



Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA  
Engenharia de Energia

## **Auditoria Energética na Indústria**

**Autor: David Allan Pinheiro do Nascimento**  
**Orientador: Dra. Cristina de Abreu Silveira**

Brasília, DF  
2014



David Allan Pinheiro do Nascimento

## **Auditoria Energética na Indústria**

Monografia submetida ao curso de graduação em (Engenharia de Energia) da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em (Engenharia de Energia).

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Dra. Cristina de Abreu Silveira

Brasília, DF

2014

---

David Allan Pinheiro do Nascimento  
Auditoria Energética na Indústria/ David Allan Pinheiro do Nascimento. –  
Brasília, DF, 2014-  
72 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Dra. Cristina de Abreu Silveira

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA , 2014.

1. eficiência. 2. energética. I. Dra. Cristina de Abreu Silveira. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Auditoria Energética na Indústria

CDU 02:141:005.6

---

David Allan Pinheiro do Nascimento

## **Auditoria Energética na Indústria**

Monografia submetida ao curso de graduação em (Engenharia de Energia) da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em (Engenharia de Energia).

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 27 de junho de 2014:

---

**Dra. Cristina de Abreu Silveira**  
Orientador

---

**Dra. Maria Vitória Duarte Ferrari**  
Tome  
Convidado 1

---

**Ms. Eneida Gonzalez Valdes**  
Convidado 2

Brasília, DF  
2014

*Este trabalho é dedicado à quem sempre  
acreditou no meu potencial.*

# Agradecimentos

Agradeço a minha mãe, Jucicleia Patrocínia Pinheiro, ao meu irmão, Bruno Pinheiro Martins, por ter me apoiado e ajudado em todas as minhas decisões. Agradeço ao Jucieudes Patrocínio Pinheiro, por me ajudar nos momentos mais difíceis. Agradeço aos meus familiares que sempre acreditaram no meu potencial. Agradeço a todos os professores que ajudaram na minha graduação e todos os meus colegas de curso, futuros engenheiros, que passaram 5 anos do meu lado. Deixa-se aqui um agradecimento a empresa de saneamento que forneceu todos os dados solicitados e por disponibilizar o acesso e a realização das medidas nas setes estações elevatória especialmente a que especificou-se neste trabalho..

*“Aprender é a única coisa  
de que a mente nunca se cansa,  
nunca tem medo,  
e nunca se arrepende.”  
(Leonardo Da Vinci)*

# Resumo

Como o consumo de energia no setor industrial corresponde a aproximadamente 35% da energia total consumida no país, promover a eficiência energética na indústria passou a ser estimulada inclusive como um instrumento de competitividade no mercado, em prol de produtos com menor consumo de energia e menor emissão de poluentes. Partindo dessa premissa, esse trabalho de conclusão aborda os aspectos fundamentais para promover a avaliação energética de uma indústria com o objetivo de eficientizar seu desempenho e reduzir os gastos com energia na instalação. Para tanto, são abordados os fundamentos teóricos da eficiência energética aplicada a cargas industriais, sua regulamentação, bem como os critérios para a realização de uma auditoria energética, ou seja, para avaliar as condições de emprego da energia na instalação industrial, quando e como a energia é utilizada, qual a eficiência dos equipamentos e onde se verificam os eventuais desperdícios de energia, propondo, em alguns casos, soluções que não afetem a produção e possam ser integradas à operação da mesma.

**Palavras-chaves:** eficiência. energética. auditoria. industrial.



# Abstract

As the energy consumption in the industrial sector represents approximately 35 % of the total energy consumed in the country , promote energy efficiency in industry has become encouraged even as an instrument of market competitiveness , towards products with lower energy consumption and lower emissions . From this premise , this paper addresses the completion fundamentias to promote energy assessment of an industry with the goal of efficientizar their performance and reduce energy costs at installation aspects . To this end, the article discusses the theoretical foundations of energy efficiency applied to industrial loads , its regulations and the criteria for conducting an energy audit , ie to assess the conditions of employment of energy in the plant , when and how energy is used where the efficiency of equipment and where there are any waste of energy, proposing , in some cases, the solutions do not affect production and can be integrated with the operation thereof.

