

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA  
APLICADA AOS PROCESSOS PRODUTIVOS

Daniel Lisboa Krampe

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM MOTORES  
ELÉTRICOS EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO  
EM  
SANTA MARIA**

Panambi, RS  
2017

**Daniel Lisboa Krampe**

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM MOTORES ELÉTRICOS EM UMA  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO EM  
SANTA MARIA**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos da Universidade Aberta do Brasil e Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos**.

Orientador: Prof. Dr. Geomar Machado Martins

Panambi, RS  
2017

**Daniel Lisboa Krampe**

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM MOTORES ELÉTRICOS EM UMA  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO EM  
SANTA MARIA**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos da Universidade Aberta do Brasil e Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos**.

**Aprovado em 28 de julho de 2017:**

---

**Cristiano Jose Scheuer, Dr. (UFSM)**  
(Co-orientador)

---

**Ademar Michels, Dr. (UFSM)**

---

**Claudio Roberto Losekann, Dr. (UFSM)**

Panambi, RS  
2017

## RESUMO

### ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM MOTORES ELÉTRICOS EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO EM SANTA MARIA

AUTOR: DANIEL LISBOA KRAMPE  
ORIENTADOR: GEOMAR MACHADO MARTINS

A eficiência energética, quando aplicada nos mais diversos equipamentos e processos, permite que seja feita uma racionalização na utilização da energia, visando com isso redução na utilização de recursos, custo operacional e preservação do meio ambiente. O incremento na utilização da energia elétrica, assim como a redução de sua disponibilidade, criou a necessidade da busca por um melhor rendimento dos equipamentos elétricos, de forma a se reduzir o desperdício de energia e melhorar a qualidade do sistema elétrico em geral.

É realizada e apresentada uma análise das condições atuais em motores elétricos utilizados na estação de tratamento de esgoto, situada na Vila Lorenzi, na cidade de Santa Maria – RS. Com base em medidas como tensão, corrente, potência elétrica, fator de potência, rotação e temperatura em cada motor, será então feita uma análise de fator de carregamento e rendimento de operação. Posteriormente, serão aplicados os conceitos de eficiência energética, com o intuito de se proporem alternativas viáveis para redução de custos, mediante estudos econômicos que visam o melhor investimento a ser realizado.

O objetivo do estudo é a elaboração de uma proposta viável, tendo como base a eficiência energética, de redução de consumo e custo de energia elétrica, melhoria do sistema e manutenção das reservas energéticas.

**Palavras-chave:** Eficiência energética. Motores. Esgoto. Carregamento. Rendimento. Consumo.

## **ABSTRACT**

### **ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY IN ELECTRIC MOTORS AT A SEWAGE TREATMENT STATION IN SANTA MARIA**

**AUTHOR: DANIEL LISBOA KRAMPE  
ADVISOR: GEOMAR MACHADO MARTINS**

Energy efficiency, when applied in the most diverse equipment and processes, allows a rationalization in the use of energy, aiming with this reduction in the use of resources, operational cost and preservation of the environment. The increase in the use of electric energy, as well as the reduction of its availability, have created the need to search for a better performance of the electrical equipment, in order to reduce the waste of energy and improve the quality of the electric system in general.

An analysis of current conditions in electric motors used in the sewage treatment plant, located in Vila Lorenzi, in the city of Santa Maria - RS, Brazil, is performed and presented. Based on measurements such as voltage, current, electrical power, power factor, rotation and temperature in each motor, a load factor and operating efficiency analysis will be done. Subsequently, the concepts of energy efficiency will be applied, in order to propose feasible alternatives for cost reduction, through economic studies aimed at the best investment to be made.

The objective of the study is the elaboration of a feasible proposal, based on energy efficiency, reduction of consumption and cost of electricity, improvement of the system and maintenance of energy reserves.

**Keywords:** Energy efficiency. Motors. Sewer. Load. Consumption.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tanque de aeração da Estação de Tratamento de Esgoto de Santa Maria.....	11
Figura 2 - Modelo do processo de tratamento de esgoto de Santa Maria – RS.....	11
Figura 3 - Funcionamento do adensador com ponte raspadora de lodo e material flotado.....	13
Figura 4 - Adensador Biológico .....	13
Figura 5 - Vista da Estação de Tratamento de Esgoto de Santa Maria – RS.....	14
Figura 6 - Fluxograma de sistema de lodo ativado por aeração prolongada .....	15
Figura 7 Princípio de operação de motor de corrente alternada.....	16
Figura 8 - Motor de indução de corrente alternada em vista explodida .....	17
Figura 9 - Tipos de cargas aplicadas a motores.....	18
Figura 10 - Carga com variação quadrática.....	18
Figura 11 - Corrente com carga quadrática .....	19
Figura 12 - Curva com carga constante .....	19
Figura 13 - Corrente estatórica com carga constante .....	20
Figura 14 - Curva com carga variando linearmente .....	20
Figura 15 - Corrente com carga linear.....	21
Figura 16 - Curvas de desempenho de motores elétricos .....	22
Figura 17 - Método dos Dois Wattímetros .....	24
Figura 18 - Multímetro Minipa ET-4080 .....	27
Figura 19 - Quadro de comando.....	27
Figura 20 - Termômetro infravermelho Minipa MT-360.....	28
Figura 21 - Motor do Aerador da Estação de Tratamento de Água de Santa Maria – RS .....	29
Figura 22 - Tacômetro Digital Minipa MDT-2238A .....	30
Figura 23 - Cálculo de fator de carregamento e rendimento de operação.....	32
Figura 24 - Dados médios de motores inseridos no Software Pik-Já.....	34
Figura 25 - Dados de comparação de Motor WEG W22 IR4 Alto Rendimento Super Premium .....	36
Figura 26 - Resultados de comparação de Motor WEG W22 IR4 Alto Rendimento Super Premium .....	37
Figura 27 - Motor WEG W22 IR4 Alto Rendimento Super Premium – Aspectos Econômicos .....	37
Figura 28 - Motor WEG W22 IR4 Alto Rendimento Super Premium – Aspectos Energéticos .....	38
Figura 29 - Dados de comparação de Motor WEG W22 IR3 Alto Rendimento Premium .....	39
Figura 30 - Resultados de comparação de Motor WEG W22 IR3 Alto Rendimento Premium .....	39
Figura 31 - Motor WEG W22 IR3 Alto Rendimento Premium – Aspectos Econômicos.....	40
Figura 32 - Motor WEG W22 IR3 Alto Rendimento Premium – Aspectos Energéticos.....	40
Figura 33 - Dados de comparação de Motor WEG W22 IR2 Alto Rendimento Plus.....	41
Figura 34 - Resultados de comparação de Motor WEG W22 IR2 Alto Rendimento Plus.....	42
Figura 35 - Motor WEG W22 IR2 Alto Rendimento Plus – Aspectos Econômicos.....	42
Figura 36 - Motor WEG W22 IR2 Alto Rendimento Plus – Aspectos Energéticos .....	43

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resultados do estudo de campo .....	31
Quadro 2 - Resultado dos testes de fator de carregamento e rendimento de operação .....	33

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	8
1.1	OBJETIVOS .....	9
1.1.1	Objetivos específicos .....	9
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	10
2.1	INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO.....	10
2.1.1	Tanque de Aeração.....	14
2.1.2	Aeradores .....	16
2.2	PRINCÍPIOS DE MOTORES ELÉTRICOS .....	16
2.2.1	Tipos de cargas aplicadas a motores elétricos .....	18
2.2.2	Tipos de cargas e respostas de corrente elétrica em motores elétricos .....	18
2.3	EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA DE MOTORES ELÉTRICOS.....	21
2.4	ESTUDO DO FATOR DE CARREGAMENTO E RENDIMENTO DE OPERAÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS .....	22
2.5	VIABILIDADE ECONÔMICA .....	24
2.5.1	Payback Descontado .....	24
2.5.2	Valor Presente Líquido .....	25
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	31
4.1	ESTUDO DE ADEQUAÇÃO DE MOTOR .....	33
4.2	ESTUDO DE PROPOSTAS DE SUBSTITUIÇÃO DE MOTORES .....	35
4.2.1	Motor WEG W22 IR4 Alto Rendimento Super Premium .....	36
4.2.2	Motor WEG W22 IR3 Alto Rendimento Premium .....	38
4.2.3	Motor WEG W22 IR2 Alto Rendimento Plus .....	41
4.3	ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA .....	44
4.3.1	Payback Descontado .....	44
4.3.1.1	Payback Descontado Motor WEG W22 IR4 Alto Rendimento Super Premium.....	44
4.3.1.2	Payback Descontado Motor WEG W22 IR3 Alto Rendimento Premium .....	44
4.3.1.3	Payback Descontado Motor WEG W22 IR2 Alto Rendimento Plus.....	45
4.3.2	Valor Presente Líquido .....	46
4.3.2.1	Valor Presente Líquido Motor WEG W22 IR4 Alto Rendimento Super Premium. 46	
4.3.2.2	Valor Presente Líquido Motor WEG W22 IR3 Alto Rendimento Premium .....	46
4.3.2.3	Valor Presente Líquido Motor WEG W22 IR2 Alto Rendimento Plus.....	47
4.4	RESULTADOS.....	47
5	CONCLUSÃO .....	48
	REFERÊNCIAS .....	50



# 1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica brasileira tem sua matriz energética baseada especialmente na produção hidrelétrica, tendo em vista a abundância de rios de grande volume de água, distribuídos ao longo do território nacional. Como as usinas hidrelétricas dependem das chuvas e estas estão escasseando em muitas regiões graças às mudanças climáticas, foram necessárias medidas para o aproveitamento deste recurso.

A eficiência energética foi implantada nos mais variados processos produtivos, de forma a se obter menor consumo de recursos energéticos, efficientização, menor custo e maior produtividade. Ela permite que se façam estudos aplicados a qualquer processo, de maneira a torná-lo mais eficiente, desde a obtenção de matéria-prima, até o produto final.

Motores elétricos são grandes consumidores de energia elétrica na indústria e, por isso, são muito visados nos estudos de eficiência energética. Motores antigos, muitas vezes, são mal dimensionados às cargas que movimentam, gerando perdas de rendimento e aumentos desnecessários de custos energéticos.

Este projeto tem por finalidade o aprofundamento de estudo anterior de eficiência energética aplicada a motores elétricos na estação de tratamento de esgoto da Companhia Riograndense de Saneamento – CORSAN de Santa Maria – RS, desde a viabilidade econômica, até a simulação de efficientização de motores utilizando-se software especializado.

## 1.1 OBJETIVOS

Revisão de estudo com medições de rotação, tensão, corrente, potência elétrica e fator de potência em motores utilizados em aeradores de tratamento de esgoto;

Revisão de medição de temperatura em mancais, rolamentos e corpo de motores elétricos de aeradores;

Estudo de efficientização energética de motores elétricos;

Estudo de viabilidade econômica de aplicação de motores elétricos de alto rendimento em relação a motores convencionais e defasados, utilizados na estação de tratamento;

Realização de simulações com utilização de software.

### 1.1.1 Objetivos específicos

- Revisar estudo de tensão, corrente elétrica, fator de potência, rotação e temperatura de motores;

- Realizar a efficientização energética de motores elétricos;

- Realizar simulações de comparação entre motores convencionais e de alto rendimento;

- Propor soluções eficientes e de menor custo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Por muitos séculos, os dejetos humanos foram assentados em locais próximos disponíveis, como calçadas, ruas, rios, de forma que apenas fossem eliminados do ambiente onde foram produzidos. Não havia qualquer forma de saneamento, a preocupação com a qualidade de vida e o meio ambiente era inexistente. Doenças como a cólera eram comuns, com grande prejuízo às populações afetadas, com muitas mortes. Ainda hoje, mesmo no Brasil, o tratamento de esgoto é bastante escasso, sendo este depositado diretamente em rios em muitos locais. Bactérias presentes na água dos rios decompõe o esgoto, mas como é um processo lento, até que seja concluído, já contaminou o rio por muitos quilômetros, com grande risco de transmissão de doenças.

Como forma de tratamento dos dejetos, foram criados diversos métodos para purificação do esgoto cloacal e, conseqüentemente, redução da poluição ambiental. Atualmente, o melhor método é o da utilização de estações de tratamento de esgoto, que será visto neste estudo. Para o tratamento de esgoto cloacal da cidade de Santa Maria, existe a estação de tratamento da Companhia Riograndense de Saneamento – CORSAN, situada na Vila Lorenzi. O método de tratamento é do tipo lodos ativados, com processo de aeração prolongada, sendo após adicionado cloreto férrico. No sistema de lodos ativados, o esgoto é misturado a lodo rico em bactérias em um tanque. Nesse tanque existem turbinas, chamadas aeradores.

