

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

FRANCISCO AUGUSTO TECHIATTI FAZANO

**AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO DE MOTORES
DE INDUÇÃO PELA ANÁLISE DO CARREGAMENTO E CÁLCULO DA
ECONOMIA LÍQUIDA EM INDÚSTRIAS SUCROALCOOLEIRAS.**

**Ilha Solteira,
2023**

FRANCISCO AUGUSTO TECHIATTI FAZANO

**AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO DE MOTORES
DE INDUÇÃO PELA ANÁLISE DO CARREGAMENTO E CÁLCULO DA
ECONOMIA LÍQUIDA EM INDÚSTRIAS SUCROALCOOLEIRAS.**

Trabalho de Graduação apresentado à
Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha
Solteira – UNESP como parte dos requisitos
para obtenção de título de Engenheiro
Eletricista.

Prof. Dr. Fábio Bertequini Leão
Orientador

Ilha Solteira
2023

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Fazano, Francisco Augusto Techatti.

F287a Avaliação técnico-econômica da substituição de motores de indução pela
análise do carregamento e cálculo da economia líquida em indústrias
sucroalcooleiras / Francisco Augusto Techatti Fazano. – Ilha Solteira: [s.n.],
2023

36 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) -
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2023

Orientador: Fábio Bertequini Leão

Inclui bibliografia

1. Substituição de motores. 2. Alto rendimento. 3. Economia líquida. 4.
Venda de energia. 5. Viabilidade.

Rosane da Silva Santos
Rosane da Silva Santos
Assessora Técnica de Apoio
Serviço Técnico de Biblioteca, Arquivamento e Documentação
Diretoria Geral de Biblioteca e Documentação
CBB-0000

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Aos dois dias do mês de junho do ano de dois mil e vinte e três, o discente *Francisco Augusto Techatti Fazano*, matriculado sob o nº 152052852, tendo como banca examinadora seu orientador, o Prof. Dr. *Fábio Bertequini Leão*, o Prof. Dr. *Jean Marcos de Souza Ribeiro* e o Engenheiro Eletricista *Silvio José Pereira*, apresentou o Trabalho de Graduação intitulado "**Avaliação Técnico-Econômica da Substituição de Motores de Indução pela Análise do Carregamento e Cálculo da Economia Líquida em Indústrias Sucroalcooleiras**" obtendo a nota 10 (DEZ) e conceito APROVADO.

Fábio Bertequini Leão

Fábio Bertequini Leão
- orientador -

Francisco Augusto Techatti Fazano

Francisco Augusto Techatti Fazano
- discente -

Jean Marcos de Souza Ribeiro

- Membro da Banca -

Silvio José Pereira

Silvio José Pereira

- Membro da Banca -

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Carlos e Marilza, pelo apoio que sempre me ofereceram ao longo de toda minha vida, e em especial durante o curso.

Ao meu professor e orientador Fábio, que se disponibilizou para me ajudar em todos os momentos que necessitei com grande sabedoria e paciência.

Aos grandes amigos que fiz durante o curso, que sempre estiveram presentes tanto para as batalhas quanto para as comemorações das vitórias. Sem a presença e ajuda deles com certeza não teria conseguido seguir por esse caminho.

E por fim aos amigos que tenho feito na Usina Santa Adélia, com quem pude compartilhar experiências e conhecimentos, tendo recebido muito mais do que proporcionado, e sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

RESUMO

Sabendo-se que os motores elétricos são responsáveis por grande parte do consumo energético dentro de uma indústria, é sempre viável buscar métodos para reduzir esse custo. Neste trabalho foi estudada a viabilidade da substituição de motores industriais antigos de baixo rendimento, do tipo IR2, por motores de alto rendimento do tipo IR3 premium. Para essa análise o método escolhido foi o da economia líquida, que busca comparar o consumo energético dos motores de baixo com os de alto rendimento ao longo de sua vida útil, fazendo projeções acerca da tarifa energética vigente no país e comparando tal custo com o custo do investimento nesses motores. Durante o trabalho foi observado que na indústria em questão não se faz a compra de energia, tendo em vista que a usina possui sua própria termoeletrica que produz energia tanto para consumo interno quanto para venda no mercado livre. Assim o método foi adaptado para o custo de venda de energia, tendo em vista que toda energia economizada com a substituição dos motores estará disponível para venda durante a produção industrial.

PALAVRAS-CHAVE: Substituição de motores; Alto rendimento; Economia líquida; Venda de energia; Viabilidade.

ABSTRACT

Knowing that electric motors are responsible for a great fraction of the electrical energy consumed inside of an industry, it is always viable search for methods to reduce this cost. On this work was studied the viability of the substitution of old industrial motors with low efficiency, of the IE2 kind, with high efficiency motors of the IE3 premium kind. For this analysis the chosen method was the net savings one, that compares the electrical consume of low efficiency motors with the high efficiency ones over their lifetime, making projections of the electrical tariff of the country and comparing that cost with the investment cost of those motors. During the work it was observed that on the industry in question the energy is not consumed, seen that the plant has its own thermoelectric generator, that produces energy for internal consumption and also to be sold on the free energy market. On this note the chosen method was adapted for energy selling cost, having in mind that all the energy saved with the substitution of the motors would be available for selling during the industrial operation.

KEYWORDS: Motor replacement; High efficiency; Net savings; Sale of energy; Viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Circuito equivalente do motor.....	13
Figura 2: Exemplo de curva de desempenho do motor	15
Figura 3: Dados de placa motor 5.....	20
Figura 4: Local de instalação do CCM das bombas	21
Figura 5: Exemplo de amperímetro instalado nos CCMs	22
Figura 6: Curva de desempenho motor 200 cv.....	24
Figura 7: Curva de desempenho motor 250 cv.....	24
Figura 8: Curvas das taxas de energia e inflação.....	26
Figura 9: PLDx para os anos de 2017 a 2022.....	27
Figura 10: Curva de desempenho motor IR3 premium 200 cv	29
Figura 11: Curva de desempenho motor IR3 premium 250 cv	30
Figura 12: Curva de desempenho motor IR3 premium 175 cv	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tempo de vida médio de motores	17
Tabela 2: Motores escolhidos para análise	20
Tabela 3: Valores médios das correntes de cada motor em operação	22
Tabela 4: Horas trabalhadas de cada motor	23
Tabela 5: Valores de carregamento e rendimento para motores estudados.....	25
Tabela 6: Valores para cálculo da escalada de energia	25
Tabela 7: Dados para cálculo de $\hat{\epsilon}$ para PLDx.....	27
Tabela 8: Valores do Custo energético para motores em operação na indústria.....	28
Tabela 9: Custo de energia motores IR3 premium 200 cv	30
Tabela 10: Custo de energia motores IR3 premium 250 cv	31
Tabela 11: Custo de energia motores IR3 premium 175 cv	32
Tabela 12: Economia líquida calculada para motores IR3 premium (R\$)	33

Sumário

1.INTRODUÇÃO	11
2 ESCOLHA DO MÉTODO PARA ANÁLISE ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO DOS MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS	13
2.1 MOTORES TRIFÁSICOS E SEU RENDIMENTO	13
2.2 ANÁLISE ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO DO MIT.....	15
2.3 MÉTODO DE MEDIÇÃO DE RENTABILIDADE	16
2.4 MÉTODO DA ECONOMIA LÍQUIDA.....	16
2.5 CÁLCULO DA TAXA DE ESCALADA DE ENERGIA.....	17
3 ANALISE TECNICO ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO DOS MOTORES DA INDÚSTRIA	19
3.1 ESCOLHA DOS MOTORES	19
3.2 COLETA DOS DADOS.....	21
3.3 CÁLCULO DA TAXA DE ESCALADA DE ENERGIA.....	25
3.5 CÁLCULO DO CUSTO ENERGÉTICO DOS MOTORES ATUALMENTE APLICADOS.....	28
3.6 CÁLCULO CUSTO ENERGÉTICO DOS MOTORES DE ALTO RENDIMENTO	29
3.6.1 SUBSTITUINDO OS MOTORES DE BAIXO RENDIMENTO POR MOTORES DE ALTO RENDIMENTO DE 200 CV.	29
3.6.2 SUBSTITUINDO OS MOTORES DE BAIXO RENDIMENTO POR MOTORES DE ALTO RENDIMENTO DE 250 CV.	30
3.6.3 SUBSTITUINDO OS MOTORES DE BAIXO RENDIMENTO POR MOTORES DE ALTO RENDIMENTO DE 175 CV.	31
3.7 APLICAÇÃO DO MÉTODO DA ECONOMIA LÍQUIDA NOS MOTORES MAIS RENTÁVEIS.....	32
4 CONCLUSÕES:.....	34

1.INTRODUÇÃO

Cabe ao engenheiro, além da solução de problemas, a missão de conseguir tal feito economizando-se recursos financeiros o máximo possível. Isso se torna mais importante em um parque industrial, que busca maximizar seus ganhos para que possa continuar a gerar lucros. Um dos gastos de maior impacto econômico em uma indústria é o custo da energia elétrica utilizada em seu processo de produção.

