresso na Tabela 5, o percentual mínimo para o incremento da disponibilidade da usina X, onde faria os lucros e prejuízos se igualarem, seria de 0,5%. Portanto, o *breakeven point* é confirmado com o $VPL \approx 0$, o qual representaria um projeto que não possui lucros ou prejuízos, em que o presente modelo de negócios deve dispor de uma taxa interna de retorno (TIR) igual a Taxa Nominal utilizada, sendo essa equivalente à 20% e com uma taxa de rentabilidade de 1.

Logo, caso a disponibilidade almejada pelo operador da usina seja inferior à porcentagem acima descrita, o projeto se tornará inviável para aplicação, trazendo, ao fim, mais prejuízos do que benefícios. Dessa forma, os resultados do Payback Simples e Descontado se encontram, respectivamente, nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6. Payback Simples - Breakeven Point

Tempo	Fluxo de Caixa Esperado	Payback Simples
Ano 0	-R\$ 6.560.000,00	-R\$ 6.560.000,00
Ano 1	R\$ 1.381.977,60	-R\$ 5.178.022,40
Ano 2	R\$ 1.388.887,49	-R\$ 3.789.134,91
Ano 3	R\$ 1.395.831,93	-R\$ 2.393.302,99
Ano 4	R\$ 1.402.811,09	-R\$ 990.491,90
Ano 5	R\$ 1.409.825,14	R\$ 419.333,24

Fonte: Resultados originais da pesquisa

Tabela 7. Payback Descontado - Breakeven Point

Tempo	Fluxo de Caixa Esperado	VPL	Payback Descontado
Ano 0	-R\$ 6.560.000,00	-R\$ 6.560.000,00	-R\$ 6.560.000,00
Ano 1	R\$ 1.381.977,60	R\$ 1.727.472,00	-R\$ 4.832.528,00
Ano 2	R\$ 1.388.887,49	R\$ 2.170.136,70	-R\$ 2.662.391,30
Ano 3	R\$ 1.395.831,93	R\$ 2.726.234,23	R\$ 63.842,93

Fonte: Resultados originais da pesquisa.

Além dos lucros e prejuízos se igualarem, verifica-se que o retorno do investimento (*payback*) demandará um período superior ao previsto anteriormente. Nesse sentido, o Payback Simples necessitará de 4 anos e 8 meses para que o projeto seja rentável, enquanto o Payback Descontado exigirá 3 anos para o mesmo fim, conforme evidenciado nas Tabelas 6 e 7, respectivamente.

No entanto, uma observação importante referente a modernização de usinas hidrelétricas, mesmo que talvez o projeto se torne inviável economicamente, o próprio operador do sistema (ONS) e/ou os órgãos governamentais, como a ANEEL, as Empresa de Pesquisa Energética (EPE) ou o Ministério de Minas e Energia (MME), impõem a necessidade da modernização, visto que a obsolescência de equipamentos e, consequentemente, indisponibilidade de uma usina hidrelétrica de grande porte impactaria negativamente e traria risco para o sistema interligado nacional (SIN). Assim, essas atualizações contribuem, igualmente, para a modernização de outros sistemas, fora o de controle e automação, por exemplo o próprio *upgrade* dos gerados e das turbinas a fim de obter-se uma melhor eficiência,



ou, até mesmo, a instalação de novas máquinas, o que traria um maior valor agregado maior para a usina.

Ademais, quando se fala de modernizações estruturais da usina, como a inclusão de novas máquinas em vãos existentes, ou mesmo a repotencialização dos equipamentos atuais da planta, deve-se pensar nas alterações em demais setores da hidrelétrica, sendo esses a vazão da usina, a inundação de áreas e a mudança do regime hídrico, podendo haver a atenuação dos picos de cheias/vazantes ou o aumento do tempo de residência de água no reservatório. Ainda assim, essa modernização pode causar outras alterações tal qual a mudança da descarga à jusante, em função do período de enchimento e/ou de desvio permanente do rio, como também a interferência nos usos múltiplos do recurso hídrico existentes, sendo esses a navegação, a irrigação, o abastecimento e o controle de cheias, que interferem no lazer, no turismo, entre outros e, igualmente, o assoreamento do reservatório e a erosão das margens à jusante e à montante (IHA, 2020; REBOLLAR, 2011). Logo, o operador da UHE, juntamente com os órgãos governamentais (ANEEL, ONS e Ministérios Públicos) trabalham em conjunto para abordar a melhor solução no caso dessas grandes modernizações.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fundamentação por trás do objetivo focal deste trabalho, é o estudo dos dados gerais de operação e modernização de um sistema de controle e automação de uma usina hidrelétrica X, juntamente com a utilização dos principais indicadores de viabilidade econômica do mercado. Dessa forma, busca-se conseguir uma aproximação da situação geral da aplicabilidade do projeto, contribuindo, ao final, para iniciar a compreensão de uma possível viabilidade dele, a fim de, também, embasar os estudos mais aplicados referente à temática principal.