**Key-words:** efficiency. energy. auditing. industrial.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Analisadores de energia utilizados durante o trabalho de campo. . . . .	24
Figura 2 – Multímetro utilizado durante o trabalho de campo. . . . .	24
Figura 3 – Termômetro utilizado durante o trabalho de campo. . . . .	24
Figura 4 – Medidor de vazão utilizado durante o trabalho de campo. . . . .	25
Figura 5 – Medidor de nível utilizado durante o trabalho de campo. . . . .	25
Figura 6 – Diagrama de ligação do analisador de energia. . . . .	26
Figura 7 – Tubulação de recalque da Estação Elevatória Beta. . . . .	28
Figura 8 – Poço de sucção da Estação Elevatória Beta. . . . .	28
Figura 9 – Ponto de operação nominal da bomba 1 da Estação Elevatória Beta de acordo com o catálogo do fabricante. . . . .	30
Figura 10 – Ponto de operação nominal da bomba 1 da Estação Elevatória Beta de acordo com o catálogo do fabricante. . . . .	31
Figura 11 – Curva do sistema da Estação Elevatória Beta. . . . .	32
Figura 12 – Transformador e quadro elétrico da Estação Elevatória Beta. . . . .	33
Figura 13 – Softstarters Danfoss da Estação Elevatória Beta. . . . .	33
Figura 14 – Banco de capacitores da Estação Elevatória Beta. . . . .	33
Figura 15 – Grupo motor gerador da Estação Elevatória Beta com destaque para a placa de características técnicas. . . . .	34
Figura 16 – Diagrama unifilar elétrico da Estação Elevatória Beta. . . . .	34
Figura 17 – Tensão (V) registrada na subestação da Estação Elevatória Beta . . . . .	35
Figura 18 – Consumo ativo (kWh) registrado na subestação da Estação Elevatória Beta . . . . .	37
Figura 19 – Demanda medida da Estação Elevatória Beta . . . . .	40
Figura 20 – Consumo medido da Estação Elevatória Beta. . . . .	40
Figura 21 – Gráfico de balanço de custos com energia elétrica da Estação Elevatória Beta. . . . .	41
Figura 22 – Dados iniciais do projeto. . . . .	49
Figura 23 – Dados climáticos para Brasília. . . . .	49
Figura 24 – Dados do preço de energia elétrica. . . . .	50
Figura 25 – Descrição do caso referência e proposto para o conjunto motor-bomba 1. . . . .	50
Figura 26 – Descrição do caso referência e proposto para o conjunto motor-bomba 2. . . . .	51
Figura 27 – Confirmação dos dados dos conjuntos motor-bombas. . . . .	51
Figura 28 – Comparação do caso proposto e do caso de referência. . . . .	52
Figura 29 – Resultados das emissões. . . . .	52
Figura 30 – Fluxo de caixa do projeto com capital próprio da empresa de saneamento. . . . .	52
Figura 31 – Fluxo de caixa do projeto financiado. . . . .	53

Figura 32 – Dados inicial do projeto. . . . .	54
Figura 33 – Dados climáticos para Brasília. . . . .	54
Figura 34 – Escolha do sistema de posicionamento solar e o preço da eletricidade exportada. . . . .	55
Figura 35 – Dados do sistema de geração fotovoltaico. . . . .	55
Figura 36 – Resultados das emissões. . . . .	56
Figura 37 – Fluxo de caixa do projeto com capital próprio da empresa de saneamento. . . . .	56
Figura 38 – Fluxo de caixa do projeto financiado. . . . .	57
Figura 39 – Corrente (A) registrada na subestação da Estação Elevatória Beta . . . . .	61
Figura 40 – Potência ativa (W) registrada na subestação da Estação Elevatória Beta . . . . .	62
Figura 41 – Potência reativa (VAr) registrada na subestação da Estação Elevatória Beta . . . . .	62
Figura 42 – Frequência registrada na subestação da Estação Elevatória Beta . . . . .	63
Figura 43 – Fator de potência registrada na subestação da Estação Elevatória Beta . . . . .	63
Figura 44 – Componentes harmônicos registrado na subestação da Estação Elevatória Beta . . . . .	64
Figura 45 – Analisadores de energia instalados na Estação Elevatória Beta . . . . .	64
Figura 46 – Registro de tensão (V) na Bomba 1 da Estação Elevatória Beta . . . . .	65
Figura 47 – Registro de corrente (A) na Bomba 1 da Estação Elevatória Beta . . . . .	65
Figura 48 – Registro de potência ativa (W) na Bomba 1 da Estação Elevatória Beta . . . . .	66
Figura 49 – Registro de potência reativa (VAr) na Bomba 1 da Estação Elevatória Beta . . . . .	66
Figura 50 – Registro de frequência (Hz) na Bomba 1 da Estação Elevatória Beta . . . . .	67
Figura 51 – Registro de fator de potência na Bomba 1 da Estação Elevatória Beta . . . . .	67
Figura 52 – Registro de tensão (V) na Bomba 2 da Estação Elevatória Beta . . . . .	68
Figura 53 – Registro de corrente (A) na Bomba 2 da Estação Elevatória Beta . . . . .	68
Figura 54 – Registro de potência ativa (W) na Bomba 2 da Estação Elevatória Beta . . . . .	69
Figura 55 – Registro de potência reativa (VAr) na Bomba 2 da Estação Elevatória Beta . . . . .	69
Figura 56 – Registro de frequência (Hz) na Bomba 2 da Estação Elevatória Beta . . . . .	70
Figura 57 – Registro de fator de potência na Bomba 2 da Estação Elevatória Beta . . . . .	70