Dentro de uma indústria, os motores de indução trifásicos são amplamente usados, sendo responsáveis por aproximadamente 68% do consumo de energia elétrica, segundo a Confederação Nacional da Indústria (CNI) (PORTARIA IR3, 2022). É desejável que esse consumo seja otimizado ao máximo. Uma forma de se atingir tal objetivo é utilizar motores de melhor rendimento possível.

O consumo energético não é um problema somente das indústrias, mas também do país como um todo. O Brasil passou em 2021 por uma grave crise energética, ocasionada por uma crise hídrica, principal fonte de geração no país, o que ocasionou na elevação de seu custo (MALARDO, 2021). Desta forma, é de interesse nacional que o consumo energético tenha o maior rendimento possível.

Levando-se o consumo energético em conta, passou a vigorar no Brasil, a partir de agosto de 2019, um novo índice de rendimento mínimo para motores elétricos fabricados nacionalmente e importados, o IR3, superando o antigo IR2 (BRASIL. Ministério de Minas e Energia). Esses motores apresentam maior rendimento e, conseqüentemente, menor consumo energético. Porém a portaria vale apenas para motores fabricados, e não para os implantados nas indústrias. Portanto, faz-se necessário a análise da substituição dos motores de baixo rendimento pelos de alto.

A Usina Santa Adélia unidade de Jaboticabal, indústria onde o estudo foi realizado, é uma indústria sucroalcooleira, ou seja, tem como principais produtos o etanol e o açúcar extraídos a partir da cana-de-açúcar. Além desses produtos, a empresa também produz e vende energia elétrica, gerada a partir da queima do bagaço resultante de seu processo.

Da energia total produzida, em média 35 MW, cerca de 6,5 MW são consumidos pela atividade da própria indústria. Levando-se em conta a porcentagem estimada de 68% dada pela CNI, são aproximadamente 4,4 MW de energia consumidos pelos motores elétricos utilizados no processo. Uma otimização para a redução deste consumo permitiria uma maior oferta de energia para a venda e aumento dos lucros da empresa.

O ano de 2021 foi atípico para a venda de energia elétrica. Devido à crise hídrica, o valor do megawatt hora chegou ao valor de R\$ 538,00. Em 2022, porém, esse preço voltou a se normalizar, ficando entre R\$ 70,00 e R\$ 80,00 (NOGUEIRA, 2022), fato que mostra a volatilidade do mercado de venda de energia. Portanto, o retorno previsto com a substituição dos motores pode sofrer com essa variação, sendo em menor tempo caso o preço do megawatt hora projetado para o período estudado seja mais caro e em maior tempo caso o contrário.

O parque industrial da empresa, embora seja datado de 1973 (NOSSA HISTÓRIA, 2022), passa por diversos processos de modernização e atualização cada ano. Porém alguns pontos podem ficar algum tempo sem serem atualizados. Parte do trabalho foi pesquisar quais motores que representavam maior gasto dentro da empresa ainda não haviam sido substituídos por motores de alto rendimento.

Além do rendimento, observou-se também o carregamento dos motores, buscando observar a chance de algum estar subdimensionado ou superdimensionado, sendo que a operação de motores fora de sua faixa nominal também eleva seu consumo energético (PORTARIA IR3, 2022).

2 ESCOLHA DO MÉTODO PARA ANÁLISE ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO DOS MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

Tendo-se em vista que o objetivo do trabalho é a análise financeira da substituição de motores elétricos, deve-se primeiramente realizar um estudo a respeito do consumo energético desses motores. Em seguida calcular o impacto financeiro deste consumo a longo prazo, levando-se em conta as variações financeiras do mercado de energia. Portanto, deve-se escolher um método capaz de suprir essas necessidades.

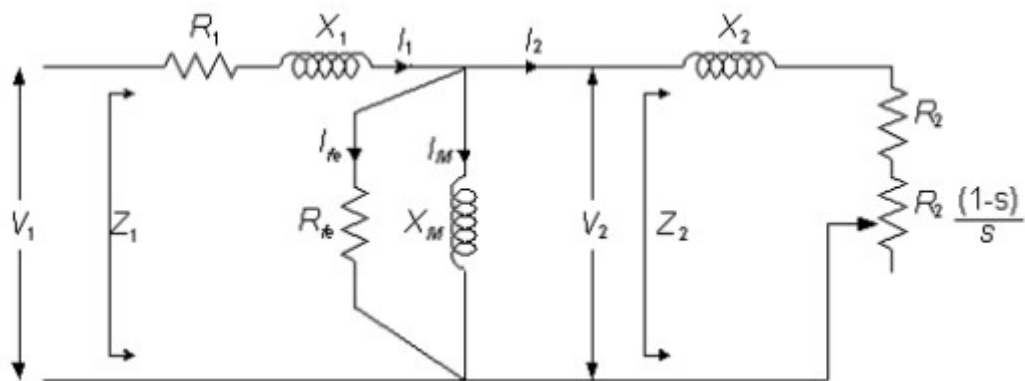
2.1 MOTORES TRIFÁSICOS E SEU RENDIMENTO

A eficiência é a razão entre a potência de saída fornecida pela máquina e a potência de entrada absorvida por ela para seu funcionamento (IEEE, 2004). No motor de indução trifásico (MIT) tipo gaiola de esquilo, máquinas estudadas neste trabalho, essa razão pode ser calculada tomando-se em conta a potência de entrada do motor e suas perdas.

As principais perdas nos motores são pela resistência elétrica dos condutores do estator e do rotor, perdas por histerese e perdas por atrito entre os componentes e ventilação forçada da máquina.

O rendimento de um MIT tipo gaiola de esquilo e suas perdas podem ser definidas usando-se o modelo do circuito equivalente do motor, representado na Figura 1.

Figura 1 Circuito equivalente do motor



Fonte: (IEEE, 2004)

Para determinar o valor total da potência disponibilizada pelo MIT deve-se calcular as perdas totais ao longo do circuito. Para uma máquina trifásica, as perdas no estator são dadas por (1).

$$P_{sir} = 3 R_1 I_1^2, \quad (1)$$

sendo R_1 a resistência do estator por fase e I_1 a corrente do estator.

A equação que descreve as perdas totais é dada por (2).

$$P_{per} = P_{sir} + s \cdot P_g + P_{fe} + P_{av} + P_{sup}, \quad (2)$$

sendo P_{per} é a perda total da máquina, s o escorregamento, P_{fe} as perdas no ferro, P_{sup} as perdas suplementares e P_{av} as perdas mecânicas, sendo que as perdas P_{fe} e P_{av} são obtidas através do ensaio a vazio, e P_{sup} obtida através de ensaios da máquina em carga.

A potência P_g refere-se à potência entregue ao entreferro, e pode ser calculada usando (3).

$$P_g = P_{ent} - 3 R_1 I_1^2 - P_{fe}, \quad (3)$$

sendo P_{ent} a potência de entrada. Assim, o rendimento pode ser calculado usando (4).

$$\eta = \left(1 - \frac{P_{per}}{P_{ent}}\right) \cdot 100. \quad (4)$$

A partir de (1), (2) e (3) conclui-se que o rendimento da máquina depende principalmente da corrente terminal I_1 , do escorregamento s e da potência P_{sup} .