Conforme mostra a figura 1, os aeradores movimentam o lodo, fazendo com que oxigênio seja adicionado ao processo. Na presença de oxigênio, as bactérias, através de processo aeróbio, aceleram o tratamento, alimentando-se dos resíduos orgânicos do esgoto e liberando apenas resíduos minerais e água. Após o tanque de aeração, a água é levada a um decantador, onde lodo rico em bactérias é depositado no fundo para retorno ao processo e os demais resíduos são enviados a um tanque adensador. O lodo rico em bactérias é sugado por sifão hidráulico e é enviado ao início do processo, para ser misturado ao esgoto que entra no sistema, melhorando o rendimento total do processo.

No tanque adensador, os resíduos finais são retirados da água e enviados a tanques de deposição de lodo, onde serão secados e posteriormente enviados a empresas de deposição, que os enterram ou transformam em adubo. Já a água, é enviada ao arroio Cadena, adjacente à estação de tratamento de esgoto.

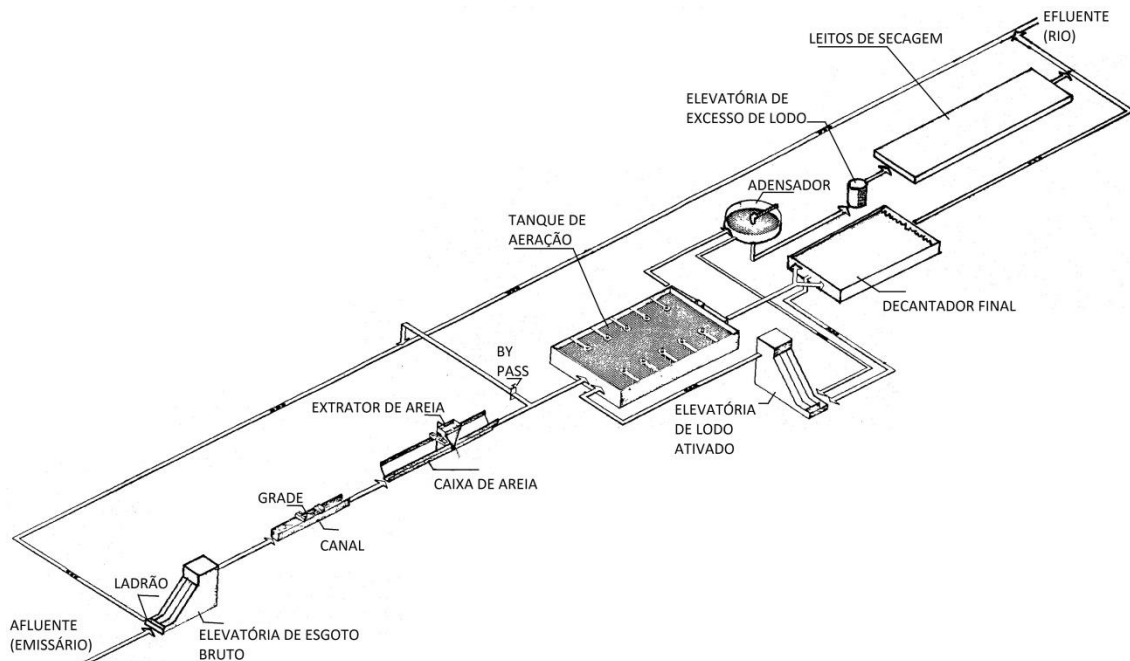
Figura 1 - Tanque de aerção da Estação de Tratamento de Esgoto de Santa Maria



Fonte: Autor (2017).

O rendimento do tratamento por lodos ativados é alto, com pureza da água na ordem de 95% (CLAAS, 2007). A figura 2 mostra o processo de tratamento simplificado feito na estação de Santa Maria.

Figura 2 - Modelo do processo de tratamento de esgoto de Santa Maria – RS



Fonte: Projeto ETESM.

- **Afluente (Emissário):** Chegada do esgoto cloacal bruto coletado na cidade de Santa Maria.
- **Ladrão:** Como a estação de tratamento possui uma vazão máxima de esgoto para tratar por segundo, é necessário um ladrão para o excedente. Em dias de chuva, com o aumento de vazão no emissário, parte do esgoto é repassada diretamente ao rio.
- **Elevatória de Esgoto Bruto:** Estação composta por bombas do tipo parafuso, que elevam o esgoto bruto ao canal.
- **Grade:** Separa do esgoto bruto eventuais resíduos sólidos de grandes dimensões que por ventura sejam carregadas pelo emissário.
- **Caixa e Extrator de Areia:** Separa do esgoto bruto a areia que é carregada em suspensão e que pode prejudicar o processo, entupir encanamentos e desgastar partes móveis, como turbinas e motores.
- **By Pass:** Permite que o esgoto bruto possa ser repassado diretamente ao rio por algum motivo que o impeça de entrar no tanque de aeração.
- **Tanque de Aeração:** Nesse tanque, o esgoto recebe lodo rico em bactérias que decompõem a parte orgânica, purificando a água. O processo é acelerado com a adição de oxigênio em turbinas, caracterizando um sistema aeróbio.
- **Decantador Final:** Após passar pelo tanque de aeração, o esgoto passa ao decantador final, onde os resíduos sólidos decantam pela adição de cloreto férrico. Esses resíduos sólidos caracterizam o lodo ativado, que é sugado por um sistema de sifão instalado em pontes rolantes que se movimentam pelo decantador. O lodo é depositado em um canal para posterior retorno ao tanque de aeração. A água resultante do decantador já é bastante limpa, porém possui resíduos em sua superfície e ainda alguns flocos sólidos.
- **Adensador (Sedimentador) Biológico:** Saindo do decantador final, a água mais limpa passa ao efluente e a que possui ainda resíduo passa ao adensador. Esse possui uma ponte giratória que aglutina o lodo e o envia aos leitos de secagem. A água então é enviada ao efluente. As figuras 3 e 4 mostram respectivamente o modelo tridimensional e um exemplo de um adensador.

Figura 3 - Funcionamento do adensador com ponte raspadora de lodo e material flotado



Fonte: Temes Ambiental.

Figura 4 - Adensador Biológico



Fonte: Bichen Ambiental.

- **Elevatória de Excesso de Lodo:** Faz a intermediação entre o adensador e os leitos de secagem, elevando o lodo caso haja diferença de altura. Em Santa Maria, não é necessária.
- **Leitos de Secagem:** O lodo extraído do adensador é enviado a tanques de pequena profundidade e grande área, para que com a exposição ao sol seja secado e então, por intermédio de escavadeiras e caminhões, enviado à deposição final.
- **Efluente (Rio):** Destino da água após o processo de limpeza e retirada do esgoto da estação de tratamento. Na cidade de Santa Maria, é o Arroio Cadena.

A figura 5 mostra uma vista da Estação de Tratamento de Esgoto de Santa Maria – RS.

Figura 5 - Vista da Estação de Tratamento de Esgoto de Santa Maria – RS



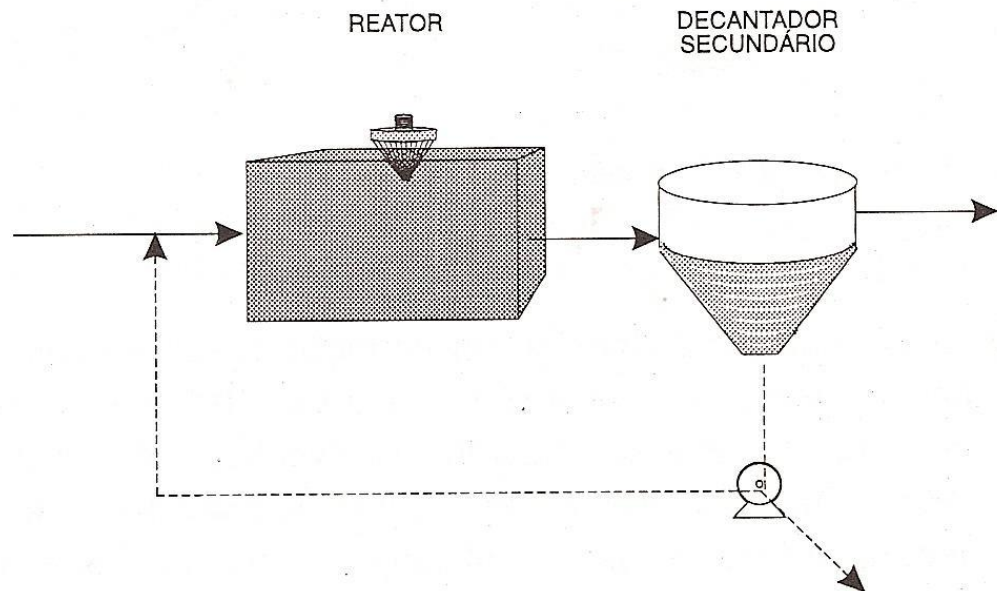
Fonte: Google Earth (2017).

### 2.1.1 Tanque de Aeração

No tanque de aeração, ocorre o tratamento do esgoto cloacal sendo, portanto, o núcleo do processo de limpeza da água. Em seu interior, o lodo ativado é misturado ao esgoto bruto, iniciando o tratamento.

O sistema de lodo ativado utilizado no tanque é o de aeração prolongada, que opera normalmente com eficiências superiores a 90%, podendo chegar a 95% e emprega tempos de retenção superiores a 36 horas (CLAAS, 2007). O lodo biológico utilizado no processo é pouco floculado, porém apresenta característica de decantar-se rapidamente. Uma vantagem desse sistema é a baixa produção de lodo em excesso. O lodo, ao final do processo, apresenta teor de carga orgânica bastante baixo (alto grau de mineralização), reduzindo sua fermentação anaeróbia quando desidratado em leitos de secagem ou disposto no solo. Outra característica deste sistema de lodos ativados é possuir altas taxas de reciclo e uma elevada idade de lodo, de 15 a 40 dias. A figura 6 mostra um fluxograma simplificado do sistema de lodos ativados.

Figura 6 - Fluxograma de sistema de lodo ativado por aeração prolongada



Fonte: Comusa.

No tanque de aeração da estação de tratamento de esgoto de Santa Maria encontram-se 10 aeradores. Esses fornecem oxigênio e mantêm o sistema em movimento para que ocorra uma completa mistura da suspensão efluente/lodo ativo. A agitação e mistura do lodo não permite a deposição do lodo biológico e promove o íntimo contato da matéria orgânica com o floco biológico. A agitação e a aeração são feitas por aeradores superficiais.



### 2.1.2 Aeradores

Cada aerador é acionado por um motor de 75 CV, com o eixo acoplado a um redutor com taxa de redução da ordem de 50:1. Isso reduz a rotação de 1800 RPM do motor para apenas 35,5 RPM nas pás da turbina.

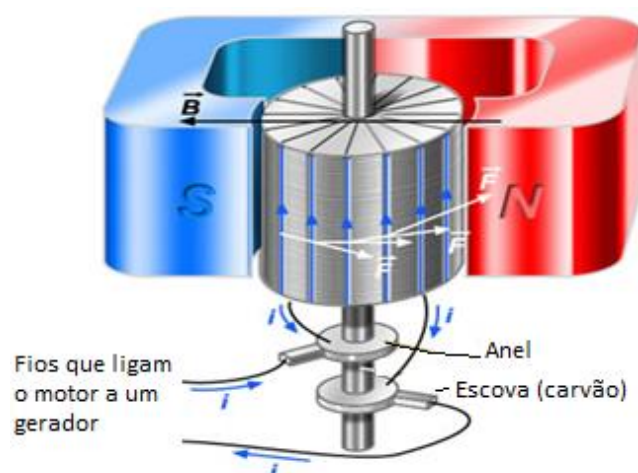
As turbinas operam com profundidade mínima, pouco abaixo da superfície, mas suficiente para movimentar o lodo, oxigenar o sistema e manter as bactérias intimamente ligadas ao substrato orgânico, acelerando e melhorando o rendimento do processo.