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Características dos conjuntos motor-bomba da Estação Elevatória Beta.	29
Tabela 2 – Características da bomba 1 da Estação Elevatória Beta. . . . .	29
Tabela 3 – Características da bomba 2 da Estação Elevatória Beta. . . . .	31
Tabela 4 – Tensão mínimo, médio e máximo registrado da Estação Elevatória Beta.	35
Tabela 5 – Corrente mínimo, médio e máximo registrado da Estação Elevatória Beta. . . . .	36
Tabela 6 – Potência ativa mínimo, médio e máximo registrado da Estação Elevatória Beta. . . . .	36
Tabela 7 – Potência reativa mínimo, médio e máximo registrado da Estação Elevatória Beta. . . . .	36
Tabela 8 – Frequência mínimo, médio e máximo registrado da Estação Elevatória Beta. . . . .	36
Tabela 9 – Fator de potência mínimo, médio e máximo registrado da Estação Elevatória Beta. . . . .	37
Tabela 10 – Histórico de demanda da Estação Elevatória Beta. . . . .	38
Tabela 11 – Histórico de consumo ativo da Estação Elevatória Beta. . . . .	39
Tabela 12 – Histórico de consumo reativo da Estação Elevatória Beta. . . . .	39
Tabela 13 – Correntes registradas nos conjuntos motor-bomba Estação Elevatória Beta. . . . .	42
Tabela 14 – Vazão de recalque mínima, média e máxima da Estação Elevatória Beta.	43
Tabela 15 – Nível do poço de sucção mínima, média e máxima da Estação Elevatória Beta. . . . .	44
Tabela 16 – Regime de acionamento dos conjuntos motor-bomba da Estação Elevatória Beta. . . . .	44
Tabela 17 – Benchmarking da Estação Elevatória Beta. . . . .	45
Tabela 18 – Redimensionamento das potências dos conjuntos motor-bomba da Estação Elevatória Beta. . . . .	47
Tabela 19 – Resumo das medidas obtidas nas subestação das elevatórias de esgoto.	71
Tabela 20 – Resumo das medidas obtidas dos conjuntos motor-bombas das estações elevatórias de esgoto. . . . .	71
Tabela 21 – Resumo das medidas obtidas dos conjuntos motor-bombas das estações elevatórias de esgoto. . . . .	72

# Lista de abreviaturas e siglas

AC	Corrente alternada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BRICs	Brasil, Rússia, Índia e China
CC	Corrente contínua
CONFEA	Conselho Federal de Engenharia e Agronomia
CONPET	Programa Nacional de Racionalização do uso dos Derivados de Petróleo e do Gás Natural
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
IGA	Diagnóstico com grau de investimento
IRC	Restituição de cores
LED	Diodo emissor de luz
PAD	Perdas extravaziadas
PAV	Perdas mecânicas
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PHF	Perdas magnéticas no ferro
Pj1	Perdas de joule do estator
Pj2	Perdas de joule do rotor
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROESCO	Programa de Apoio a Projeto de Eficiência Energética -

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>15</b>
1.1	Geral	15
1.2	Informação	16
<b>2</b>	<b>Desenvolvimento</b>	<b>17</b>
2.1	Fundamentação Teórica	17
2.1.1	Planejamento	18
2.1.2	Trabalho de campo	18
2.1.3	Tratamento da informação	19
2.1.4	Medidas para Eficiência Energética	20
<b>3</b>	<b>Aplicações</b>	<b>22</b>
3.1	Introdução	22
3.1.1	Planejamento	22
3.1.2	Trabalho de Campo	22
3.1.3	Tratamento da Informação	22
3.2	Meios técnicos utilizáveis	23
3.2.1	Aparelhos de Medidas	23
3.2.2	Diagrama	25
<b>4</b>	<b>Estudo de Caso</b>	<b>27</b>
4.1	Caso Escolhido	27
4.2	Característica da Instalação	27
4.2.1	Características da tubulação do afluente	27
4.2.2	Características da tubulação de recalque	27
4.2.3	Características do poço de sucção	28
4.2.4	Características dos conjuntos motor-bombas	29
4.2.5	Curva do Sistema	32
4.3	Características das Instalações Elétricas	32
4.4	Medição de Grandezas Elétricas Nas Subestações de Alimentação das Elevatórias	35
<b>5</b>	<b>Análise dos Resultados</b>	<b>38</b>
5.1	Descrição do Sistema Elétrico	38
5.1.1	Características do Sistema	38
5.1.2	Consumo Histórico de Energia	38
5.2	Análise das Medidas do Sistema Elétrico	41
5.2.1	Qualidade de Energia Elétrica	41