O carregamento do motor é dado por (5).

$$L = \frac{P_{eixo}}{P_n} \cdot 100, \quad (5)$$

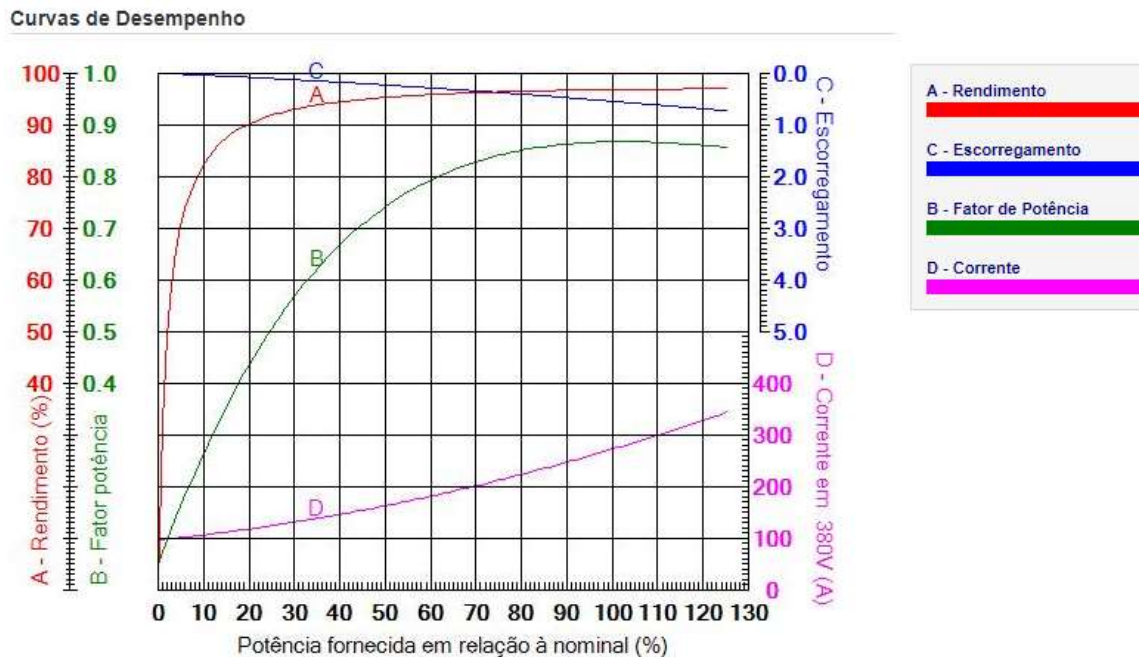
sendo P_n a potência nominal do MIT e P_{eixo} a potência entregue no eixo. Esta última é relacionada a potência de entrada conforme (6).

$$P_{eixo} = \eta \cdot P_{ent}. \quad (6)$$

Portanto, o carregamento do motor é função da grandeza rendimento, e, consequentemente da corrente do estator I_1 , do escorregamento s e P_{sup} . Para a análise da operação do MIT pode ser empregada a curva do rendimento pelo carregamento $[\eta \times L]$, fornecida pelo fabricante (LIMA, 2020), no caso a Weg.

O fabricante disponibiliza gráficos que permitem obter o valor do carregamento, rendimento, escorregamento e fator de potência a partir do valor da corrente de operação dos motores. Na Figura 2, é possível observar o gráfico de desempenho de um motor de 200 cavalos de quatro polos W22 IR3, extraída do catálogo do fabricante.

Figura 2: Exemplo de curva de desempenho do motor



Fonte: (CATÁLOGO WEG, 2022)

2.2 ANÁLISE ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO DO MIT

Para que se possa avaliar a rentabilidade da substituição dos motores, faz-se necessário uma análise econômica desse processo. Para essa análise, os seguintes fatores são indicados: custo do investimento inicial do projeto, custo do consumo energético durante o ciclo de vida dos motores e por fim custo de alienação e de manutenção.

Na análise em questão, não serão levados em consideração os custos de alienação e manutenção. Espera-se que tais custos sejam parecidos quando se comparam os motores antigos aos novos (AGUIAR E PONTES, 2018), sendo que as rotas de inspeção e planos de manutenção preventiva e preditiva serão mantidas, mesmo com sua substituição, de acordo com a política de segurança e qualidade da empresa.

Desta forma, o custo total (CT) durante o ciclo de operação do MIT é dado

$$Ct = CI + CE, \quad (7)$$

sendo (CI) o custo de investimento inicial e (CE) o custo da energia elétrica do motor.

Segundo a referência (AGUIAR E PONTES, 2018), o custo da energia elétrica (CE), que geralmente é o maior componente do custo total do ciclo de vida do motor (ANDRADE E PONTES, 2017), é uma função do carregamento em p.u., (L), assim como o rendimento ($\eta(L)$), carga nominal em kW (Pn), horas de operação anual em horas/ano (H) e a tarifa em R\$/kWh ($T(t)$) variando com t , conforme (8).

$$CE = \frac{Pn.L.T(t).H}{\eta(L)}. \quad (8)$$

Neste estudo, como a empresa em questão produz sua energia e vende seu excedente, observa-se que o consumo energético da unidade influencia em seu caixa de maneira diferente a de uma unidade apenas consumidora. O gasto de energia nesta unidade representa um valor que a empresa deixa de ganhar, ao invés de gastar com sua compra. Portanto, para o cálculo do custo da energia, a tarifa ($T(t)$) que representa o gasto, será substituída pelo valor de venda do megawatt hora no mercado livre de energia, que é a forma como a empresa realiza a venda deste excedente. Assim, a equação do custo de energia reformulada é dada por (9).

$$CEv = \frac{Pn.L.V(t).H}{\eta(L)}, \quad (9)$$

sendo $V(t)$ o valor de venda da energia no mercado livre, em R\$/kWh. Observa-se que esta alteração não interferirá nas equações apresentadas previamente, apenas adaptará estas ao caso estudado.

2.3 MÉTODO DE MEDIÇÃO DE RENTABILIDADE

Para que se possa avaliar a rentabilidade da substituição do motor é necessária uma avaliação utilizando o valor presente líquido (VPL), que é dado por (10):

$$VPL = \sum_{t=1}^m Ct. \left(\frac{1+\hat{e}}{1+d} \right)^t, \quad (10)$$

sendo d a taxa de desconto, $\hat{e}$ a taxa de escalada de energia, que será abordada na seção 2.5, e Ct os custos do fluxo de caixa total, equação (7), durante o ciclo de vida do equipamento (AGUIAR E PONTES, 2018).

2.4 MÉTODO DA ECONOMIA LÍQUIDA

Neste trabalho o método da economia líquida ou *net savings* (NS) é usado para calcular a rentabilidade da troca dos motores de baixo rendimento com motores de alto rendimento. Segundo (AGUIAR E PONTES, 2018) citando (ANDRADE E PONTES, 2017), este método é adequado por comparar o VPL ao longo da vida útil do equipamento. Desta forma, o método compara os custos da opção atual, de baixo rendimento, com os custos da opção de alto rendimento ao longo da vida útil do motor, levando em conta também o valor da diferença no custo de investimento inicial no projeto.

Em um ciclo de vida de m anos considerando igual para os motores de baixo e alto rendimento tem-se (11).

$$NS = \sum_{t=1}^m \Delta E \cdot \left(\frac{1+\hat{e}}{1-d} \right)^t - \sum_{t=1}^{m'} \frac{\Delta I}{(1+d)^t}, \quad (11)$$

sendo ΔE a diferença no custo energético entre as opções de baixo e alto rendimento, em que o custo energético é dado por (8), ΔI é a diferença do custo investimento (CI) entre as duas opções e m' é o tempo de financiamento do investimento. Para o caso estudado, será suposto um investimento no tempo presente, ou seja, $m'=0$. Além disso, por se tratar de venda de energia, não será usado um valor de desconto, ou seja, $d=0$. O tempo de vida útil do motor será considerado de $m=25$ anos, de acordo com (ANDRADE E PONTES, 2017).

Tabela 1: Tempo de vida médio de motores

Motor Type	Average Life (yrs)	Average hp	Average Load (%)	Average Annual Op. Hours (h/yr)	Average eff. (%)
Three-phase, induction					
1≤hp≤10	15	2,7	62	4.594	80
10<hp≤40	20	20,7	64	5.228	88
40<hp≤100	25	52,5	73	6.175	91
100<hp≤300	25	119,7	74	5.805	92

Fonte: (ANDRADE E PONTES, 2017)

Aplicando essas suposições em (11), tem-se (12):

$$NS = \sum_{t=1}^{25} [(CE_{br} - CE_{ar}) \cdot (1 + \hat{e})^t] - (CI_{ar} - CI_{br}), \quad (12)$$

sendo: CE_{br} o custo de energia elétrica do motor de baixo rendimento, CE_{ar} o custo de energia elétrica do motor de alto rendimento, CI_{br} o custo de investimento para o motor baixo rendimento e CI_{ar} o custo de investimento para o motor de alto rendimento.