## 2.2 PRINCÍPIOS DE MOTORES ELÉTRICOS

O movimento em motores elétricos é obtido da transformação da energia elétrica em energia mecânica. Enrolamentos de cobre transformam a corrente elétrica que por eles circula em magnetismo. Existe duas peças componentes principais no motor: o estator e o rotor. O estator, formado por bobinas fixas, gera um campo magnético. O rotor, ou armadura, é a parte móvel, conectada mecanicamente ao eixo do motor. O rotor pode ser de vários tipos, sendo principalmente do tipo bobinado ou do tipo gaiola, este último o mais simples e utilizado. No rotor, outro campo magnético é gerado e a interação entre os campos magnéticos do estator e do rotor geram o torque ou binário, uma força girante que pode ser aplicada pelo eixo a uma carga.

A figura 7 demonstra o funcionamento básico de um motor de corrente alternada.

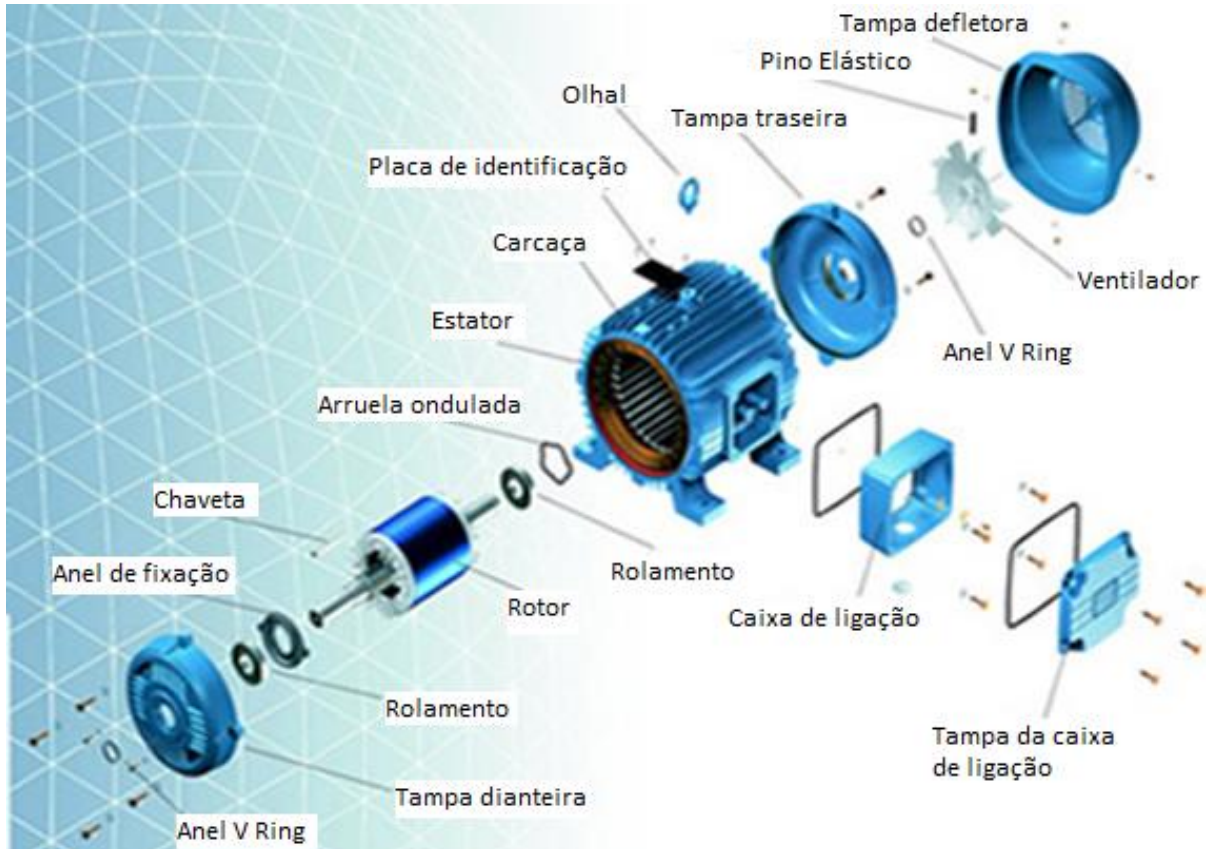
Figura 7 - Princípio de operação de motor de corrente alternada



Fonte: Brasil Escola.

Na figura 8, pode-se ver a construção de um motor de corrente alternada. As partes principais, o estator e o rotor, sendo este último do tipo gaiola, podem ser vistos.

Figura 8 - Motor de indução de corrente alternada em vista explodida



Fonte: DM Motores Elétricos.

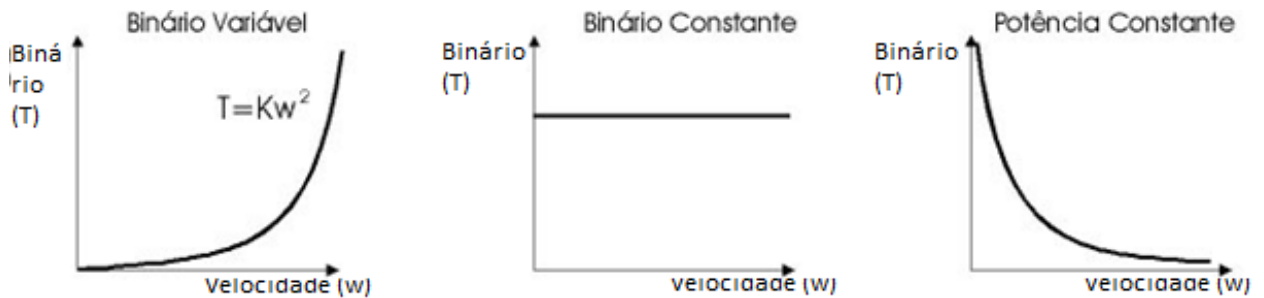
Em um motor de indução com rotor do tipo gaiola, para que haja torque, é necessário que exista uma diferença entre a rotação síncrona, disposta pela rede elétrica no enrolamento do estator, e a rotação do rotor, ligeiramente menor. A essa diferença de velocidade dá-se o nome de escorregamento.

O escorregamento provoca um desalinhamento entre os campos magnéticos gerados no estator e no rotor e estes, na tendência a se realinharem, provocam movimento. Quanto maior o escorregamento, maior o torque. Assim, caso o escorregamento fosse nulo, não haveria torque no eixo do rotor.

### 2.2.1 Tipos de cargas aplicadas a motores elétricos

Existem diferentes tipos de cargas que podem ser aplicadas a um motor. As cargas aplicadas aos motores deste estudo são do tipo quadrático, mostrado como Binário Variável na figura 9, a seguir.

Figura 9 - Tipos de cargas aplicadas a motores



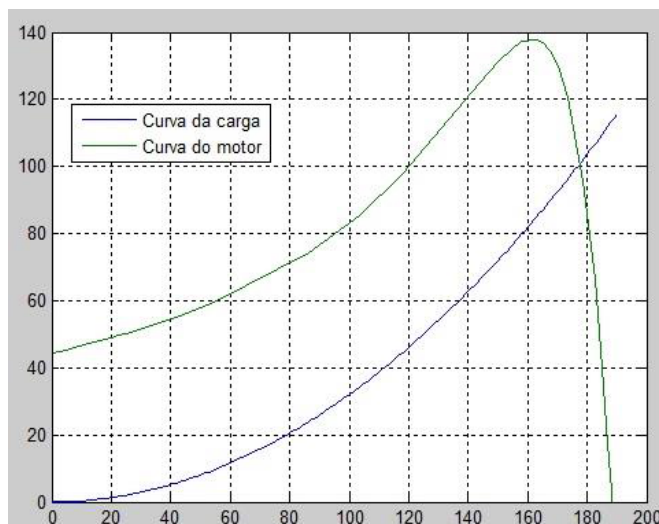
Fonte: Motores de Indução/Edilson Eusébio.

### 2.2.2 Tipos de cargas e respostas de corrente elétrica em motores elétricos

As seguintes figuras 10, 12 e 14 exemplificam os tipos de cargas mecânicas aplicadas a motores elétricos e suas respectivas respostas de corrente elétrica, mostradas nas figuras 11, 13 e 15, simuladas no software Matlab.

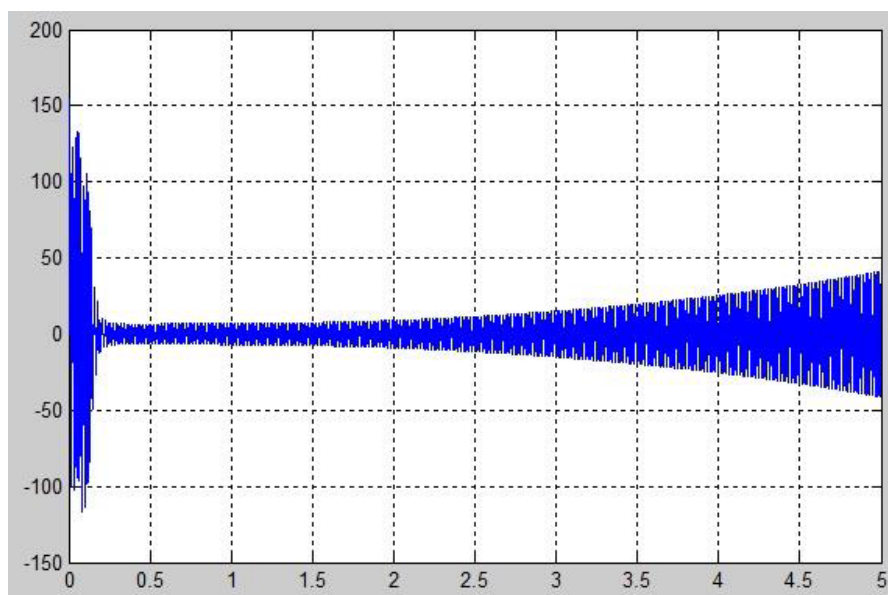
#### - Binário Variável (Carga Quadrática)

Figura 10 - Carga com variação quadrática



Fonte: Autor/Matlab (2017).

Figura 11 - Corrente com carga quadrática

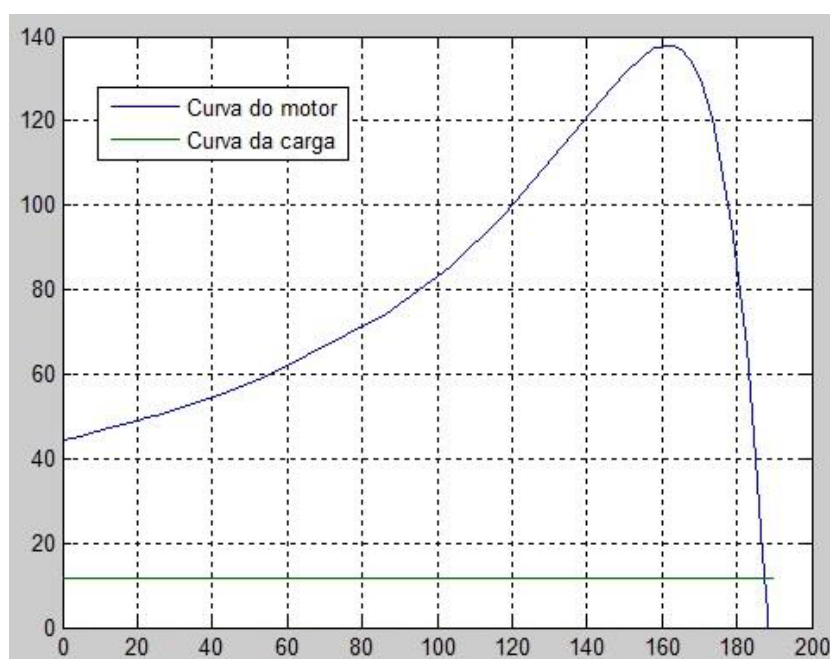


Fonte: Autor/Matlab (2017).

A carga quadrática é a encontrada em sistemas de bombeamento de água, sendo portando a carga aplicada aos motores deste estudo. Outras cargas quadráticas são as de ventiladores e misturadores centrífugos.