5.2.2	Comportamento Operacional do Sistema . . . . .	42
5.2.2.1	Bomba 1 . . . . .	45
5.2.2.2	Bomba 2 . . . . .	45
5.3	Eficiência dos Conjuntos Motor-Bombas . . . . .	45
5.3.1	Benchmarking . . . . .	45
5.3.2	Fator de Carga e Fator de Demanda . . . . .	46
5.4	Redimensionamento dos Conjuntos Motor-Bombas . . . . .	47
5.4.1	Redimensionamento da Potência . . . . .	47
5.4.2	Análise de Viabilidade econômica usando o software RETScreen . . . . .	48
5.4.2.1	O RETScreen . . . . .	48
5.4.2.2	Análise de Viabilidade Econômica Para Substituição dos Conjuntos Motor- Bombas . . . . .	49
5.4.2.2.1	Análise de Viabilidade Econômica Considerando Capital Próprio . . . . .	49
5.4.2.2.2	Análise de Viabilidade Econômica Considerando 100% financiado . . . . .	53
5.4.2.3	Análise de Viabilidade Econômica Para Geração de Energia Solar . . . . .	53
5.4.2.3.1	Análise de Viabilidade Econômica Considerando Capital Próprio . . . . .	54
5.4.2.3.2	Análise de Viabilidade Econômica Considerando 100% financiado . . . . .	56
<b>6</b>	<b>Conclusão . . . . .</b>	<b>58</b>
6.1	Conclusão . . . . .	58
	 <b>Referências . . . . .</b>	 <b>59</b>
	 <b>Anexos . . . . .</b>	 <b>60</b>
	<b>ANEXO A – Resultados . . . . .</b>	<b>61</b>
A.1	Medidas Na Estação Elevatória Beta . . . . .	61
A.1.1	Medidas Na Subestação da Estação Elevatória Beta . . . . .	61
A.1.2	Medição da Condição de Funcionamento dos Conjuntos Motor-Bomba . . . . .	64
A.1.2.1	Bomba 1 . . . . .	64
A.1.2.2	Bomba 2 . . . . .	67
A.2	Resultados Medidos Nas Estações Elevatórias . . . . .	71

# 1 Introdução

## 1.1 Geral

A auditoria energética é a base para implantação de uma gestão energética industrial. Com isso, para realizar a implantação de uma gestão de energia é importante sabermos a definição e os objetivos de uma auditoria energética.

A rigor, promover a eficiência energética é essencialmente utilizar o conhecimento de forma aplicada, empregando os conceitos de engenharia, da economia e da administração aos sistemas energéticos. Contudo, dado à diversidade e complexidade desses sistemas, é interessante apresentar técnicas e métodos para definir processos de transporte, armazenamento e distribuição de energia. Com esse propósito, nesse Capítulo procura-se apresentar e discutir os principais métodos e procedimentos de auditoria energética, que mediante uma abordagem sistemática dos fluxos energéticos em um dado sistema, visa determinar quem, quando e como se está consumindo energia e fundamentar a implantação de programa de uso racional de insumos energéticos (PROCEL, 2006).

Uma auditoria energética consiste num exame detalhado das condições de utilização da energia de uma instalação consumidora intensiva de energia. Ela tem como objetivo a análise das condições de energia nas instalações, a caracterização energética dos diferentes equipamentos e a identificação das medidas com viabilidade técnico-econômica possíveis de implementar, de modo a aumentar a eficiência energética e a reduzir a fatura energética associada as atividades da instalação em questão (DGGE, 2008).

A auditoria energética surge como um instrumento fundamental para contabilizar os consumos de energia, a eficiência energética dos seus equipamentos e as perdas que se verificam, tendo como finalidade reduzir essas perdas sem prejudicar a produção, isto é, economizar energia através do uso mais eficiente da mesma. A auditoria energética fornece objetivos numéricos além de especificar como estes podem ser atingidos (LOURENÇO, 2009).

De uma maneira mais didática, Ribeiro e Gaspar (2008) nos diz que a auditoria energética consiste num levantamento detalhado de todos os aspectos relacionados com o uso da energia, ou que de alguma forma contribuam para a caracterização dos fluxos energéticos.



## 1.2 Informação

O objetivo desse trabalho de conclusão de curso é fazer uma auditoria energética que avalie o desempenho energético de sete elevatórias de esgotos de uma empresa de saneamento com o intuito de reduzir os gastos com energia na instalação da organização. Ou seja, pretende-se avaliar as condições de energia das sete elevatórias de esgoto, buscando analisar onde, quando e como a energia é utilizada, analisar qual a eficiência dos equipamentos utilizados e verificar possíveis desperdícios de energia na organização. Ainda, foram realizadas propostas de soluções que não afetem a produção e que possam ser integradas à organização.