2.5 CÁLCULO DA TAXA DE ESCALADA DE ENERGIA

Como o cálculo do custo energético do motor será aplicado ao longo de seu ciclo de vida útil para que se possa obter a economia líquida da substituição durante esse período, faz-se necessário uma análise levando-se em conta as variações do custo energético ao longo do tempo.

O método utilizado é o da taxa de escalada de energia ($\hat{e}$). Para o caso da compra, este valor é calculado usando-se como base um valor médio a partir de uma série histórica que mostra a tendência de variação desse valor (AGUIAR E PONTES, 2018). O valor dessa taxa é calculado tomando-se a diferença entre o valor do custo energético e o valor da inflação normalizados dentro do período de tempo analisado, representados por $e(t)$. A equação (13) mostra o cálculo de $\hat{e}(t)$ para determinado período de tempo N

$$\hat{e} = \frac{\sum_{t=1}^N e(t)}{N}. \quad (13)$$

3 ANALISE TECNICO ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO DOS MOTORES DA INDÚSTRIA

Neste tópico usou-se o método definido para a realização da análise financeira da substituição dos motores. Para tanto, primeiramente foram escolhidos quais motores seriam analisados. Em seguida foi feita a coleta de dados e, a partir deles, foi aplicado o método.

3.1 ESCOLHA DOS MOTORES

Para a realização do trabalho precisou-se primeiramente definir quais motores seriam analisados. A planta industrial possui aproximadamente 1000 motores de indução em operação, e, portanto, esta etapa do trabalho exigiu bastante trabalho e pesquisa de campo. A seguir são apresentados os critérios que são estabelecidos para a escolha dos motores para a realização da análise deste trabalho:

- Os motores deveriam, primeiramente, possuir índice de rendimento η ou inferior, ou seja, possuírem baixo rendimento, para que justificasse sua substituição por motores de índice superior mais econômicos.
- Os motores deveriam possuir uma potência relativamente alta quando comparados aos demais da planta, ou seja, serem os maiores consumidores de energia da indústria, para que sua substituição por motores mais econômicos gerasse o maior impacto possível no consumo energético da planta industrial.
- O tempo de operação deveria ser o maior possível, novamente buscando os motores com maior impacto no consumo energético.
- Observou-se também o carregamento dos motores, tendo em vista que este influencia no seu consumo energético de modo que motores em operação fora de sua potência nominal, seja acima ou abaixo, consomem mais energia. Neste quesito observou-se também a questão da segurança, tendo em vista que alguns motores operam abaixo de sua potência nominal por escolha da própria indústria, para garantir maior segurança de operação, como por exemplo os motores das esteiras de bagaço.

Levando-se em conta estes critérios, fez-se o levantamento dos motores operando na planta, usando o cadastro no sistema de Desenvolvimento de Programas para Análise de Sistema, do alemão *Systemanalysis Programmentwicklung* (SAP), que contém toda a

árvore industrial. Extraíu-se uma planilha contendo todos os motores, e com base nos quesitos apresentados e com a ajuda do coordenador da manutenção elétrica, escolheu-se os cinco motores utilizados para bombeamento da água utilizada no processo da planta industrial para o sistema de *spray*, usado para o resfriamento dessa água, tendo em vista que esses melhores se encaixavam a todos os critérios.

Os dados dos motores são apresentados na Tabela 2, bem como os seus dados de placa.

Tabela 2: Motores escolhidos para análise

	VELOCIDADE (RPM)	Nº DE POLOS	POTÊNCIA (CV)	POTÊNCIA (W)	TENSÃO (V)	FP	IN (A)
MOTOR BOMBA 1	1760	4	200	147100	380	0,8	280
MOTOR BOMBA 2	1780	4	200	147100	380	0,8	280
MOTOR BOMBA 3	1780	4	200	147100	380	0,8	280
MOTOR BOMBA 4	1770	4	200	147100	380	0,8	280
MOTOR BOMBA 5	1770	4	250	183875	380	0,82	344

Fonte: próprio autor

Figura 3: Dados de placa motor 5



Fonte: próprio autor

Pode-se observar pelo desgaste das placas contendo os dados dos motores a sua idade avançada, segundo dados da manutenção industrial esses motores possuem mais de

15 anos, mostrando serem motores antigos com baixo índice de rendimento. Parte da coleta dos dados apresentados na Tabela 1 foi feita pelo sistema de cadastro da empresa.

3.2 COLETA DOS DADOS

Após a escolha dos motores, passou-se a realizar a coleta de dados para que a análise do consumo energético e eventualmente o estudo monetário de sua substituição fosse feito. Coletaram-se as correntes dos motores operando a plena carga. Fez-se também o levantamento das horas de operação das bombas por ano-safra, tendo em vista que a usina as mantém catalogadas.

Devido a infraestrutura do local de instalação dos motores, tornava-se impossível a medição de suas correntes utilizando amperímetro de alicate. Porém, o centro de controle dos motores (CCM) das bombas já possui um amperímetro instalado previamente, para que se possa fazer o acompanhamento das correntes desses por parte da operação e manutenção elétrica. Nas figuras 4 e 5 são apresentados o local de instalação do CCM das bombas, bem como um dos amperímetros usados para o acompanhamento da corrente consumida por eles.

Figura 4: Local de instalação do CCM das bombas



Fonte: próprio autor

Figura 5: Exemplo de amperímetro instalado nos CCMs



Fonte: próprio autor

Desta forma, as correntes dos motores foram coletadas utilizando os valores apontados pelos amperímetros instalados. A coleta foi realizada no período de 2 semanas, de segunda-feira a sexta-feira, totalizando 10 valores, que em seguida foram usados para a determinação de uma corrente média de operação. Além disso, as coletas foram realizadas em horas diferentes durante estes 10 dias, tanto para que se obtivesse um valor para cada bomba, tendo em vista que estas variam em sua operação, quanto para buscar um valor médio mais próximo do real possível. Na tabela 3 apresenta-se os valores diários obtidos, bem como os valores médios calculados.

Tabela 3: Valores médios das correntes de cada motor em operação

DATA	MOTOR 1 (A)	MOTOR 2 (A)	MOTOR 3 (A)	MOTOR 4 (A)	MOTOR 5 (A)
17/out	268,5	272,4	279,1	286,1	311,9
18/out	270,4	276,3	282,1	289,6	315,8
19/out	264,6	272,7	274,5	281,6	315,6
20/out	263,2	270,6	274,5	281,2	310,2
21/out	265,2	273,2	271,8	282,4	312,5
24/out	262,7	268,8	267,2	276,8	305,2
25/out	265,4	273,3	269,7	285,5	311,7
26/out	262,3	271,3	274,0	282,3	311,4
27/out	267,6	274,5	281,2	283,1	314,5
28/out	260,1	272,5	272,0	285,7	312,9
MÉDIA	265,0	272,6	274,6	283,4	312,1

Fonte: próprio autor

Nota-se, comparando-se os dados das tabelas 2 e 3, que o motor 4 está operando acima de sua corrente nominal, enquanto os motores 1 e 5 operam abaixo dela. Como comentado anteriormente, este fato contribui para uma menor eficiência energética destes motores.

Após a coleta das correntes, o próximo passo foi obter as horas de operação das bombas. Como são usadas para resfriar a água utilizada no processo de fabricação do açúcar, as bombas operam apenas durante a safra. Como medida de controle, durante cada troca de turno, a operação passa para o laboratório industrial o tempo de operação de cada bomba dentro do período de 8 horas do turno anterior.