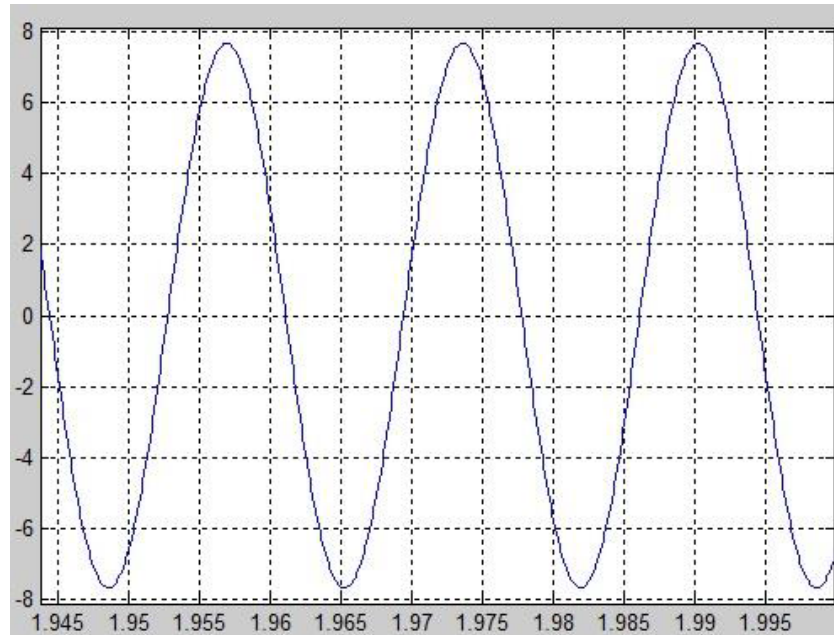
### - Carga Constante

Figura 12 - Curva com carga constante



Fonte: Autor/Matlab

Figura 13 - Corrente estatórica com carga constante

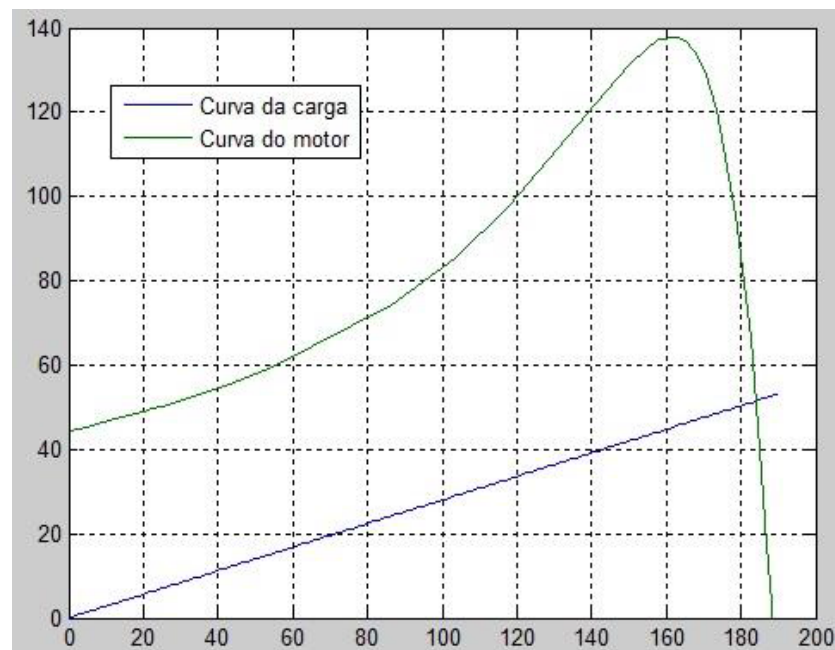


Fonte: Autor/Matlab (2017).

A carga constante pode ser encontrada em compressores a pistão, talhas, guindastes, bombas a pistão, britadores e transportadores contínuos.

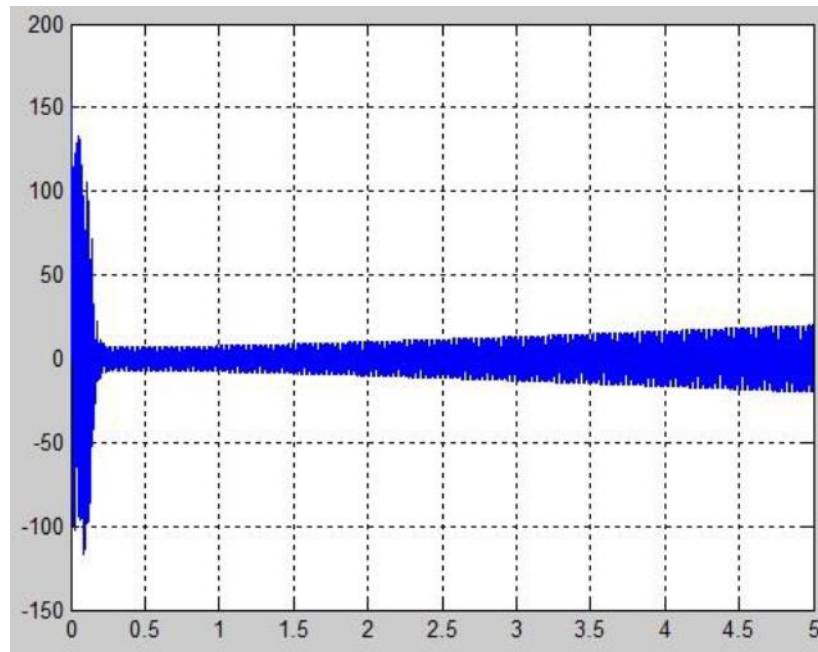
### - Carga Linear

Figura 14 - Curva com carga variando linearmente



Fonte: Autor/Matlab (2017).

Figura 15 - Corrente com carga linear



Fonte: Autor/Matlab (2017).

Como exemplo de carga linear, existe a calandra com atrito viscoso (para calandrar papel).

### 2.3 EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA DE MOTORES ELÉTRICOS

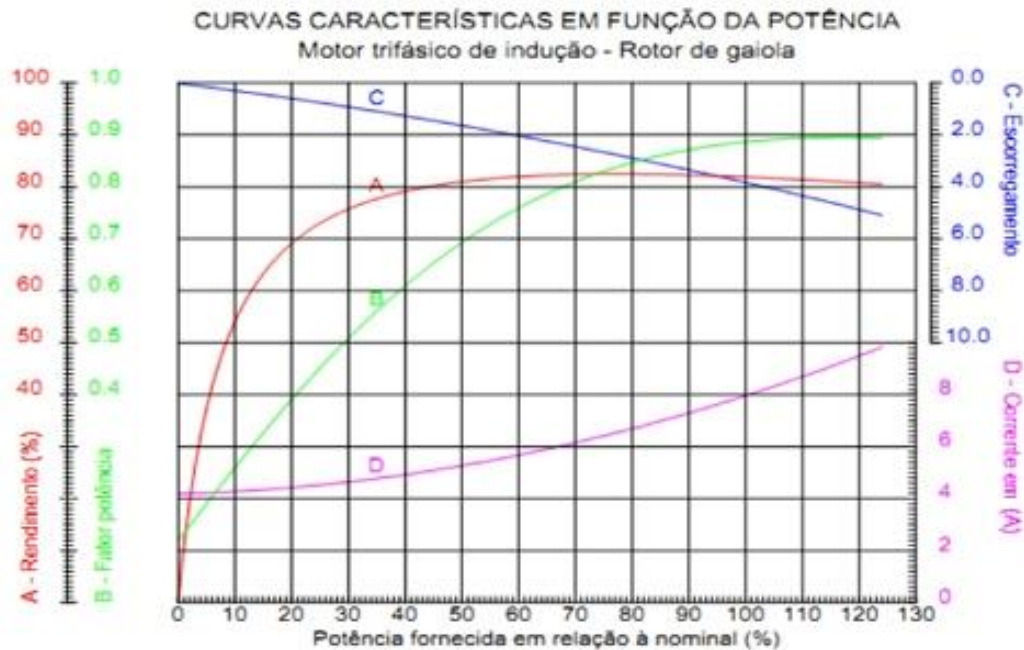
O melhor rendimento de um motor elétrico é obtido quando utilizado com carga nominal, dada na placa. Caso a carga for superior à da placa, a corrente e o aquecimento do motor serão maiores, caracterizando perdas energéticas, por aumento de consumo elétrico e calor gerado pelos enrolamentos do estator.

Caso o motor possua uma carga muito menor à nominal, não será energeticamente eficiente. Haverá baixo fator de potência, pois a energia absorvida da rede elétrica será utilizada principalmente para geração de magnetismo, não trabalho útil.

A eficientização energética de motores elétricos consiste na realização de estudos visando à obtenção da potência demandada pelas cargas e sua comparação com a potência nominal de placa do motor. Caso a potência da carga esteja acima de 75% do valor da potência nominal, não é necessária a troca do motor. Abaixo desse valor, faz-se necessária a substituição de motores e estudos de viabilidade econômica.

A figura 16 mostra as curvas de desempenho de motores elétricos.

Figura 16 - Curvas de desempenho de motores elétricos



Fonte: WEG.

Onde:

A – Rendimento (%);

B – Fator de Potência;

C – Escorregamento;

D – Corrente Elétrica (A).

## 2.4 ESTUDO DO FATOR DE CARREGAMENTO E RENDIMENTO DE OPERAÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS

O fator de carregamento de um motor elétrico consiste na relação entre a potência nominal e a carga aplicada em seu eixo. Quanto menor o carregamento, maior o desperdício de energia, além de baixos fator de potência e rendimento. Para um valor de carregamento abaixo de 75% da potência nominal, o motor estará sobredimensionado, necessitando de redução de sua potência, ou seja, troca de equipamento. O método utilizado para a definição do fator de carregamento é o Método da Linearização.

O Método da Linearização utiliza-se da medição da rotação do motor para extrair o fator de carregamento.

Primeiramente, o conjugado nominal  $M_N$ , em CV/RPM, é obtido pela seguinte expressão:

$$M_N = \frac{P_N}{n_N} \quad (1)$$

Onde  $P_N$  é a potência nominal e  $n_N$  é a rotação nominal. Após, aplica-se (1) em:

$$M_t = M_N \cdot \left( \frac{n_s - n_t}{n_s - n_N} \right) \quad (2)$$

Onde os índices t, N e s são respectivamente, valores de pontos de trabalho, nominais e síncronos.

A potência de trabalho pode ser expressa por:

$$P_t = M_t \cdot n_t \quad (3)$$

Onde  $n_t$  é a rotação medida no eixo do motor.

O Fator de Carregamento ( $F_C$ ) é obtido pela relação entre a potência de trabalho e a potência nominal do motor. Abaixo de 0,75, diz-se que o motor está sobredimensionado. Dependendo da aplicação, é necessário que o motor seja um pouco sobredimensionado, em virtude da inércia da carga na partida. Para uma carga quadrática, caso deste estudo, não é necessário sobredimensionamento.

Por fim, o Fator de Carregamento é obtido pela seguinte expressão:

$$F_C = \frac{P_t}{P_N} \quad (4)$$

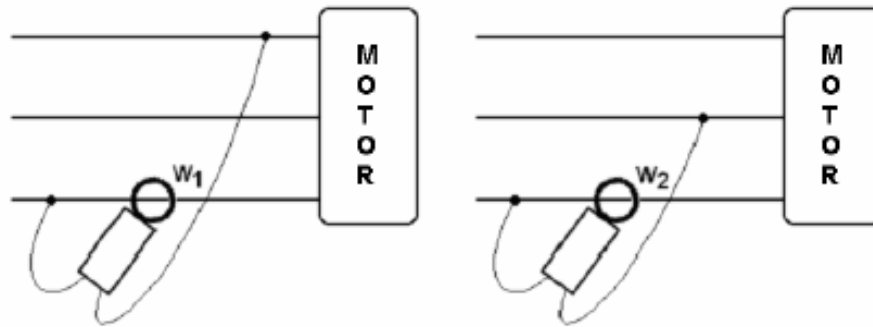
É possível calcular-se o rendimento de operação, dado pela relação entre a potência de trabalho absorvida pelo motor e a potência elétrica por ele absorvida:

$$\eta = \frac{P_t}{P_{el}} \quad (5)$$

A figura 17 mostra o método dos dois wattímetros, útil para o cálculo da potência elétrica absorvida por um motor elétrico trifásico.



Figura 17 - Método dos Dois Wattímetros



Fonte: Conservação de Energia.