## 2 Desenvolvimento

### 2.1 Fundamentação Teórica

Uma auditoria energética típica deverá ser capaz de atingir os seguintes objetivos (DGGE, 2008):

- Quantificar os consumos energéticos por instalação global, principais seções e equipamentos e a sua importância no custo final do(s) produto(s);
- Efetuar uma inspeção visual dos equipamentos e/ou sistemas consumidores de energia, complementada pelas medições necessárias;
- Esclarecer como é transformada a energia e quais os seus custos;
- Efetuar um levantamento e caracterização detalhada dos principais equipamentos consumidores de energia, sobretudo, aqueles com maior peso em termos de potência instalada, quer elétrica, quer térmica;
- Obter diagramas de carga elétrica dos sistemas considerados grandes consumidores de eletricidade;
- Determinar a eficiência energética dos geradores de energia térmica, eventualmente existentes, pelo método das perdas ou direto;
- Verificar o estado das instalações de transporte e distribuição de energia;
- Verificar o funcionamento dos aparelhos de controle e a regulação do equipamento de conversão e de utilização de energia;
- Realizar balanços de massa e de energia aos principais equipamentos consumidores de energia térmica;
- Determinar consumos específicos de energia durante o período de realização da auditoria, para posterior comparação com os valores médios mensais e anuais e detecção de eventuais variações sazonais;
- Identificar e quantificar as possíveis áreas onde as economias de energia são viáveis, como resultado das situações encontradas, das anomalias detectadas ou das medições efetuadas;
- Definir intervenções com viabilidade técnico-econômica, condizentes ao aumento da eficiência energética e/ou a redução da fatura energética;

- Definir as linhas orientadoras para a implementação ou melhoria de um esquema operacional de Gestão de Energia.

A auditoria completa permite monitorizar os sistemas. Ela consiste em um levantamento aprofundado da situação energética, analisa-se as quantidades de energia utilizadas em cada uma das operações do processo de fábrica. A função deste tipo de auditoria é apoiar o empresário ou gestor de energia na seleção tecnológica mais adequada para possíveis investimentos em uma utilização racional da energia. Os dados recolhidos numa auditoria energética permitem estabelecer um conjunto de medidas conducentes à redução dos consumos energéticos da empresa (GASPAR, 2004).

O Gaspar (2004), nos diz que para a execução de uma auditoria energética a definição e o estabelecimento da sequência das ações que possibilitem obter um conhecimento profundo da instalação analisada, de modo a detectar, quantificar e tentar corrigir as perdas de energia existentes tem uma importância decisiva. As fases de uma auditoria dependem do seu escopo, da sua dimensão e do tipo das instalações a auditar. De uma maneira geral, pode-se considerar as seguintes fases:

- Planejamento;
- Trabalho de campo;
- Tratamento da informação;
- Relatório.

### 2.1.1 Planejamento

A fase de planejamento de uma auditoria reveste-se de grande importância, constituindo uma etapa decisiva para a qualidade do trabalho a ser desenvolvido. Entre as diversas tarefas que devem ser realizadas nesta fase, destacam-se o estabelecimento de objetivos, a seleção da equipe de auditora e a atribuição das devidas responsabilidades (GASPAR, 2004).

Antes de iniciar a auditoria, é necessário conhecer o processo da indústria a auditar, sendo que esta análise deve abranger todos os passos do processo fabril. Deve-se também identificar a informação a obter (faturas energéticas, auditorias energéticas antigas, histórico de dados energéticos e lista de equipamentos existentes) e a existência, ou não, de pontos de medição (LOURENÇO, 2009).

### 2.1.2 Trabalho de campo

Esta fase compreende na coleta de toda a informação possível e útil para a elaboração do relatório, consiste em fazer todas as medições necessárias, realizar a identifi-

cação das possibilidades reais de economia de energia e a análise das operações ou dos equipamentos mais consumidores de energia. Deve-se recolher toda a informação sobre a produção, os consumos energéticos totais, as faturas energéticas e os respectivos custos. Quando existirem equipamentos que são grandes consumidores de energia deve-se também fazer um balanço de massa e energia, com o intuito de determinar a quantidade de energia consumida, tendo em vista a sua regulação, controle e manutenção mais adequada, assim como a implementação de sistemas de recuperação de energia (LOURENÇO, 2009).

Segundo Gaspar (2004), a experiência mostra que a maioria das empresas não dispõe ainda de instrumentação de medida adequada para a realização das medições e registros necessários. Além disso, quando existe, a instrumentação instalada tem por vezes uma precisão desconhecida ou duvidosa. Torna-se assim indispensável recorrer ao uso de instrumentos de medições portáteis.