Assim, a usina possui registrado o total de horas trabalhadas pelas bombas, não apenas para a safra do ano de 2022, como também dos anos anteriores. Esses dados foram extraídos do sistema PIMS (*Plant Information Management Systems*) usado pela empresa para registro de dados para os anos de 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022. A partir deles, foi calculado um valor médio para horas de operação de cada bomba. Os dados compilados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Horas trabalhadas de cada motor

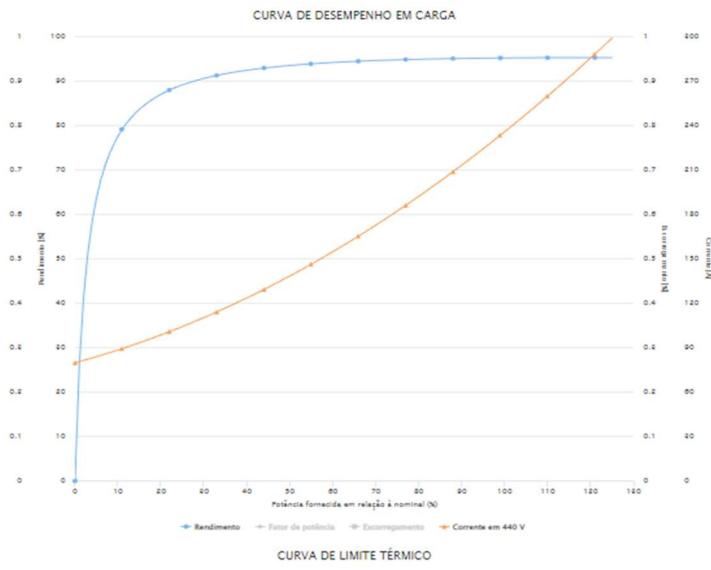
SAFRA - HORAS TOTAIS	2018	2019	2020	2021	2022	MÉDIA
MOTOR 1	1987,91	2138,63	2341,10	1791,00	1567,03	1965,13
MOTOR 2	2233,70	2040,72	2431,80	1931,20	1664,28	2060,34
MOTOR 3	2619,58	2405,98	2774,45	2116,30	1706,31	2324,52
MOTOR 4	3238,59	2896,30	3400,30	2567,76	1937,13	2808,01
MOTOR 5	3437,48	3030,10	3686,00	2309,04	2099,27	2912,38

Fonte: próprio autor

A seguir foi coletado o valor do rendimento e do carregamento dos motores atualmente empregados, a partir da curva de desempenho deles fornecida pelo fabricante. As curvas estão com valores de correntes para um motor ligado a uma tensão de 440 V. Para que se encaixe a nosso caso, que é uma tensão de 380 V, foi feita a normalização das correntes, dividindo-se as correntes médias calculadas pela corrente nominal dos motores. Os valores escolhidos para a normalização foram: para o motor de 200 cv 240 A para 440 V e 280 A para 380 V. Para o motor de 250 cv 293 A para 440 V e 344 A para 380 v.

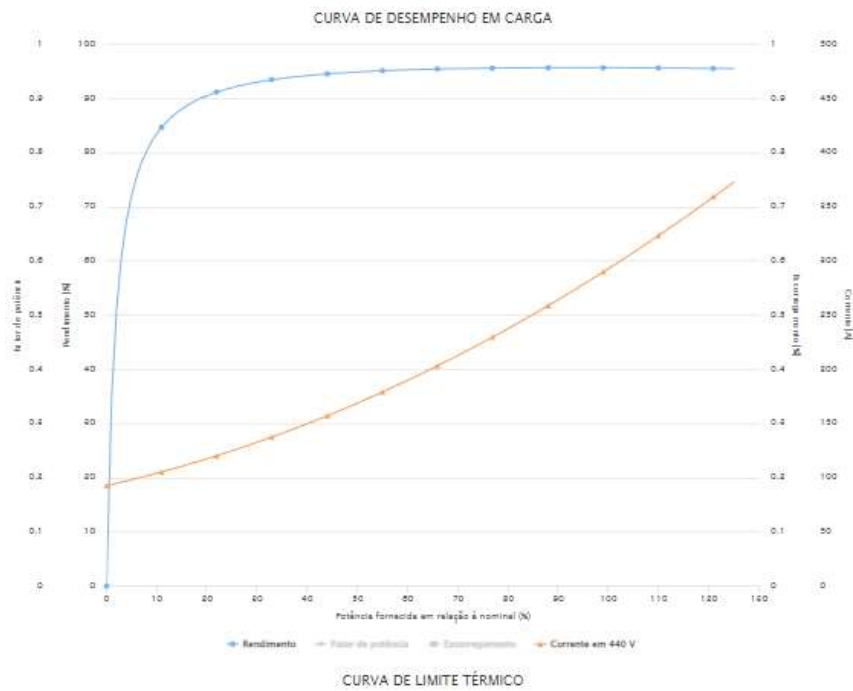
A seguir são apresentadas as curvas de desempenho em carga para os motores de 200 cv e 250 cv.

Figura 6: Curva de desempenho motor 200 cv



Fonte: (CATÁLOGO WEG, 2022)

Figura 7: Curva de desempenho motor 250 cv



Fonte: (CATÁLOGO WEG, 2022)

A partir dessas curvas elaborou-se a tabela 5.

Tabela 5: Valores de carregamento e rendimento para motores estudados

CORRENTE MÉDIA (A)	265,0	272,6	274,6	283,4	312,1
CARREGAMENTO	0,90	0,92	0,94	1,00	0,83
RENDIMENTO	0,9510	0,9512	0,9514	0,9519	0,9566

Fonte: Próprio autor

Com base nestes dados tornou-se possível o cálculo do consumo energético desses motores, para a comparação com motores de alto rendimento.

3.3 CÁLCULO DA TAXA DE ESCALADA DE ENERGIA

Primeiramente calculou-se o valor da taxa de escalada de energia. Como exemplo de aplicação de (13), calcula-se o valor da taxa de variação do custo da energia elétrica desde o início da série em 1996 até o ano de 2021, tomando como base os valores da inflação nesses anos e o custo da energia, normalizados pelo valor inicial.

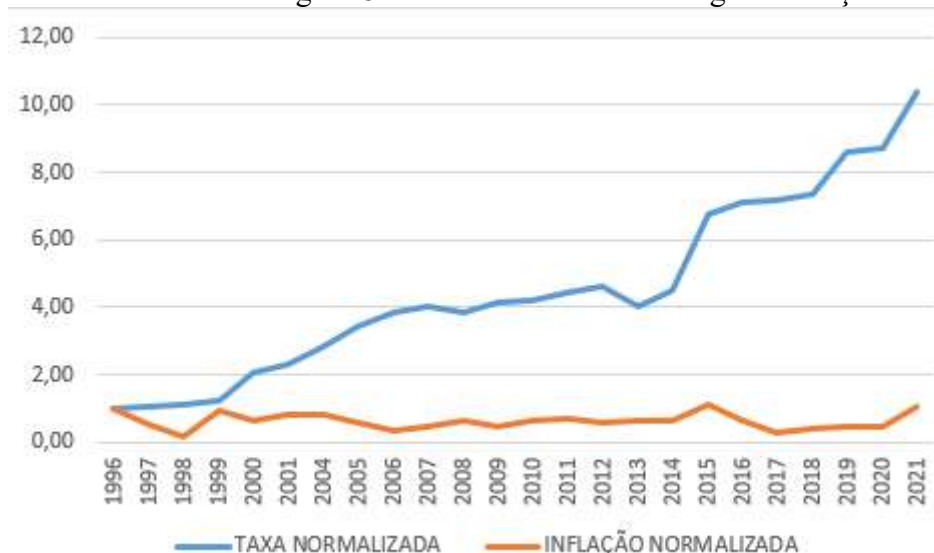
Tabela 6: Valores para cálculo da escalada de energia

ANO	TAXA	INFLAÇÃO	TAXA NORMALIZADA	INFLAÇÃO NORMALIZADA	e(t)
1996	55,41	9,56	1	1	0
1997	59,65	5,22	1,08	0,55	0,53
1998	62,16	1,65	1,12	0,17	0,95
1999	68,7	8,94	1,24	0,94	0,30
2000	113,76	5,97	2,05	0,62	1,43
2001	128,82	7,67	2,32	0,80	1,52
2002	103,82	12,53	1,87	1,31	0,56
2003	130,54	9,3	2,36	0,97	1,38
2004	158,26	7,6	2,86	0,79	2,06
2005	191,35	5,69	3,45	0,60	2,86
2006	213,59	3,14	3,85	0,33	3,53
2007	222,32	4,46	4,01	0,47	3,55
2008	214,48	5,9	3,87	0,62	3,25
2009	228,35	4,31	4,12	0,45	3,67
2010	231,89	5,91	4,18	0,62	3,57
2011	245,54	6,5	4,43	0,68	3,75
2012	257,33	5,84	4,64	0,61	4,03
2013	223,19	5,91	4,03	0,62	3,41
2014	249,01	6,41	4,49	0,67	3,82
2015	374,93	10,67	6,77	1,12	5,65
2016	392,94	6,29	7,09	0,66	6,43
2017	397,25	2,95	7,17	0,31	6,86
2018	408,72	3,75	7,38	0,39	6,98
2019	477,5	4,31	8,62	0,45	8,17
2020	482	4,52	8,70	0,47	8,23
2021	576	10,06	10,40	1,05	9,34

Fonte: ANEEL

Os dados são apresentados graficamente na Figura 3.