Os valores de potência medidos pelo método dos dois wattímetros são então somados, indicando desta forma o valor da potência real absorvida da rede elétrica:

$$P_{el} = W_1 + W_2 \quad (6)$$

## 2.5 VIABILIDADE ECONÔMICA

### 2.5.1 Payback Descontado

O Tempo de Recuperação do Capital (TRC), também chamado de Período de Recuperação do Investimento (PRI) ou Payback (PB), mede o tempo necessário para recuperar o capital investido. O Payback é um método não exato de análise de investimento, mas é muito usado por permitir uma avaliação do risco através do tempo necessário para recuperar o capital investido (WEISE, 2014).

Para o cálculo do payback simples, é descontada do investimento inicial a recuperação do capital com a melhoria do sistema propiciada pelas substituições propostas, sem levar em conta a taxa de juros. Por outro lado, mediante o cálculo do Payback Descontado, que leva em conta a taxa de juros do investidor, se obtém um panorama mais realista do investimento. A equação a seguir demonstra o Payback Descontado:

$$PBD_1 = \frac{\text{Economia Anual}}{(1+i)^n} \leq \text{Investimento} \quad (7)$$

Onde:

$i$  = Taxa mínima de atratividade;

$n$  = Iteração de tempo de retorno de investimento.

### 2.5.2 Valor Presente Líquido

O Valor Presente Líquido (VPL) de um fluxo de caixa é obtido pela soma de todos os valores do fluxo de caixa, trazidos para a data presente. Ou seja, descontam-se os valores futuros para a data presente e somam-se estes valores descontados com o valor que o fluxo de caixa apresenta na data inicial. Como taxa de desconto, utiliza-se a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) do investidor (WEISE, 2014).

$$VPL = P + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} \quad (8)$$

Quando  $VPL > 0$ , o investimento é economicamente viável. Assim, quanto maior for o VPL, mais interessante é o investimento. Seguindo esse fato, poderá ser determinado o melhor motor a ser investido na eficientização energética da Estação de Tratamento de Esgoto de Santa Maria – RS.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram feitas diversas medições em cada um dos motores elétricos da estação de tratamento de esgoto de Santa Maria. Dados como tensão, corrente, potência elétrica, fator de potência, temperatura e rotação foram extraídos. Os instrumentos utilizados foram os seguintes:

- Multímetro, modelo Minipa ET-4080;
- Termômetro infravermelho, modelo Minipa MT-360;
- Tacômetro Digital, modelo Minipa MDT-2238A.

Na estação, encontram-se 10 motores elétricos nos aeradores de tratamento aeróbico. São todos do mesmo modelo, sendo os dados de placa mostrados a seguir:

#### DADOS DE PLACA:

- TIPO: MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO
- MARCA: BÚFALO
- T: 80 °C
- RPM: 1770
- V: 380 V
- I: 117 A
- P: 75 CV
- PÓLOS: 4
- CLASSE DE ISOLAMENTO: B

Com auxílio do multímetro, mostrado na figura 18, foram extraídos valores de tensão, corrente, potência elétrica e fator de potência em cada um dos 10 motores. Cada motor possui um quadro de comando próprio, como mostrado na figura 19, com medidas de corrente elétrica e tempo de operação, e seu método de partida é o de partida direta, não recomendado para potências superiores a 7,5 CV.

Figura 18 - Multímetro Minipa ET-4080



Fonte: Autor (2017).

Figura 19 - Quadro de comando



Fonte: Autor (2017).

Feitas as medições em cada um dos quadros de comando, passou-se à medição das temperaturas dos motores, utilizando-se do método de medição multiponto. Os pontos medidos foram os que geralmente são mais afetados pelo aquecimento na operação, como rolamentos, mancais, bobinas do estator e caixa de ligação. Cada medida foi obtida ao redor de cada ponto do motor, utilizando-se de termômetro a laser, para maior precisão, conforme pode ser visto na figura 20. A maior temperatura medida por motor foi anotada, em dia de temperatura ambiente de 24 °C e pouco vento, visando-se melhores condições para a obtenção dos dados. Na figura 21, pode-se ver um dos motores da estação de tratamento de esgoto.

Figura 20 - Termômetro infravermelho Minipa MT-360



Fonte: Autor (2017).

Figura 21 - Motor do Aerador da Estação de Tratamento de Esgoto de Santa Maria – RS



Fonte: Autor (2017).

A última medição realizada foi a da rotação de motores. O instrumento utilizado foi o tacômetro, mostrado na figura 22. Como não havia acesso fácil ao eixo, pelo orifício da tampa de ventilação ser reduzido, não havia forma de se fazer uma medição com o eixo do instrumento. Desta forma, foi feita uma marcação no eixo de cada máquina e então foi utilizada a leitura à distância, mediante uso de laser, outra opção do tacômetro.

Figura 22 - Tacômetro Digital Minipa MDT-2238A



Fonte: Autor (2017).

Com o término das medições em campo, procede-se a avaliação do fator de carregamento, para a verificação da necessidade ou não de troca dos motores utilizados atualmente. As medidas realizadas são analisadas pelo software Pik-Já e, caso necessário, é feita a análise de viabilidade econômica em relação à troca dos motores convencionais utilizados atualmente por motores de alto rendimento.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo de campo permitiu a obtenção dos valores mostrados a seguir, no quadro 1:

Quadro 1 - Resultados do estudo de campo

Parâmetros	V <sub>AB</sub>	V <sub>BC</sub>	V <sub>CA</sub>	I <sub>A</sub>	I <sub>B</sub>	I <sub>C</sub>	P <sub>AC</sub>	P <sub>BC</sub>	FP*	RPM	T <sub>máx</sub>
Motor 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Motor 2	392,6	392,5	394,2	65	62,3	62,2	25,49	11,4	0,85	1787	40
Motor 3	389,3	388,7	390,2	65,1	62	62,1	25,36	11,58	0,857	1788	40,5
Motor 4	388,4	387,9	389,6	57,8	54,5	54,1	22,05	9,14	0,839	1787	44
Motor 5	394,9	394,7	396	57,6	54,2	54,5	22,51	9,17	0,827	1788	40,5
Motor 6	389	388,3	389,9	55,2	51,5	52,4	21,42	8,59	0,834	1788	39,5
Motor 7	394,3	392,7	395,6	60	57	56,1	23,5	9,88	0,84	1787	38
Motor 8	388,4	387,9	389,4	61,9	58,6	59,3	24,06	10,67	0,847	1788	36
Motor 9	388,5	387,3	389,2	70,3	65,5	66,6	27,44	12,88	0,863	1784	35,5
Motor 10	394,2	394,8	395,8	66,5	64,1	63,1	25,9	11,88	0,86	1787	38,5

\*FP = Fator de Potência.

Como são medições repetitivas e com objetivo em comum, é preferível a utilização de software para cálculo dos parâmetros de Fator de Carregamento e Rendimento de Operação. Dessa forma, optou-se pela utilização de uma planilha em Excel, com as equações devidamente ajustadas para cálculo automático de parâmetros.

A planilha feita em Excel pode ser vista na figura 23, a seguir:



Figura 23 - Cálculo de fator de carregamento e rendimento de operação

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
MOTOR	VAB	VBC	VCA	IA	IB	IC	P13	P23	Fator Pot.	RPM	Tmax	Conj. Nom.		Vmed	Imed	P	Fator Pot.	RPM	Tmax	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,042372881		0	0	0	0	0	0	
2	392,6	392,5	394,2	65	62,3	62,2	25,49	11,4	0,85	1787	40	0,042372881		393,1	63,16667	36,89	0,85	1787	40	
3	389,3	388,7	390,2	65,1	62	62,1	25,36	11,58	0,857	1788	40,5	0,042372881		389,4	63,06667	36,94	0,857	1788	40,5	
4	388,4	387,9	389,6	57,8	54,5	54,1	22,05	9,14	0,839	1787	44	0,042372881		388,6333333	55,46667	31,19	0,839	1787	44	
5	394,9	394,7	396	57,6	54,2	54,5	22,51	9,17	0,827	1788	40,5	0,042372881		395,2	55,43333	31,68	0,827	1788	40,5	
6	389	388,3	389,9	55,2	51,5	52,4	21,42	8,59	0,834	1788	39,5	0,042372881		389,0666667	53,03333	30,01	0,834	1788	39,5	
7	394,3	392,7	395,6	60	57	56,1	23,5	9,88	0,84	1787	38	0,042372881		394,2	57,7	33,38	0,84	1787	38	
8	388,4	387,9	389,4	61,9	58,6	59,3	24,06	10,67	0,847	1788	36	0,042372881		388,5666667	59,93333	34,73	0,847	1788	36	
9	388,5	387,3	389,2	70,3	65,5	66,6	27,44	12,88	0,863	1784	35,5	0,042372881		388,3333333	67,46667	40,32	0,863	1784	35,5	
10	394,2	394,8	395,8	66,5	64,1	63,1	25,9	11,88	0,86	1787	38,5	0,042372881		394,9333333	64,56667	37,78	0,86	1787	38,5	
11	3519,6	3514,8	3529,9	559,4	529,7	530,4														
12	<b>Dados</b>																			
13	PIACA																			
14	Marca:	Búfalo																		
15	T:	80	°C																	
16	RPM:	1770	RPM																	
17	V:	380	V																	
18	I:	117	A																	
19	P:	75	CV																	
20	Pólos:	4	Pólos																	
21	Rend. Nom.:	89	%																	
22	Class. Isol.	B																		
23																				
24																				
25																				
26																				
27																				
28																				
29																				
30																				

MOTOR	Conj. Trab.	Pot. Trab.	Fator Carr.	FC %	Rend. Op.	Elev. Temp.	Final Class.	Isol.	P (CV)
1	2,542372881	0	0	0	0	0	80	0	0
2	0,018361582	32,8121469	0,437495292	43,75	59,4423	23,31815489	80	50,122	50,122
3	0,016949153	30,3050847	0,404067797	40,41	54,9005	23,24438276	80	50,19	50,19
4	0,018361582	32,8121469	0,437495292	43,75	59,4423	17,97969822	80	42,378	42,378
5	0,016949153	30,3050847	0,404067797	40,41	54,9005	17,9580945	80	43,043	43,043
6	0,016949153	30,3050847	0,404067797	40,41	54,9005	16,4367562	80	40,774	40,774
7	0,018361582	32,8121469	0,437495292	43,75	59,4423	19,45673168	80	45,353	45,353
8	0,016949153	30,3050847	0,404067797	40,41	54,9005	20,99206338	80	47,188	47,188
9	0,02259887	40,3163842	0,537551789	53,76	73,0369	26,60092694	80	54,783	54,783
10	0,018361582	32,8121469	0,437495292	43,75	59,4423	24,36323731	80	51,332	51,332
<b>Médias</b>									<b>47,24</b>
									<b>21,1500051</b>
									<b>58,934</b>
									<b>43,4</b>
									<b>0,43376</b>
									<b>32,532</b>

Fonte: Autor/Excel (2017).

A planilha Excel retornou os seguintes valores, mostrados no quadro 2:

Quadro 2 - Resultado dos testes de fator de carregamento e rendimento de operação

<b>Motor</b>	<b>V<sub>med</sub></b>	<b>I<sub>med</sub></b>	<b>P (kW)</b>	<b>P (CV)</b>	<b>FP*</b>	<b>FC**</b>	<b>Rendimento de Operação</b>
<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>2</b>	393,1	63,166	36,89	50,122	0,85	43,75	59,4423
<b>3</b>	389,4	63,066	36,94	50,19	0,857	40,41	54,9005
<b>4</b>	388,63	55,466	31,19	42,378	0,839	43,75	59,4423
<b>5</b>	395,2	55,43	31,68	43,043	0,827	40,41	54,9005
<b>6</b>	389,066	53,033	30,01	40,774	0,834	40,41	54,9005
<b>7</b>	394,2	57,7	33,38	45,353	0,84	43,75	59,4423
<b>8</b>	388,56	59,93	34,73	47,188	0,847	40,41	54,9005
<b>9</b>	388,33	67,46	40,32	54,783	0,863	53,76	73,0369
<b>10</b>	394,93	64,56	37,78	51,332	0,86	43,75	59,4423
<b>Médias</b>	<b>391,27</b>	<b>59,98</b>	<b>34,768</b>	<b>47,24</b>	<b>0,8463</b>	<b>43,4</b>	<b>58,934</b>

\*FP = Fator de potência

\*\*FC = Fator de carregamento

Os valores do quadro acima servirão como base para o estudo de adequação de motor e viabilidade econômica de efficientização energética.