O levantamento dos dados energéticos é agrupado por seções de equipamentos e são estabelecidos os diagramas de fluxo, quantificando os fluxos de massa e energia.

A eficácia da auditoria depende fortemente da qualidade do trabalho desenvolvido nessa fase. Além de uma formação na área da energia, a intervenção no local exige um conhecimento mais ou menos profundo dos processos produtivos a analisar e das tecnologias de processo disponíveis. O trabalho de campo requer ainda, acima de tudo, uma atenção permanente da parte do auditor, de modo a que todas as situações passíveis de correção sejam detectadas (GASPAR, 2004).

### 2.1.3 Tratamento da informação

Passando a fase do trabalho de campo os auditores irão analisar os dados levantados nas duas primeiras fases.

Realizam-se nesta fase os cálculos dos consumos específicos de energia por produto, setor, equipamento e o global da instalação. Determinam-se também as eficiências energéticas dos equipamentos maiores consumidores de energia de forma a fazer uma análise crítica e a compará-los com outros equipamentos que apresentem melhores rendimentos. Desta forma é feita uma análise do processo de forma a corrigir procedimentos de maneira a obter uma eficiência energética melhor, mas sem por em causa os níveis de produtividade e a qualidade do produto final (LOURENÇO, 2009).

Lourenço (2009) afirma que neste ponto são detectadas as situações de má utilização de energia, estudando as possíveis soluções para implementação e para correção de anomalias, além da análise técnico-econômica das mesmas de modo a quantificar as potenciais economias de energia.

### 2.1.4 Medidas para Eficiência Energética

As medidas para eficiência energética são ações que podem ser tomadas para gerar uma diminuição dos gastos com energia, ou seja, são ações que desenvolvem a eficiência energética que por consequência nos mostra a oportunidade para economia de energia. Durante a auditoria energética devem-se identificar todas as medidas para eficiência energética aplicáveis na instalação industrial que é objeto da auditoria.

A primeira medida para eficiência energética que podemos citar é a análise da fatura de energia que serve essencialmente para verificar se a opção tarifária da empresa é a melhor, analisar a distribuição dos consumos por horas pontas, fora de pontas, verificar se existe pagamento de energia reativa ou não e observar a evolução da potência em horas de ponta e da potência contratada (GASPAR, 2004).

Segundo Gomes (2009) aponta, além da análise da fatura de energia elétrica mostrada anteriormente, podemos ter como principais medidas para eficiência energética os itens:

- Distribuição de Energia:
  - a) Verificar fator de potência da instalação e considerar a utilização de baterias de condensadores;
  - b) Verificar a existência de transformadores próximos do fim do seu tempo de vida útil e considerar substituí-los por transformadores eficientes, localizados junto aos centros de cargas;
  - c) Verificar níveis de tensão da instalação e considerar a utilização de cabos de secção superior para diminuir as quedas de tensão e as perdas;
  - d) Verificar a existência de desequilíbrio de fases e considerar uma redistribuição de cargas monofásicas.
- Motores:
  - a) Verificar a eficiência energética dos motores existentes e considerar substituí-los por motores mais eficientes;
  - b) Verificar a possibilidade de usar variadores eletrônicos de velocidade para os motores que funcionam com cargas variáveis;
  - c) Verificar a existência de motores sobredimensionados e considerar substituí-los por motores menores;
  - d) Verificar a existência de motores em funcionamento quando não são necessários.

Também pode-se incluir nas medidas para eficiência energética a manutenção de equipamentos, pelo fato de uma boa manutenção em períodos certos evita defeitos e

perdas, no qual se traduz em um maior gasto. O planejamento, a programação e a execução da manutenção são atividades operacionais muito importantes em uma indústria. Se executadas adequadamente, um dos resultados positivos, sob o aspecto técnico, é a conservação de energia. O funcionamento das máquinas, equipamentos e instalações fora de suas condições normais é uma das consequências de uma manutenção precária e provoca, ordinariamente, consumo excessivo de energia. Uma máquina operatriz desajustada, com lubrificação deficiente, e às vezes até com peças defeituosas, solicita uma potência do motor elétrico muito superior àquela requerida se a máquina estivesse em perfeitas condições de conservação, provocando um gasto considerável de energia (COPEL, 2005).

## 3 Aplicações

### 3.1 Introdução

#### 3.1.1 Planejamento

O planejamento do trabalho consistiu em coletar junto à empresa de saneamento as faturas de energia elétrica, correspondentes a um período de um ano, de outubro de 2012 há setembro de 2013 correspondentes a todas as sete elevatórias de esgoto. Além disso, foi coletada uma lista dos equipamentos existentes em cada uma das elevatórias.