Figura 8: Curvas das taxas de energia e inflação



Fonte: ANEEL

Aplicando-se esses dados a (11), chega-se ao valor da taxa de escalada do custo de compra de energia no ano de 2021, que é de 3,83%.

Para o caso estudado, porém, ao invés da taxa da energia será utilizado a taxa de escalada do valor de venda da energia. Primeiramente faz-se necessário entender como a venda é feita na unidade em questão.

Para a Usina Santa Adélia a energia produzida durante a safra é vendida de acordo com os seguintes critérios:

1. A UTE Santa Adélia está no mercado livre e não possui nenhum contrato no regulado.
2. A energia pode ser comercializada mês a mês ou então via contratos de longo prazo.
3. A negociação é feita com comercializadoras do mercado, sendo sempre no mínimo três.
4. Após a venda é feito o registro da venda na plataforma da CCEE (Câmara de Comercialização de Energia).
5. Para o ano de 2023 o preço médio de venda estimado é de 170 R\$/MWh

Considerando que a usina não possui nenhum contrato de longo prazo atualmente, para o cálculo da escalada de energia será usado o valor do preço de liquidação das diferenças (PLD).

O PLD é a referência de preço da energia no curto prazo, sendo um indicador de equilíbrio entre a produção e o consumo de energia. Caso o consumo aumente e a oferta não, o valor do PLD sobe.

A partir do PLD, a Câmara de Comércio de Energia Elétrica (CCEE) calcula também o PLDx, utilizando métodos definidos no Caderno 00 – Preço de Liquidação de Diferenças, conforme descrito no site da CCEE (CONCEITO DE PREÇOS, 2022). Esse valor é calculado ao longo do ano, e é apresentado no quinto dia útil de dezembro. Dessa forma, pode-se considerar o PLDx um valor de PLD médio para o ano em questão. Na Figura 9, consta o valor do PLDx de 2017 a 2022.

Figura 9: PLDx para os anos de 2017 a 2022

Ano	2017	2018	2019	2020	2021	2022
PLDx (R\$/MWh)	108,07	127,86	139,55	155,12	158,68	178,44

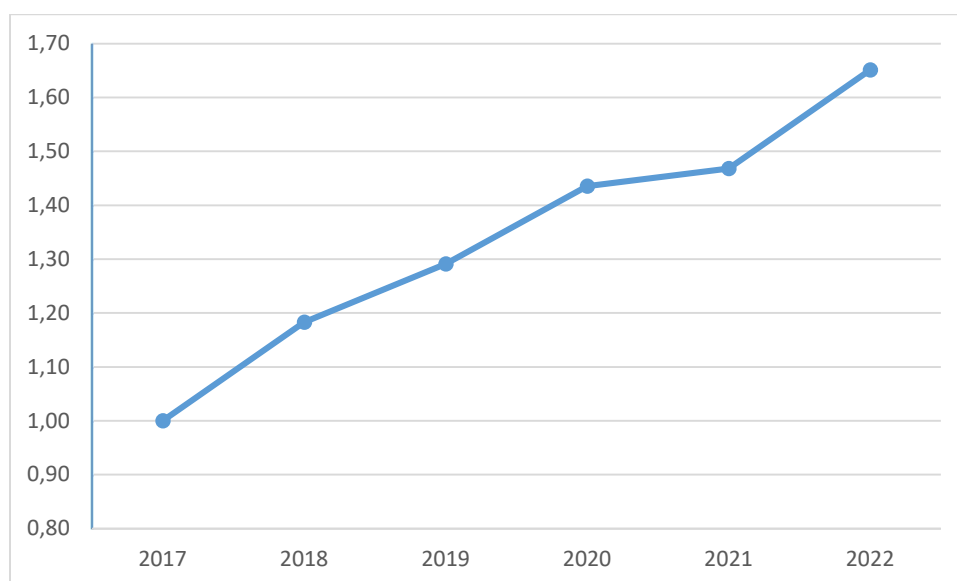
Fonte: (CONCEITO DE PREÇOS, 2022)

Utilizando esses valores para o cálculo da taxa de escala de energia, normalizando-se os valores com o valor de 2017 se obtém $\hat{\epsilon} = 1,6\%$.

Tabela 7: Dados para cálculo de $\hat{\epsilon}$ para PLDx

ANO	2017	2018	2019	2020	2021	2022
TAXA	108,07	127,86	139,55	155,12	158,68	178,44
NORMA ($\hat{\epsilon}(t)$)	1,00	1,18	1,29	1,44	1,47	1,65

Gráfico 1: Taxa de escalada do PLDx



Fonte: Próprio autor

Assim, o valor de ϵ utilizado no trabalho será o obtido a partir do PLDx que foi 1,6%.

3.5 CÁLCULO DO CUSTO ENERGÉTICO DOS MOTORES ATUALMENTE APLICADOS

Após a compilação dos dados, foi calculado, usando-se (8), o valor do custo energético dos motores da indústria. Como comentado anteriormente, foi utilizado o valor médio de venda do megawatt hora estimado para o ano de 2023 pelo setor de vendas da empresa em substituição ao valor de compra do megawatt hora utilizado na literatura, dessa forma calculando o valor perdido com o consumo próprio de energia ao invés do valor gasto com sua compra. Para o ano de 2023 esse valor estimado foi de 170 R\$/MWh. Os valores do custo energético por motor são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Valores do Custo energético para motores em operação na indústria

MOTOR	1	2	3	4	5
HORAS DE OPERAÇÃO (H)	1965	2060	2325	2808	2912
CORRENTE MÉDIA (A)	265	272,6	274,6	283,4	312,1
CARREGAMENTO (pu)	0,90	0,92	0,94	1,01	0,83
RENDIMENTO (pu)	0,9510	0,9512	0,9514	0,9519	0,9566
CUSTO ENERGIA (R\$)	46.506,65	49.832,85	57.432,75	73.768,19	78.988,95

Fonte: Próprio autor

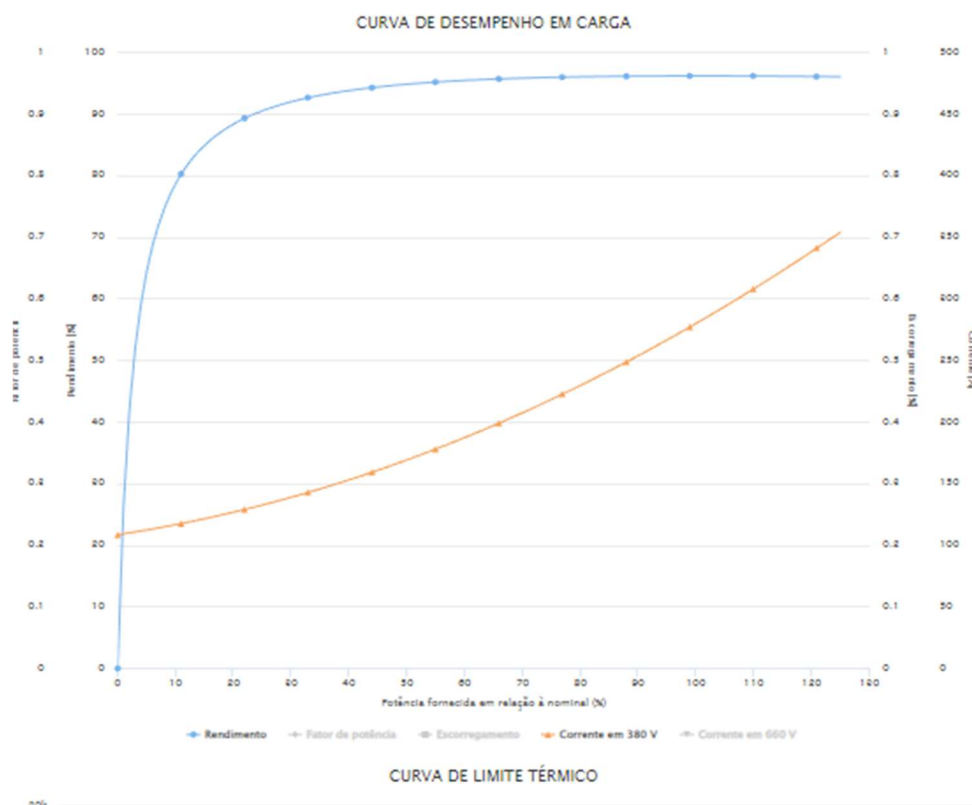
3.6 CÁLCULO DO CUSTO ENERGÉTICO DOS MOTORES DE ALTO RENDIMENTO

Tendo-se obtido os valores do custo dos motores de baixo rendimento, fez-se o cálculo do custo para três opções de motores de alto rendimento, a fim de se escolher o que ofereceria o melhor retorno financeiro.