#### 4.1 ESTUDO DE ADEQUAÇÃO DE MOTOR

A adequação do motor se dá tendo em vista que um motor bem dimensionado tem sua carga entre 75% e 100% da potência nominal. Conforme pode ser visto nos resultados dos testes de campo, os motores, possuindo 75 CV, trabalham com uma carga de menos de 50 CV em seu eixo. O único motor com carga acima de 50 CV é um motor que está com problemas em seus rolamentos, ou seja, a potência extra em relação aos demais é utilizada apenas para vencer seu atrito interno.

De forma a realizar o estudo de adequação do motor, os dados de campo foram então adicionados ao software mexicano Pik-Já. Esse software permite que se faça a simulação de adequação de motor, a proposta de novo motor e o estudo de viabilidade, de maneira simples e objetiva.

Como um dos motores estava fora de operação, optou-se pelo valor médio dos parâmetros dos demais no lugar deste. No Pik-Já, foi aberto um arquivo e inserido o valor médio dos motores e, de forma a se adequar o sistema, foi escolhido um motor substituto de alto rendimento, de 50 CV.

A figura 24, a seguir, mostra que o sistema proposto é conveniente:

Figura 24 - Dados médios de motores inseridos no Software Pik-Já

ESTACIÓN DE TRATAMIENTO DE ESGOTO - Motor 1

**CONUEE**  
Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía

**Evaluador de medios sistemas de**

Sustitución Motor-Bomba   Sustitución de Motor   Sustitución de Bomba   Cor

**Entradas**

Placa del Motor

Potencia (HP) :    Núm. de Polos :    Tensión Nominal (Volts):

Eficiencia Nominal (%):    Tipo :

**Mediciones del Motor**

Vab (Volts):    Ia (Amperes):    FP (%):

Vbc (Volts):    Ib (Amperes):

Vca (Volts):    Ic (Amperes):

Fonte: Autor/Pik-Já (2017).

No Pik-Já, são utilizados os dados medidos em campo. Coloca-se os parâmetros do motor atual, rendimento nominal, tensão, corrente elétrica, fator de potência, anos de serviço, quantidade de rebobinagens, horas mensais de operação e custo de energia.

Os anos de serviço vão desde a instalação da estação de tratamento de esgoto, de 1982. As horas mensais de operação são obtidas mediante cálculo que leva em conta que cada motor opera todos os dias do mês, por 21 horas. A parada de 3 horas se dá em conta de redução de custos, pois no horário de ponta a tarifa aumenta. Assim, cada motor opera 630 horas ao mês.

Propondo-se diferentes potências de motores a serem utilizados em substituição aos atuais, o programa mostra sua viabilidade operacional, levando-se em conta o tipo de carga e a potência necessária. Conforme o Pik-Já, a menor potência de motor a ser utilizado em

substituição é 50 CV, um valor muito abaixo do atualmente utilizado, com um rendimento de operação acima de 80%.

A posse desse estudo permitirá maior aprofundamento no estudo de efficientização energética, passando-se então ao estudo de viabilidade econômica.

#### 4.2 ESTUDO DE PROPOSTAS DE SUBSTITUIÇÃO DE MOTORES

Para o estudo de substituição de motores, foram coletados diversos dados, a serem adicionados no software Pik-Já e que são necessários para os diversos cálculos a serem realizados.

- Os dados coletados são os seguintes:
- Anos de serviço: 35 anos;
- Eficiência nominal: 89%;
- Horas mensais de operação: 630 horas;
- Custo de Energia RGESul, classe Saneamento: 0,38 R\$/kWh;
- Preços de diferentes motores de alto rendimento, assim como respectivos rendimentos.

Foram incluídos no estudo 3 motores de alto rendimento, marca WEG, a serem utilizados em substituição aos motores convencionais atuais. Seus valores de venda a varejo foram obtidos na empresa Eletrocom Materiais Elétricos, revenda autorizada de Ijuí, RS. Seus dados são listados a seguir:

**Motor 1:** WEG W22 IR4 Alto Rendimento Super Premium

Preço: R\$ 12.770,00

Rendimento: 95,4%

**Motor 2:** WEG W22 IR3 Alto Rendimento Premium

Preço: R\$ 11.405,00

Rendimento: 94,6%

**Motor 3:** WEG W22 IR2 Alto Rendimento Plus

Preço: R\$ 9.665,00

Rendimento: 93,6%

De posse dos dados necessários, procede-se com o estudo de viabilidade econômica com auxílio do software Pik-Já.

#### 4.2.1 Motor WEG W22 IR4 Alto Rendimiento Super Premium

Inicialmente, colocam-se os dados do estudo de campo em cada motor no software. Posteriormente, os dados do motor substituto são adicionados e então o Pik-Já calcula a faturação elétrica, a economia mensal, o carregamento, o consumo de energia atual e do motor proposto, a economia e o tempo de retorno de investimento (payback). A seguir, na figura 25, os dados médios inseridos em relação ao motor Super Premium e seus resultados, vistos na figura 26:

Figura 25 - Dados de comparação de Motor WEG W22 IR4 Alto Rendimiento Super Premium

ESTACIÓN DE TRATAMIENTO DE ESGOTO - Motor 1

**CONUEE**  
Comisión Nacional para el  
Uso Eficiente de la Energía

**Evaluador de medidas de ahorro de energía en  
sistemas de bombeo de agua potable**

NOM-006-ENER

Sustitución Motor-Bomba   Sustitución de Motor   Sustitución de Bomba   Compensación del F.P.   Instalación de V.V.

**Entradas**

**Placa del Motor**

Potencia (HP):    Núm. de Polos:    Tensión Nominal (Volts):

Eficiencia Nominal (%):    Tipo:

**Datos Operación y Mantto.**

Antigüedad (Años):    Núm. de Rebobinados:

Operación (h/Mes):    Costo Integ. Energ. (\$/kWh):

**Mediciones del Motor**

Vab (Volts):    Ia (Amperes):    FP (%):

Vbc (Volts):    Ib (Amperes):

Vca (Volts):    Ic (Amperes):

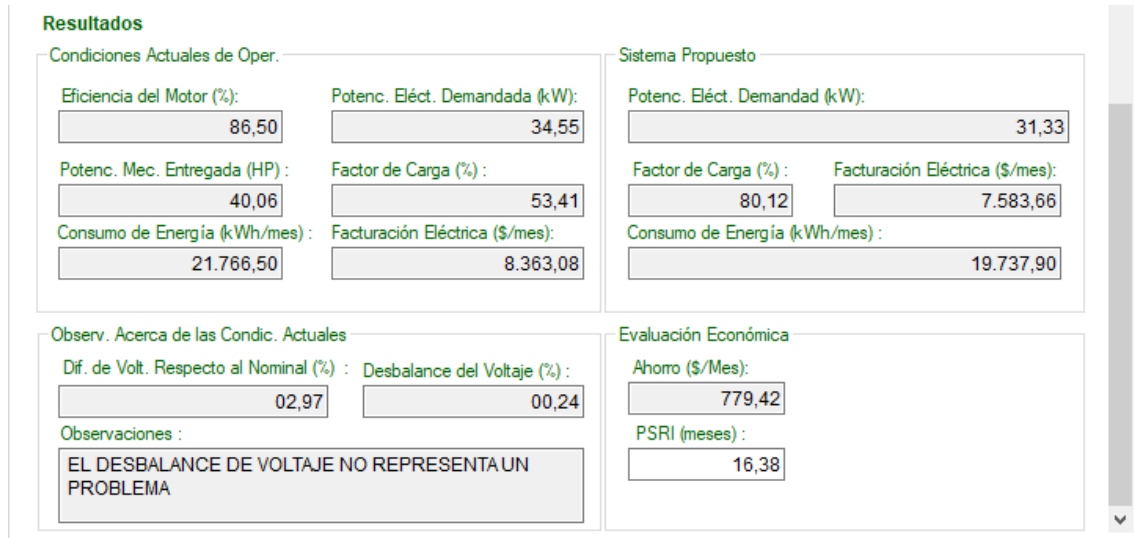
**Datos de Placa de Motor Propuesto**

Poten. Nominal (HP):    Tensión Nominal (Volts):

Eficiencia (%):    Inversión (\$):

Fonte: Autor/Pik-Já (2017).

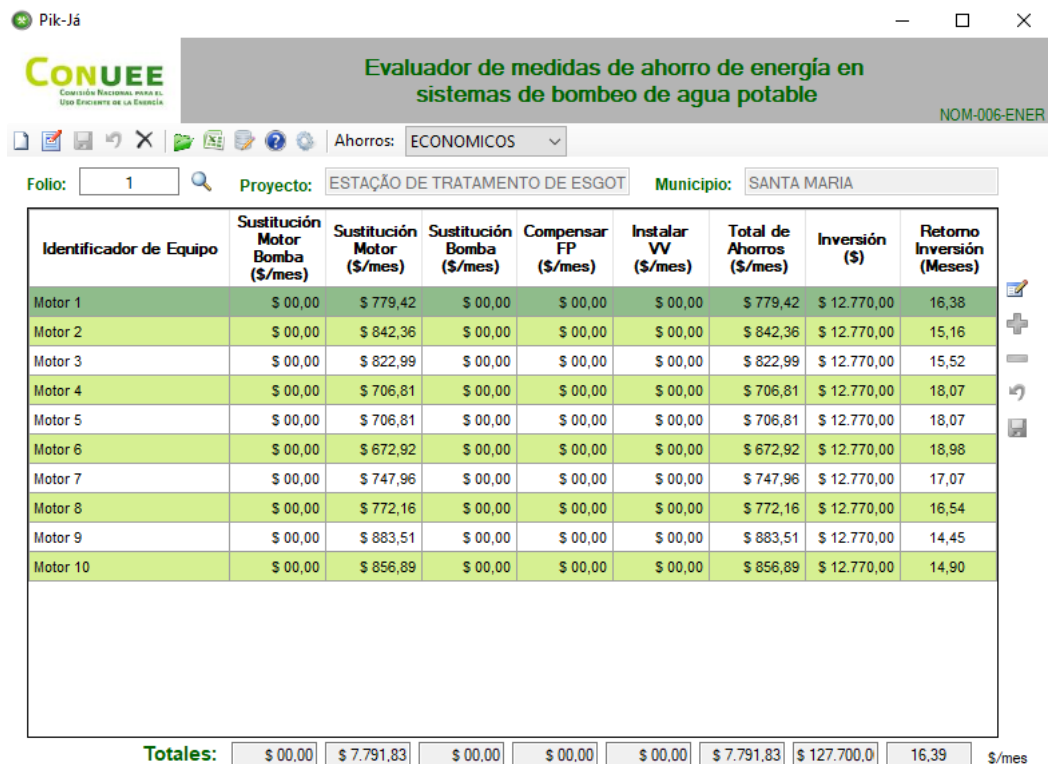
Figura 26 - Resultados de comparação de Motor WEG W22 IR4 Alto Rendimiento Super Premium



Fonte: Autor/Pik-Já (2017).

O tempo de retorno é de apenas pouco mais de 16 meses, o que indica um bom investimento. As figuras 27 e 28 mostram, respectivamente, os resultados nos aspectos econômicos e energéticos:

Figura 27 - Motor WEG W22 IR4 Alto Rendimiento Super Premium – Aspectos Econômicos



Fonte: Autor/Pik-Já (2017).

Figura 28 - Motor WEG W22 IR4 Alto Rendimiento Super Premium – Aspectos Energéticos

Identificador de Equipo	Sustitución Motor Bomba (kWh/mes)	Sustitución Motor (kWh/mes)	Sustitución Bomba (kWh/mes)	Compensar FP (kWh/mes)	Instalar VV (kWh/mes)	Total de Ahorros (kWh/mes)
Motor 1	00,00	2.028,60	00,00	00,00	00,00	2.028,60
Motor 2	00,00	2.192,40	00,00	00,00	00,00	2.192,40
Motor 3	00,00	2.142,00	00,00	00,00	00,00	2.142,00
Motor 4	00,00	1.839,60	00,00	00,00	00,00	1.839,60
Motor 5	00,00	1.839,60	00,00	00,00	00,00	1.839,60
Motor 6	00,00	1.751,40	00,00	00,00	00,00	1.751,40
Motor 7	00,00	1.946,70	00,00	00,00	00,00	1.946,70
Motor 8	00,00	2.009,70	00,00	00,00	00,00	2.009,70
Motor 9	00,00	2.299,50	00,00	00,00	00,00	2.299,50
Motor 10	00,00	2.230,20	00,00	00,00	00,00	2.230,20
<b>Totales:</b>	00,00	20.279,70	00,00	00,00	00,00	20.279,70 kWh/mes

Fonte: Autor/Pik-Já (2017).