No entanto, cada empresa, levando em conta os seus respectivos métodos de gestão, como, igualmente, o custo do capital próprio ou de terceiros, os ganhos de escala, a capitalização e outros fatores, os quais podem possuir uma difícil estimativa, têm potencial de acarretarem divergências nos dados e nas análises propostas nesse estudo. Ademais, além das diferenças nas estratégias de cada empresa gestora, o que demonstra uma das limitações presentes em uma análise mais assertiva, tem-se também os custos operacionais, os quais dependem de cada operador e da sua respectiva localização. Com isso, a dificuldade de obter esses indicadores acabam sendo um motivo pelo qual eles não foram abordados nesse trabalho, ocasionando em uma análise mais generalista dos lucros brutos do gestor do empreendimento.

Por fim, tendo como base as premissas utilizadas nesse estudo e considerando que não houve a observação de eventuais acréscimos em seus custos de operação e/ou possíveis alterações nos indicadores de viabilidade utilizados, a projeção dos resultados e dos indicadores econômicos evidenciou uma expectativa positiva de retorno econômico-financeiro para o projeto analisado. Com isso, entende-se que, mesmo com as limitações presentes, o trabalho atingiu os objetivos esperados, auxiliando os próprios órgãos governamentais, juntamente ao ONS, na solução de obstáculos referentes à modernização das usinas hidrelétricas brasileiras, a fim de contribuir na interligação do sistema nacional.

REFERÊNCIAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. SIGA - Sistema de Informações de Geração da ANEEL. ANEEL, 2022. Disponível em: <<https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/siga-sistema-de-informacoes-de-geracao-da-aneel>> Acesso em 02 abril 2022.



ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Preço Médio da Energia Hidráulica e Tarifa Atualizada de Referência são reajustados. **Ministério de Minas e Energia**, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/preco-medio-da-energia-hidraulica-e-tarifa-atualizada-de-referencia-sao-reajustados>>. Acesso em: 10/06/2022.

ASSAF NETO, A. **Matemática Financeira e Suas Aplicações**. 13ed. Atlas: São Paulo, SP, 2016.

ASSAF NETO, A; LIMA, F. G. **Curso de administração financeira**. 3ed. Editora Atlas, São Paulo, SP, 2014.

AZEVEDO, C. O. R.; DA SILVA, J. M.; QUEIROGA, M. S. C. **Análise comparativa de usina hidrelétrica com reservatório e usina hidrelétrica a fio d'água por meio da análise de custo e efetividade**. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2021.

BCB - BANCO CENTRAL DO BRASIL. Relatório de Mercado. **Focus**, 2022. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/content/focus/focus/R20220722.pdf>>. Acesso em 01/06/2022.

BEN – BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. Balanço Energético Nacional 2021. **Empresa de Pesquisa Energética (EPE)**, 2020. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br>>. Acesso em: 02 abril 2022.

BEN – BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. Balanço Energético Nacional 2023. **Empresa de Pesquisa Energética (EPE)**, 2022. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-687/BEN2023.pdf>>. Acesso em: 02 setembro 2024.

BORGES NETO, M. R.; DE CARVALHO, P. C. M. **Geração de Energia Elétrica – Fundamentos**. Érica: São Paulo, SP, 2012.

BRUNI, A. L. **Avaliação de investimento**. 3 ed. Atlas: São Paulo, 2018.

CAMLOFFSKI, R. **Análise de investimentos e viabilidade financeira das empresas**. 1ed. Atlas: São Paulo, 2014.

CRUZ, P. M.; DANIELI, J. A. C.; SOUZA, M. V. de A. Perspectiva transnacional da sustentabilidade e a nova matriz energética global. **Revista de ciências jurídicas**, v. 28, n. 1, p. 1-14, 2023.

DE QUEIROZ, R. *et al.* Geração de energia elétrica através da energia hidráulica e seus impactos ambientais. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental - REGET**, v. 13, n. 13, p. 2774- 2784, 2013.

DE OLIVEIRA, N. C. C. A grande aceleração e a construção de barragens hidrelétricas no Brasil. **Varia história**, v. 34, n. 65, p. 315-346, 2018.

ELETROBRAS FURNAS. Aviso de Edital LI.GS.G.00112.2021LI.GS.G.00112.2021. **Eletrobras Furnas**, 2021. Disponível em:



<https://www2.furnas.com.br/fornecedores/fornecedores_editais_consulta.asp?opcao=A&tp=LI&A=2021>. Acesso em 01/06/2022.