3.6.1 SUBSTITUINDO OS MOTORES DE BAIXO RENDIMENTO POR MOTORES DE ALTO RENDIMENTO DE 200 CV.

Em seguida foram feitos os cálculos do custo energético para os motores de alto rendimento IR3 premium. Inicialmente escolheu-se os motores de 200 CV, 4 polos e 380V para a substituição de todos os 5 motores analisados, inclusive para o motor 5, que atualmente é de 250 CV, pois esse motor opera abaixo de sua potência nominal, próximo a 200 CV. Para manter a coerência, a carga adotada foi igual a carga medida para os motores da indústria. Os valores das correntes e dos carregamentos foram obtidos de acordo com o site do fabricante, a WEG, segundo a referência (CATÁLOGO WEG, 2022). A curva com esses valores é apresentada na Figura 10.

Figura 10: Curva de desempenho motor IR3 premium 200 cv



Fonte: (CATÁLOGO WEG, 2022)

Os cálculos dos custos de energia são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Custo de energia motores IR3 premium 200 cv

MOTOR	1	2	3	4	5
CARREGAMENTO (pu)	0,90	0,92	0,94	1,00	1,04
CORRENTE MÉDIA (A)	256,83	267,10	267,10	275,00	304,80
RENDIMENTO (pu)	0,9610	0,9615	0,9617	0,9618	0,9618
CUSTO ENERGIA (R\$)	46.022,71	49.299,02	56.817,63	73.008,88	78.561,89

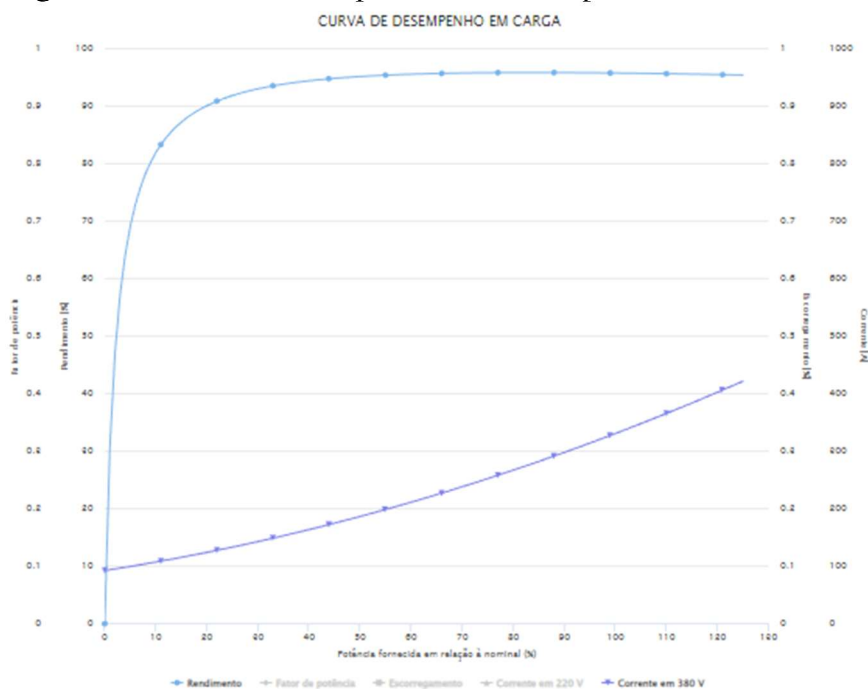
Fonte: Próprio autor

Observa-se que como o esperado, houve a redução dos custos de energia, quando comparado aos consumos atuais apresentados na Tabela 8.

3.6.2 SUBSTITUINDO OS MOTORES DE BAIXO RENDIMENTO POR MOTORES DE ALTO RENDIMENTO DE 250 CV.

Também foram feitos os cálculos de custo energético considerando a substituição de todos os motores pôr motores IR3 premium de 250 cv . Embora saiba-se que aumentar a potência diminui o carregamento dos motores, o que consequentemente faça com que o rendimento caia, decidiu-se fazer a análise. Novamente, a curva de desempenho é apresentada na Figura 11.

Figura 11: Curva de desempenho motor IR3 premium 250 cv



Fonte: (CATÁLOGO WEG, 2022)

Os custos de energia para esses motores são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Custo de energia motores IR3 premium 250 cv

MOTOR	1	2	3	4	5
CARREGAMENTO (pu)	0,72	0,74	0,75	0,80	0,83
RENDIMENTO (pu)	0,9579	0,9581	0,9582	0,9586	0,9586
CUSTO ENERGIA (R\$)	46.171,65	49.473,97	57.025,17	73.252,59	78.824,15

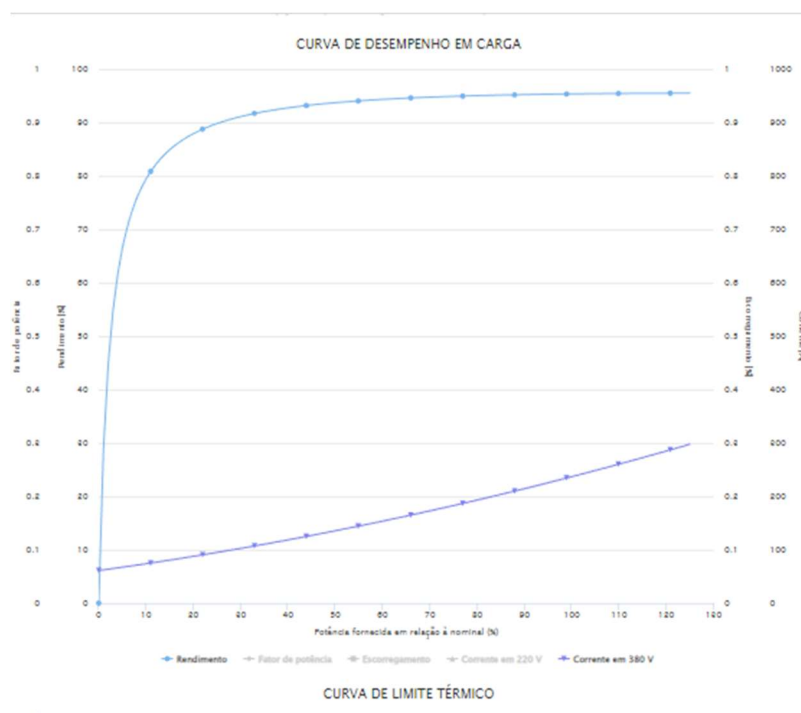
Fonte: Próprio autor

Nota-se que para esses motores, embora os gastos sejam menores que os motores de baixo rendimento, em nenhum caso a economia foi menor que as obtidas usando motores de 200 cv.

3.6.3 SUBSTITUINDO OS MOTORES DE BAIXO RENDIMENTO POR MOTORES DE ALTO RENDIMENTO DE 175 CV.

Por fim, repetiram-se os cálculos para motores IR3 premium de 175 cv. Neste caso, analisaram-se apenas os motores de 1 a 4, tendo em vista que 175 cv não supririam a potência necessária para o motor 5, estando fora de sua faixa de serviço de 15%. A curva de desempenho é apresentada na Figura 12.