Conforme extraído nas simulações, o motor WEG W22 IR4 Alto Rendimiento Super Premium, quando utilizado em substituição aos atuais, retorna, para os 10 motores da instalação:

- Investimento inicial: R\$ 127.700,00;
- Economia de custos mensal: 7.791,83 R\$/mês;
- Tempo de retorno de investimento: 16,39 meses;
- Economia energética mensal: 20.279,70 kWh/mês.

Serão feitas também simulações com outros motores e, a seguir, um estudo para determinação do melhor investimento.

#### 4.2.2 Motor WEG W22 IR3 Alto Rendimiento Premium

Assim como no primeiro caso, os dados do motor WEG W22 IR3 Alto Rendimiento Premium foram adicionados ao Pik-Já, conforme mostram as figuras 29, 30, 31 e 32, a seguir:

Figura 29 - Datos de comparación de Motor WEG W22 IR3 Alto Rendimiento Premium

ESTACIÓN DE TRATAMIENTO DE ESGOTO - Motor 1

**CONUEE**  
Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía

**Evaluador de medidas de ahorro de energía en sistemas de bombeo de agua potable**

NOM-006-ENER

Sustitución Motor-Bomba | Sustitución de Motor | Sustitución de Bomba | Compensación del F.P. | Instalación de V.V.

**Entradas**

**Placa del Motor**

Potencia (HP): 75  
 Núm. de Polos: 04,00  
 Tensión Nominal (Volts): 380,00  
 Eficiencia Nominal (%): 89,00  
 Tipo: Cerrado

**Datos Operación y Mantto.**

Antigüedad (Años): 35,00  
 Núm. de Rebobinados: 01,00  
 Operación (h/Mes): 630,00  
 Costo Integ. Energ. (\$/kWh): 00,38

**Mediciones del Motor**

Vab (Volts): 391,07  
 Vbc (Volts): 390,53  
 Vca (Volts): 392,21  
 Ia (Amperes): 62,16  
 Ib (Amperes): 58,86  
 Ic (Amperes): 58,93  
 FP (%): 85,00

**Datos de Placa de Motor Propuesto**

Poten. Nominal (HP): 50,00  
 Tensión Nominal (Volts): 380,00  
 Eficiencia (%): 94,60  
 Inversión (\$): 11.405,00

Fonte: Autor/Pik-Já (2017).

Figura 30 - Resultados de comparación de Motor WEG W22 IR3 Alto Rendimiento Premium

**Resultados**

**Condiciones Actuales de Oper.**

Eficiencia del Motor (%): 86,50  
 Potenc. Eléct. Demandada (kW): 34,55  
 Potenc. Mec. Entregada (HP): 40,06  
 Factor de Carga (%): 53,41  
 Consumo de Energía (kWh/mes): 21.766,50  
 Facturación Eléctrica (\$/mes): 8.271,27

**Sistema Propuesto**

Potenc. Eléct. Demandada (kW): 31,59  
 Factor de Carga (%): 80,12  
 Facturación Eléctrica (\$/mes): 7.562,65  
 Consumo de Energía (kWh/mes): 19.901,70

**Observ. Acerca de las Condic. Actuales**

Dif. de Volt. Respecto al Nominal (%): 02,97  
 Desbalance del Voltaje (%): 00,24  
 Observaciones: EL DESBALANCE DE VOLTAJE NO REPRESENTA UN PROBLEMA

**Evaluación Económica**

Ahoro (\$/Mes): 708,62  
 PSRI (meses): 16,09

Fonte: Autor/Pik-Já (2017).



Figura 31 - Motor WEG W22 IR3 Alto Rendimiento Premium – Aspectos Económicos



Fonte: Autor/Pik-Já (2017).

Figura 32 - Motor WEG W22 IR3 Alto Rendimiento Premium – Aspectos Energéticos



Fonte: Autor/Pik-Já (2017).

Os resultados da simulação do motor WEG W22 IR3 Alto Rendimento Premium, para substituição dos 10 motores da instalação, foram os seguintes:

- Investimento inicial: R\$ 114.050,00;
- Economia de custos mensal: 7.055,11 R\$/mês;
- Tempo de retorno de investimento: 16,17 meses;
- Economia energética mensal: 18.566,10 kWh/mês.

#### 4.2.3 Motor WEG W22 IR2 Alto Rendimento Plus

Da mesma forma que os anteriores, o motor WEG W22 IR2 Alto Rendimento Plus também teve seus dados comparados aos dos motores convencionais, mediante uso do software Pik-Já. As figuras 33, 34, 35 e 36, a seguir, mostram as simulações:

Figura 33 - Dados de comparação de Motor WEG W22 IR2 Alto Rendimento Plus

ESTAÇÃO DE TRATAMIENTO DE ESGOTO - Motor 1

**CONUEE**  
COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA

**Evaluador de medidas de ahorro de energía en sistemas de bombeo de agua potable**

NOM-006-ENER

Sustitución Motor-Bomba | Sustitución de Motor | Sustitución de Bomba | Compensación del F.P. | Instalación de V.V.

**Entradas**

**Placa del Motor**

Potencia (HP):   Tensión Nominal (Volts):

Núm. de Polos:  Eficiencia Nominal (%):  Tipo:

**Datos Operación y Mantto.**

Antigüedad (Años):  Núm. de Rebobinados:

Operación (h/Mes):  Costo Integ. Energ. (\$/kWh):

**Mediciones del Motor**

Vab (Volts):  Ia (Amperes):  FP (%):

Vbc (Volts):  Ib (Amperes):

Vca (Volts):  Ic (Amperes):

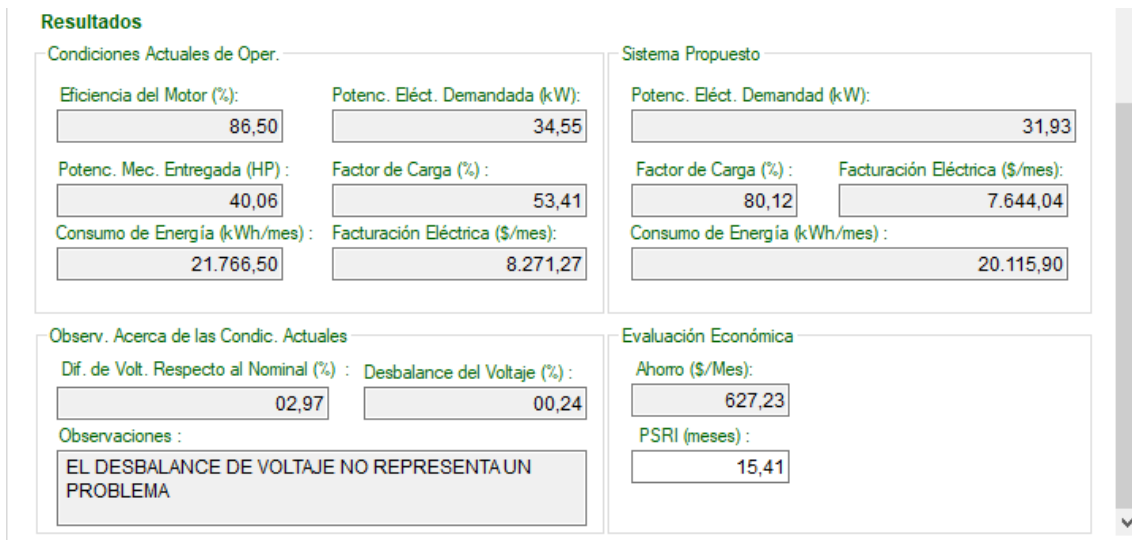
**Datos de Placa de Motor Propuesto**

Poten. Nominal (HP):  Tensión Nominal (Volts):

Eficiencia (%):  Inversión (\$):

Fonte: Autor/Pik-Já (2017).

Figura 34 - Resultados de comparación de Motor WEG W22 IR2 Alto Rendimiento Plus



Fonte: Autor/Pik-Já (2017).

Figura 35 - Motor WEG W22 IR2 Alto Rendimiento Plus – Aspectos Económicos



Fonte: Autor/Pik-Já (2017).

Figura 36 - Motor WEG W22 IR2 Alto Rendimiento Plus – Aspectos Energéticos

Identificador de Equipo	Sustitución Motor Bomba (kWh/mes)	Sustitución Motor (kWh/mes)	Sustitución Bomba (kWh/mes)	Compensar FP (kWh/mes)	Instalar VV (kWh/mes)	Total de Ahorros (kWh/mes)
Motor 1	00,00	1.650,60	00,00	00,00	00,00	1.650,60
Motor 2	00,00	1.745,10	00,00	00,00	00,00	1.745,10
Motor 3	00,00	1.745,10	00,00	00,00	00,00	1.745,10
Motor 4	00,00	1.493,10	00,00	00,00	00,00	1.493,10
Motor 5	00,00	1.499,40	00,00	00,00	00,00	1.499,40
Motor 6	00,00	1.423,80	00,00	00,00	00,00	1.423,80
Motor 7	00,00	1.581,30	00,00	00,00	00,00	1.581,30
Motor 8	00,00	1.631,70	00,00	00,00	00,00	1.631,70
Motor 9	00,00	1.871,10	00,00	00,00	00,00	1.871,10
Motor 10	00,00	1.814,40	00,00	00,00	00,00	1.814,40
<b>Totales:</b>	00,00	16.455,60	00,00	00,00	00,00	16.455,60 kWh/mes

Fonte: Autor/Pik-Já (2017).

Os resultados da simulação do motor WEG W22 IR2 Alto Rendimiento Plus, para substituição dos 10 motores da instalação, foram os seguintes:

- Investimento inicial: R\$ 96.650,00;
- Economia de custos mensal: 6.253,12 R\$/mês;
- Tempo de retorno de investimento: 15,46 meses;
- Economia energética mensal: 16.455,60 kWh/mês.

Levando-se em conta apenas o custo do investimento e o tempo de retorno, pode-se inferir que o melhor motor a ser utilizado na substituição é o motor WEG W22 IR2 Alto Rendimiento Plus, pelo custo mais baixo e maior rapidez de retorno entre os demais. Entretanto, não se pode afirmar que é a melhor solução e, para tanto, são necessários estudos mais aprofundados de viabilidade econômica, que levam em conta juros e retorno de capital com maior horizonte. Assim, serão feitos a seguir estudos de Payback Descontado e Valor Presente Líquido, que produzem resultados mais confiáveis para a definição do melhor investimento.

### 4.3 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA

A viabilidade econômica de um projeto depende de estudos aprofundados de diversos fatores. No caso deste presente estudo, serão utilizados dois métodos distintos, que levam em conta a vida útil dos equipamentos e a taxa de juros. Os métodos são o Payback Descontado e o Valor Presente Líquido, que serão descritos a seguir.

#### 4.3.1 Payback Descontado

Para este estudo, será tomada uma taxa de juros de 12% ao ano, com um horizonte de 10 anos, dado pela vida útil dos motores propostos. Além disso, segundo a Companhia Riograndense de Saneamento, para o investimento ser atrativo, deve ter um tempo de retorno de investimento de até 4 anos. Utilizando-se da equação (7), seguem-se os cálculos.

##### 4.3.1.1 Payback Descontado Motor WEG W22 IR4 Alto Rendimento Super Premium

Para o cálculo do payback descontado, recorrem-se aos resultados de 6.2.1:

- Investimento inicial: R\$ 127.700,00;

- Economia de custos anual: 7.791,83 R\$/mês x 12 meses = R\$ 93.501,96.

O payback descontado pode ser obtido de acordo com a seguinte expressão:

$$PBD_1 = \frac{93.501,96}{(1 + 0,12)} = 83.483,89 < 127.700,00$$

$$PBD_2 = PBD_1 + \frac{93.501,96}{(1 + 0,12)^2} = 83.483,89 + 74.539,19 = 158.023,08 > 127.700,00$$

Por este método, o investimento terá retorno em 2 anos, sendo portanto viável economicamente.

##### 4.3.1.2 Payback Descontado Motor WEG W22 IR3 Alto Rendimento Premium

Para o cálculo do payback descontado, recorrem-se aos resultados de 6.2.2:

- Investimento inicial: R\$ 114.050,00;

- Economia de custos anual: 7.055,11 R\$/mês x 12 meses = R\$ 84.661,32.