#### 3.1.2 Trabalho de Campo

A auditoria energética tem como um dos seus principais pilares o Trabalho de Campo. Durante essa etapa foram realizadas para cada uma das elevatórias de esgoto:

- Caracterização da elevatória de esgoto: determinar quais os equipamentos (conjunto moto-bomba) que compõem as sete elevatórias de esgotos, fazer um levantamento de pesquisa para obter o catálogo dos equipamentos disponível pelo fabricante e verificar se os dados condizem aos dados apresentados na prática;
- Determinação das características das instalações elétricas: identificar a instalação elétrica desde o transformador até o conjunto moto-bomba. Aqui será feito o diagrama unifilar das sete elevatórias de esgoto;
- Medição da condição de funcionamento dos conjuntos motor-bomba: foi realizada a medição das grandezas elétricas de todos os conjuntos moto-bombas durante um período mínimo de seis horas com um analisador de energia;
- Medição de grandezas elétricas nas subestações de alimentação das elevatórias: com um analisador de energia foi registrado os dados por um período mínimo de vinte e quatro horas;

Os resultados medidos durante o trabalho de campo das sete elevatórias de esgotos se encontram em anexo.

#### 3.1.3 Tratamento da Informação

Após a coleta de dados, realizada na fase de Trabalho de Campo, foi feito o tratamento da informação, que consiste na análise dos dados obtidos. Assim, nesta fase do trabalho pode constatar:

- Análise da qualidade de energia: verificar as questões de harmônicos das instalações elétricas e propor melhorias na qualidade de energia das instalações elétricas;
- Determinação do rendimento dos conjuntos moto-bomba: em muitos casos, devido a diversos fatores como rebobinamento de motores, o rendimento do conjunto moto-bomba não é o mesmo dos obtidos nas características da placa dos equipamentos, com isso, determinar o rendimento real destas máquinas possibilitará apresentar sugestões para aumentar a eficiência energética;
- Avaliação do contrato de fornecimento de energia: como recolhemos na fase de planejamento o histórico da fatura de energia elétrica, nessa etapa foram feitas simulações com os três tipos de sistema tarifário para se definir qual será a melhor opção tarifária para cada uma das sete elevatórias;
- Apresentação de sugestão e recomendações para aumentar a eficiência energética da elevatória: a partir dos dados levantados no trabalho de campo, como as grandezas elétricas medidas e a caracterização da elevatória, foram analisadas e sugeridas mudanças para obtenção de uma eficiência energética nas elevatórias de esgoto, ou seja, apresentar as medidas para eficiência energética.

## 3.2 Meios técnicos utilizáveis

### 3.2.1 Aparelhos de Medidas

A seguir são listados os equipamentos que foram usados para obtermos os resultados da auditoria energética.

- Analisador de energia: é um tipo de ferramenta inovadora e essencial para qualquer aplicação de monitoramento de energia elétrica. Um analisador de energia elétrica pode medir de um até três fases de sistemas volts RMS, RMS ampéres, fator de potência, potência instantânea, em watts (W), volt-ampéres (VA), volt-ampéres reativos (VAR), frequência média (Hz), máxima e potência (W), além de distorção harmônica, energia em watt-hora (Wh), volt-ampére-hora reativa (VARh) e ângulos de fase. O instrumento, além de exibir valores, pode imprimi-los ou armazená-los em rede com outros instrumentos similares em diferentes locais, interagindo com o software de computador (ENERGIA, 2013). Foram utilizado dois analisadores de energia um Embrasul EMB e um Sultech ST 9600R representado na Fig.(1);





Figura 1 – Analisadores de energia utilizados durante o trabalho de campo.

- Multímetro: é um aparelho que pode medir de maneira instantânea diferença de potencial, corrente e resistência em equipamentos elétricos. Durante o trabalho de campo foi usado o multímetro Nagashi no qual está mostrada na Fig.(2);



Figura 2 – Multímetro utilizado durante o trabalho de campo.

- Termômetro: é utilizado para medir temperatura de equipamentos em funcionamento e ambientes de trabalhos. O termômetro utilizado é um IR representado na Fig.(3);



Figura 3 – Termômetro utilizado durante o trabalho de campo.

- Medidor de vazão: aparelho usado para medir fluxo de líquidos, como água quente, fluidos do processo e esgoto, dentre outros líquidos. Foi utilizado um medidor de vazão ultra sônico da marca Siemens demonstrada na Fig.(4);



Figura 4 – Medidor de vazão utilizado durante o trabalho de campo.

- Medidor de nível: aparelho usado para medir o nível do poço de esgoto. Na Figura (5) mostra o medidor de nível ultra sônico da Siemens utilizado durante o trabalho de campo.