Figura 12: Curva de desempenho motor IR3 premium 175 cv



Os custos de energia para esses motores são apresentados na tabela 11:

Tabela 11: Custo de energia motores IR3 premium 175 cv

MOTOR	1	2	3	4	5
CARREGAMENTO (pu)	1,08	1,11	1,12	1,15	1,28
RENDIMENTO (pu)	0,9547	0,9555	0,9555	0,9557	não viável
CUSTO ENERGIA (R\$)	48.826,35	52.615,92	59.798,05	74.535,12	-

Fonte: Próprio autor

Para este caso nota-se que não apenas os resultados são menos rentáveis que as opções anteriores apresentadas nas tabelas 9 e 10, como também o custo é maior que os dos motores originais, apresentados na Tabela 8.

3.7 APLICAÇÃO DO MÉTODO DA ECONOMIA LÍQUIDA NOS MOTORES MAIS RENTÁVEIS

Tomando-se a melhor opção dentro das análises feitas, no caso os motores IR3 premium de 200 cv, aplicou-se, usando (12), o método da economia líquida, para observar o impacto a longo prazo da economia. Para o custo inicial de investimento dos motores IR3 foi feita uma cotação pelo portal de compras on-line utilizado pela usina, o *Comlink*. O valor obtido para o motor de 200 cv foi de R\$ 90.000,00. Para os motores IR2, por não serem mais vendidos no mercado brasileiro, foi utilizado o valor apresentado em Aguiar e Pontes (AGUIAR E PONTES, 2018). Como os valores estavam em dólar, utilizou-se a média do valor do dólar durante o mês de dezembro de 2022 para a conversão, obtendo-se um valor que foi aproximado em R\$ 73.000,00. Vale ressaltar também que o tempo de vida útil considerado para motores foi de 25 anos, conforme apresentado na Tabela 1. Os dados foram compilados e são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Economia líquida calculada para motores IR3 premium (R\$)

MOTOR	1	2	3	4	5
CUSTO ENERGIA BAIXO RENDIMENTO	46.506,65	49.832,85	57.432,75	73.768,19	78.988,95
CUSTO ENERGIA ALTO RENDIMENTO	46.022,71	49.299,02	56.817,63	73.008,88	78.561,89
CUSTO DO MOTOR BAIXO RENDIMENTO	73.000,00	73.000,00	73.000,00	73.000,00	73.000,00
CUSTO DO MOTOR ALTO RENDIMENTO	90.000,00	90.000,00	90.000,00	90.000,00	90.000,00
VALOR DE NS	-2.031,05	-487,86	2.026,41	6.486,54	-3.790,56

Fonte: elaborado pelo autor.

Sabendo-se que para $NS > 0$ o projeto é viável, para $NS = 0$ o projeto está no limite da viabilidade e para $NS < 0$ o projeto é inviável, observa-se que a substituição dos motores seria viável apenas para os motores 3 e 4, que apresentaram um valor de NS positivo. Nos casos dos motores 1, 2 e 5, que apresentam valores de NS negativo, mostram que o retorno gerado pela substituição dos motores não pagaria o investimento ao longo da vida útil desses, tornando assim o projeto inviável.

É interessante destacar também que os resultados levam em conta valores médios, principalmente na questão da venda de energia. Esses valores podem não ser tão fiéis quando observados a longo prazo, como no caso dos motores de 200 CV que possuem um longo tempo de vida útil, tendo em vista a imprevisibilidade do mercado livre de energia. Caso o valor do megawatt hora suba, a viabilidade do projeto aumentaria, do mesmo modo como cairia caso o valor diminua. Vale destacar também que a empresa vem buscando conseguir contratos de venda a longo prazo, para que possa sair do mercado livre mais volátil, além de que geralmente os contratos possuem um preço mais elevado pelo megawatt hora. Analisando o caso da outra unidade da usina nota-se que o valor do megawatt hora salta de aproximadamente R\$ 170,00 para R\$ 350,00, um valor bem expressivo. Caso isso se realize dentro do período de vida útil dos motores estudados, os valores de economia líquida também iriam variar.

4 CONCLUSÕES:

Observa-se que dos 5 motores analisados apenas 2 gerariam algum retorno ao investimento inicial durante sua expectativa de vida, sendo eles os motores 3 e 4. Os outros motores não conseguiriam suprir esse investimento. Observa-se também que, ao analisar a curva de rendimento dos motores IR2 no carregamento apresentado pelos motores atualmente empregados na indústria, não existe uma grande diferença de rendimento em relação a curva dos motores IR3. Esse fator pode ser explicado pelo fato que motores de alta potência já possuem um bom rendimento quando operam acima de 75% de sua potência nominal.

Mesmos nos casos em que se é viável a troca dos motores, nota-se que o retorno não é tão grande, o que talvez desencoraje a empresa a aplicar tal investimento, tendo em vista que a substituição de motores não é uma tarefa simples para a manutenção, e exigiria certo nível de aplicação e projeto envolvendo vários colaboradores.

Do ponto de vista da melhoria industrial, como a substituição dos motores não produziram um retorno muito expressivo, talvez fosse interessante fazer uma análise de como diminuir o consumo dos motores atualmente aplicados observando sua operação. Por exemplo seria interessante melhorar seus métodos de partida, tendo em vista que essa é direta. Também seria possível observar qual a condição de operação ideal entre eles, tendo em vista que não operam juntos durante a maior parte do tempo.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AGÊNCIA Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br>. Acesso em: dez. 2022.

AGUIAR, V. de P. B.; PONTES, R. S. T.; FERREIRA, F. J. T. E. Technical and economic evaluation of efficiency improvement after rewinding in low-power induction motors: a brazilian case. Federal University of Ceará, Fortaleza. In: *Energies*, v. 11, n. 7, p. 1701-18, jul. 2018.

ANDRADE, C. T. de C; PONTES, Ricardo Silva Thé. Economic analysis of Brazilian policies for energy efficient electric motors. Elsevier, [S. l.], p. Pages 315-325, 1 jul. 2017.

CATÁLOGO de Motores Elétricos W22 Super Premium. [S. l.], Disponível em: https://ecatalog.weg.net/tec_cat/tech_motor_sel_web.asp. Acesso em: nov. 2022.

CONCEITOS DE PREÇO. In: CONCEITOS DE PREÇO. [S. l.]. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/web/guest>. Acesso em: nov. 2022.

IEEE POWER ENGINEERING SOCIETY. ELECTRIC MACHINERY COMMITTEE et al. IEEE standard test procedure for polyphase induction motors and generators. New York, N.Y.: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2004.

LIMA, K. C. D. et al. Avaliação Técnico-Econômica da Troca de Motores Industriais pela Análise do Carregamento e Cálculo da Economia Líquida em uma Indústria Salineira. Universidade Federal Rural do Semi-Árido: [s.n.]. In: Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos 8. 2020 Santo André - SP;

MALARDO, João Pedro. Crise energética deve aliviar em 2022, mas espaço para queda em contas é pequeno. CNN BRASIL, [S. l.], p. 1, 31 dez. 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/crise-energetica-deve-aliviar-em-2022-mas-espaco-para-queda-em-contas-e-pequeno/>. Acesso em: 11 nov. 2022.

Ministério de Minas e Energia. Gabinete do Ministro. Portaria Interministerial No - 1, De 29 De Junho De 2017;

NOGUEIRA, Paulo. O preço da energia no mercado livre em 2022 não vai alcançar os valores de 2021 de acordo com especialistas, mas as chuvas de fevereiro e março são fundamentais para isso. Click Petróleo e Gás, [S. l.], p. 1, 20 nov. 2022. Disponível em: <https://clickpetroleogas.com.br/o-preco-da-energia-no-mercado-livre-em-2022-nao-vai-alcancar-os-valores-de-2021-de-acordo-com-especialistas-mas-as-chuvas-de-fevereiro-e-marco-sao-fundamentais-para-isso/>. Acesso em: 20 nov. 2022.

Nossa História. Disponível em:
<<https://site.usinasantaadelia.com.br/institucional/historia/>>. Acesso em: nov. 2022.

PORTARIA IR3 – Novo Padrão de Rendimento dos Motores Elétricos. [s.l: s.n.].
Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h7f/h0e/WEG-novo-padroao-rendimento-motores-eletricos-IR3.pdf>>. Acesso em: nov. 2022.;