O payback descontado pode ser obtido de acordo com a seguinte expressão:

$$PBD_1 = \frac{84.661,32}{(1 + 0,12)} = 75.590,46 < 114.050,00$$

$$PBD_2 = PBD_1 + \frac{84.661,32}{(1 + 0,12)^2} = 75.590,46 + 67.491,49 = 143.081,95 > 114.050,00$$

Por este método, o investimento terá retorno em 2 anos, sendo portanto viável economicamente.

#### 4.3.1.3 Payback Descontado Motor WEG W22 IR2 Alto Rendimento Plus

Para o cálculo do payback descontado, recorrem-se aos resultados de 6.2.3:

- Investimento inicial: R\$ 96.650,00;

- Economia de custos anual: 6.253,12 R\$/mês x 12 meses = R\$ 75.037,44.

O payback descontado pode ser obtido de acordo com a seguinte expressão:

$$PBD_1 = \frac{75.037,44}{(1 + 0,12)} = 66.997,71 < 96.650,00$$

$$PBD_2 = PBD_1 + \frac{75.037,44}{(1 + 0,12)^2} = 66.997,71 + 59.819,39 = 126.817,10 > 96.650,00$$

Por este método, o investimento terá retorno em 2 anos, sendo portanto viável economicamente.

Como se pode notar, pelo método do Payback Descontado, os 3 casos terão um tempo de retorno de investimento de 2 anos, sendo todos viáveis. Porém, por esse método, não há como se determinar o melhor investimento. Dessa forma, recorre-se ao método do Valor Presente Líquido, que informa qual investimento possui maior viabilidade econômica.

### 4.3.2 Valor Presente Líquido

Após a obtenção do Payback Descontado, foi então calculado o respectivo Valor Presente Líquido para cada motor, conforme a equação (8).

#### 4.3.2.1 Valor Presente Líquido Motor WEG W22 IR4 Alto Rendimento Super Premium

Para o cálculo do Valor Presente Líquido para este motor, recorrem-se aos seguintes dados:

- Investimento inicial: R\$ 127.700,00;
- Economia de custos anual: 7.791,83 R\$/mês x 12 meses = R\$ 93.501,96.

$$VPL = -127.700,00 + 93.501,96 \cdot \frac{(1 + 0,12)^2 - 1}{0,12 \cdot (1 + 0,12)^{10}} = 400.606,93$$

O Valor Presente Líquido para este motor, com uma taxa de 12% ao ano e vida útil de 10 anos, será de **R\$ 400.606,93**.

#### 4.3.2.2 Valor Presente Líquido Motor WEG W22 IR3 Alto Rendimento Premium

Para o cálculo do Valor Presente Líquido para este motor, recorrem-se aos seguintes dados:

- Investimento inicial: R\$ 114.050,00;
- Economia de custos anual: 7.055,11 R\$/mês x 12 meses = R\$ 84.661,32.

$$VPL = -114.050,00 + 84.661,32 \cdot \frac{(1 + 0,12)^2 - 1}{0,12 \cdot (1 + 0,12)^{10}} = 364.305,34$$

O Valor Presente Líquido para este motor, com uma taxa de 12% ao ano e vida útil de 10 anos, será de **R\$ 364.305,34**.

#### 4.3.2.3 Valor Presente Líquido Motor WEG W22 IR2 Alto Rendimento Plus

Para o cálculo do Valor Presente Líquido para este motor, recorrem-se aos seguintes dados:

- Investimento inicial: R\$ 96.650,00;
- Economia de custos anual: 6.253,12 R\$/mês x 12 meses = R\$ 75.037,44.

$$VPL = -96.650,00 + 75.037,44 \cdot \frac{(1 + 0,12)^{10} - 1}{0,12 \cdot (1 + 0,12)^{10}} = 327.328,27$$

O Valor Presente Líquido para este motor, com uma taxa de 12% ao ano e vida útil de 10 anos, será de **R\$ 327.328,27**.

#### 4.4 RESULTADOS

Conforme indicaram os resultados dos estudos, os motores elétricos da Estação de Tratamento de Esgoto de Santa Maria – RS necessitam de troca por motores mais modernos e de elevado desempenho, que promoverão redução de custos de energia elétrica, retorno rápido de investimento e menor manutenção.

Os estudos de viabilidade econômica mostraram que os 3 motores de alto rendimento simulados para substituição aos convencionais atualmente utilizados são viáveis economicamente, tendo todos um retorno de investimento de até 2 anos. Dentre eles, o melhor investimento, de acordo com o método do Valor Presente Líquido, foi o motor WEG W22 IR4 Alto Rendimento Super Premium que, com um rendimento mesmo que pouco maior do que os demais se mostrou bastante promissor.

O estudo mostrou que o motor WEG W22 IR4 Alto Rendimento Super Premium, durante sua vida útil, consegue um grande retorno de investimento, com grande redução de consumo energético. Isso se traduz em maior rendimento de operação, alto fator de potência, redução de custos com energia elétrica, menor manutenção e grande economia de recursos energéticos.



## 5 CONCLUSÃO

Neste estudo de eficiência energética, foram analisados 10 motores com iguais características, utilizados no acionamento de turbinas de equipamentos aeradores presentes no interior do tanque de aeração da estação de tratamento de esgoto de Santa Maria – RS, localizada na Vila Lorenzi. Dos motores, foram extraídas diversas medidas e, após a análise, concluiu-se que todos eram sobredimensionados, com fatores de carregamento e rendimento de operação muito baixos.

Como a análise demonstrou, era necessário que se fizesse a substituição dos 10 motores, sob pena de elevado consumo de energia elétrica, desnecessário em função da baixa carga e com grande custo, que é repassado aos consumidores. Então, procedeu-se a busca por melhores motores, com potência adequada à carga quadrática a eles acoplada. Foram então escolhidos 3 motores diferentes, modelo W22, marca WEG, com 50 CV, sendo eles o motor W22 IR4 Alto Rendimento Super Premium, o motor W22 IR3 Alto Rendimento Premium e o motor W22 IR2 Alto Rendimento Plus. Apesar de possuírem características construtivas e potência semelhantes, os 3 motores possuem rendimentos diferentes, maiores do que os convencionais instalados.

Após a escolha dos motores, foi feita a comparação dos seus ganhos energéticos e econômicos em relação aos já instalados, utilizando-se o software Pik-Já. Os motores possuem preços diferentes, mas, conforme visto pelos comparativos, seus ganhos de rendimento e, conseqüentemente de energia, permitem que os investimentos sejam recuperados em menos de 2 anos, com diferença de apenas alguns meses entre eles. Além disso, o ganho energético é bastante alto, o que geraria grande economia mensal de energia e redução de custos operacionais.

Para a escolha do melhor investimento, ou seja, qual o motor que melhor se encaixa para a substituição, foi então elaborado o estudo de viabilidade econômica, tendo como base uma vida útil de 10 anos, um tempo máximo de retorno de investimento de 4 anos e preços e taxas de mercado. Foram feitas duas análises, com dois métodos diferentes, o Payback Descontado e o Valor Presente Líquido, para uma troca dos 10 motores.

O primeiro comparativo foi o Payback Descontado, que é o tempo de retorno de investimento utilizando-se taxas mínimas de atratividade anuais. Com ele, foi possível deduzir que o investimento nos 3 motores terá retorno em 2 anos, metade do tempo estipulado de 4 anos, sendo portanto, viáveis. Porém, por este método não foi possível definir o melhor investimento, o que requer outro estudo.

O segundo comparativo utilizou-se do método do Valor Presente Líquido, que demonstra e define qual motor é o mais rentável. Caso o VPL seja positivo, o investimento é viável e, quanto maior seu valor no horizonte de vida útil, melhor o equipamento a ser escolhido. A análise mostrou que em 10 anos, com a redução de consumo energético proporcionada pelo maior rendimento dentre os motores comparados, o melhor motor a ser utilizado na substituição é o motor WEG W22 IR4 Alto Rendimento Super Premium, com um Valor Presente Líquido de R\$ 400.606,93, muito maior que os demais. Isso significa que este motor, caso utilizado nos 10 aeradores da estação de tratamento de esgoto de Santa Maria, trará o maior benefício, consumindo menos energia e repassando o menor custo de operação aos usuários da Companhia Riograndense de Saneamento.

Assim, o presente estudo permitiu a compreensão, síntese e utilização de diversos conceitos aprendidos no decorrer do curso de Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos. Tendo como base a carga de conhecimento adquirida, foi elaborado um estudo de efficientização energética na estação de tratamento de esgoto de Santa Maria – RS, que analisou os motores elétricos utilizados no processo de limpeza e purificação da água proveniente do esgoto cloacal da cidade. O estudo contemplou diferentes formas de medição, comparação, análise e métodos de viabilidade econômica para que então fossem propostas modificações que permitem a melhoria da utilização energética, a redução de custos, a melhoria do sistema elétrico e a racionalização de recursos ambientais. Por fim, este estudo foi importante para o aprofundamento e utilização prática dos métodos e processos aprendidos e a compreensão da importância da efficientização energética nos processos e equipamentos, permitindo o entendimento da eficiência energética do especialista na carreira profissional.

## REFERÊNCIAS

BICHEN AMBIENTAL. **Adensador de Lodo.** Disponível em <<http://www.bishenambiental.com.br/adensador-lodo>>. Acesso em: 29 ago. 2017.

BRASIL ESCOLA. Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/fisica/eletricidade-acionamento-motores-eletricos.htm>>. Acesso em: 28 jun. 2017.

CLAAS, Isabel Cristina. **Lodos ativados: princípios teóricos fundamentais, operação e controle.** Editora Edigraf, 2007. Porto Alegre – RS.

COMUSA. **Serviços de Água e Esgoto de Novo Hamburgo.** Disponível em <<http://www.comusa.rs.gov.br/index.php/saneamento/tratamentoesgoto>>. Acesso em: 29 ago. 2017.

CORSAN. **Companhia Riograndense de Saneamento.** Disponível em: <<http://www.corsan.com.br>>. Acesso em: 26 abr. 2017.

DM MOTORES ELÉTRICOS. Disponível em: <<http://www.dmmotoreselétricos.com.br>>. Acesso em: 28 jun. 2017.

EBAH. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAXxoAC/motores-inducao>>. Acesso em: 28 jun. 2017.

ELETROBRAS. Disponível em: <[www.eletrabras.com](http://www.eletrabras.com)>. Acesso em: 26 mar. 2017.

ENERGY - **Estimating Motor Efficiency in the Field.** Disponível em: <<https://www.energy.gov/eere/amo/downloads/estimating-motor-efficiency-field>>. Acesso em: 11 abr. 2017.

KRAMPE, Daniel Lisboa. **Estudo de caso em eficiência energética da estação de tratamento de esgoto de Santa Maria – RS.** Trabalho de Conclusão de Curso. UFSM, 2015.

PIK-JÁ – CONUEE – **Comisión Nacional para el uso Eficiente de la Energía.** Disponível em: <<https://www.conuee.gob.mx/fenix/programas/herramientas/RegHerrEvPik.jsp>>. Acesso em: 07 jun. 2017.

PROCEL. **Conservação de Energia – Eficiência Energética de Equipamento e Instalações.** Disponível em: <[https://static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/uploads/arquivos/Livro\\_Conservacao\\_de\\_Energiaed3.pdf](https://static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/uploads/arquivos/Livro_Conservacao_de_Energiaed3.pdf)>. Acesso em: 26 abr. 2017.

PROCEL. **Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento.** Manual prático.

RIBEIRO DE SÁ, André Fernando. **Guia de Aplicações de Gestão de Energia e Eficiência Energética.**

SCIELO PROCEEDINGS. Disponível em:  
<[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000000200053&script=sci\\_arttext](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000000200053&script=sci_arttext)>. Acesso em: 28 jun. 2017.

SÓRIA, Ayres Francisco da Silva; FILIPINI, Fábio Antonio. **Eficiência Energética**. Educação Profissional. Ensino Médio Técnico.

TEMES AMBIENTAL. **Adensador de Lodo**. Disponível em  
<<http://www.temes.com.br/produto/adensador-de-lodo>>. Acesso em: 29 ago. 2017.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Redução do Custo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água**. Editora ABES, 2006, São Paulo – SP.

WEG. **Catálogo eletrônico**. Disponível em <<http://www.weg.net/>>. Acesso em: 29 ago. 2017.

WEISE, Andreas Dittmar. **Engenharia Econômica**. Notas de aula, 2014, Santa Maria - RS.