ENERGIA. Itaipu produz em dois meses o equivalente à metade de toda a geração de Belo Monte e Tucuruí em 2020. **Itaipu binacional**, 2021. Disponível em:
<<https://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/noticia/itaipu-produz-em-dois-meses-o-equivalente-metade-de-toda-geracao-de-belo-mo>>. Acesso em: 18/07/2023.

FREITAS FILHO, A. P. *et al.* Pequenas usinas hidrelétricas: o caso da usina de Marmelos. **História e Economia Revista Interdisciplinar**, v. 9, n. 2, 2011.

FUSER, I. ABRÃO, R. A. Economia política latino-americana da energia: impasses e desafios em um cenário global em acelerada transformação. **Brazilian Journal of International Relations**, v. 10, n. 2, p.333-367, 2021.

IEC - INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Hydraulic machines – Guidelines for dealing with hydro-abrasive erosion in Kaplan, Francis, and Pelton turbines.

IEC, 2019. Disponível em:
<https://webstore.iec.ch/preview/info_iec62364%7Bed2.0.RLV%7Den.pdf>. Acesso em: 18/07/2023.

IHA – INTERNATIONAL HYDROPOWER ASSOCIATION. Hydropower Sustainability Assessment Protocol: preparation assessment tool. **IHA**, 2020. Disponível em:
<<https://www.hydروpower.org/publications/hydropower-sustainability-assessment-protocol>>. Acesso em: 18/07/2023.

JULIO, L. R. **Análise de qualidade do investimento**. 1 Ed. Plano Soluções Educacionais S.A: São Paulo, 2021.

LEITE, A. C. C.; ALVES, E. E. C.; PICCHI, L. A cooperação multilateral climática e a promoção da agenda da transição energética no Brasil. **Desenvolvimento e meio ambiente**, v. 54, p. 379-403, 2020.

MACHADO, A.N. **Metodologia de Avaliação da Confiabilidade de Plantas de Geração de Energia**. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, 2013. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br>>. Acesso em: 09/10/2022.

MOREIRA, P. F. **Agência de atores não estatais em pactos intergovernamentais na América do Sul**: a cooperação energética Brasil-Peru (2008-2014). Tese (Doutorado em Relações Internacionais) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2015.

NBR 5462. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**: Confiabilidade – Terminologia. ABNT, Rio de Janeiro, 1994.

ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA. **Geração de Energia 2021**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br>>. Acesso em: 10/06/2022.

PAR/PEL. Plano da Operação Elétrica de Médio Prazo do SIN: 2021-2025. **Operador Nacional do Sistema Elétrico**, 2020. Disponível em:



<https://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Sum%C3%A1rio_executivo_ONS_PAR-PEL-2021-25.pdf>. Acesso em: 02/04/2022.

REBOLLAR, P. B. M. Energias Renováveis: Energia Hídrica. Unisul: Consórcio de Universidades Europeias e Latino-Americanas em Energias Renováveis – JELARE, 2011.

RIBEIRO, C. V. T. Como fazer projetos de viabilidade econômica. Defanti: Cuiabá, MT, Brasil, 2009.

ROSA, E. R. Impacto da metodologia de transposição de dados de vazão sobre o custo de geração e na viabilidade econômica de centrais hidrelétricas a fio d'água. 125f. Dissertação (Mestre em Engenharia Hídrica) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2022.

SILVA, A. J. L. et al. Atualização Tecnológica do Sistema de Automação do Alto Forno #3. In: 20º Seminário de Automação e TI da Associação Brasileira de Mineração, 2016, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Anais...** p. 104-112, 2016

SMART, S. B.; MEGGINSON, W. L.; GITMAN, L. J. Corporate Finance. Mason: South-Western, 2004.

SOUZA, J.S; NETO, F.J. O impacto da incorporação da inflação na análise de projetos de investimentos. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-65132012005000073>>. Acesso em 05 fevereiro 2023.

TEIXEIRA, R. L. B. C.; DA SILVA, W. A. Energia de fontes renováveis na matriz energética brasileira: uma revisão sobre o panorama atual e perspectivas futuras. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 8, n. 20, p. 1515-1532, 2021.

TERRIBILI FILHO, A. Escopo de projeto para criação de um plano de negócios. **Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios**, v. 7, n. 1, p. 29-55, 2014.

VINADÉ, C. A. do C. Sistematização do processo de projeto para confiabilidade e mantinabilidade aplicado a sistemas hidráulicos e implementação de um sistema especialista. 233f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2003.