Figura 5 – Medidor de nível utilizado durante o trabalho de campo.

### 3.2.2 Diagrama

Os dois analisador de energia são composto por 6 pinças, 3 que analisam as correntes e 3 que analisam as tensões em cada fase e devem ser ligadas de acordo com o diagrama apresentado na Fig. (6).

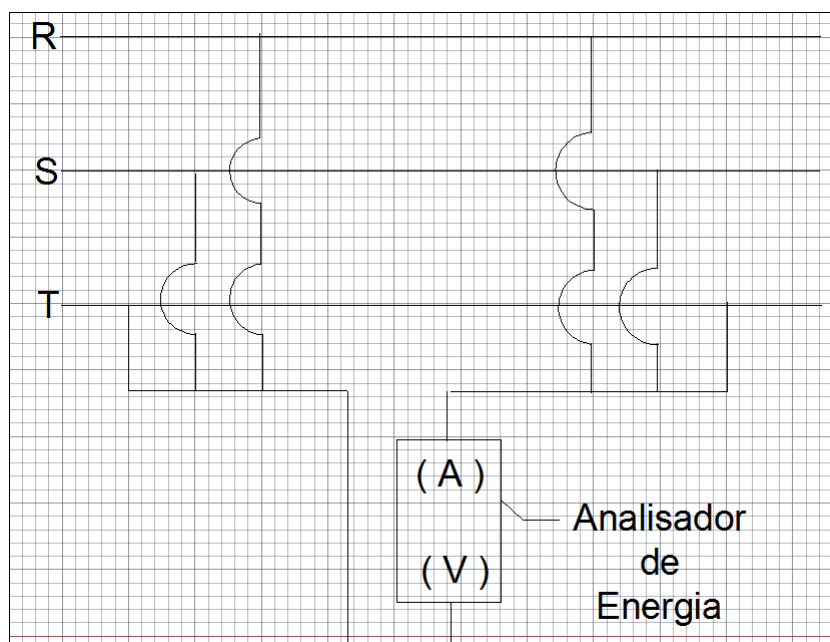


Figura 6 – Diagrama de ligação do analisador de energia.

## 4 Estudo de Caso

### 4.1 Caso Escolhido

Após o trabalho de campo realizado nas sete elevatórias de esgotos, pode-se fazer uma análise rápida das condições de cada unidade e com isso identificamos a Estação Elevatória de Esgoto Beta como a que apresentou as piores condições do ponto de vista da eficiência energética, devido ao seu regime de operação e pelo fato de seus conjuntos motor-bombas estarem superdimensionados. Desta maneira para não deixar o trabalho muito longo será detalhado todo processo de análise realizado somente nesta elevatória de esgoto.

### 4.2 Característica da Instalação

#### 4.2.1 Características da tubulação do afluente

- Material: ferro fundido
- Diâmetro: 150 mm

#### 4.2.2 Características da tubulação de recalque

- Material: ferro fundido
- Diâmetro: 250 mm
- Extensão: 868 m
- Declividade: 0,23%
- Altura geométrica de recalque: -196m



Figura 7 – Tubulação de recalque da Estação Elevatória Beta.

#### 4.2.3 Características do poço de sucção

- Dimensão: diâmetro de 3,2m e profundidade de 5,3m
- Volume: 42,60  $m^3$
- Tipo: úmido
- Nível de extravasor: 2,8m



Figura 8 – Poço de sucção da Estação Elevatória Beta.

#### 4.2.4 Características dos conjuntos motor-bombas

	Bomba 1	Bomba 2
Tipo	Submersa	Submersa
Marca	ABS	ABS
Modelo	AFP 1001 M 350/4-43.60	AFP 1077 ME 350/4-42.60
Potência	54,38 CV	51,39 CV
Rotação	1737 rmp	1759 rpm
Tensão	380 V	380 V
Rendimento	< 54%	48%
Vazão de Recalque	216 $m^3/h$	300 $m^3/h$

Tabela 1 – Características dos conjuntos motor-bomba da Estação Elevatória Beta.

Na Figura (9) estão os pontos de operação nominal da bomba 1 informados na curva de rendimento fornecida pelo fabricante. Os dados de operação nominal da bomba 1, estão mostrados na tabela a seguir.

Altura manométrica (m)	Vazão ( $m^3/h$ )	Eficiência (%)	NPSH (m)	Potência (kW)
44	72	< 54	5	20

Tabela 2 – Características da bomba 1 da Estação Elevatória Beta.

O ponto de trabalho da bomba 1 encontra-se operando em uma eficiência abaixo da ideal, menor do que 54%. De acordo com o catálogo do fabricante, essa bomba pode chegar a uma eficiência de 70%, caso a vazão de recalque fosse de 216  $m^3/h$ .

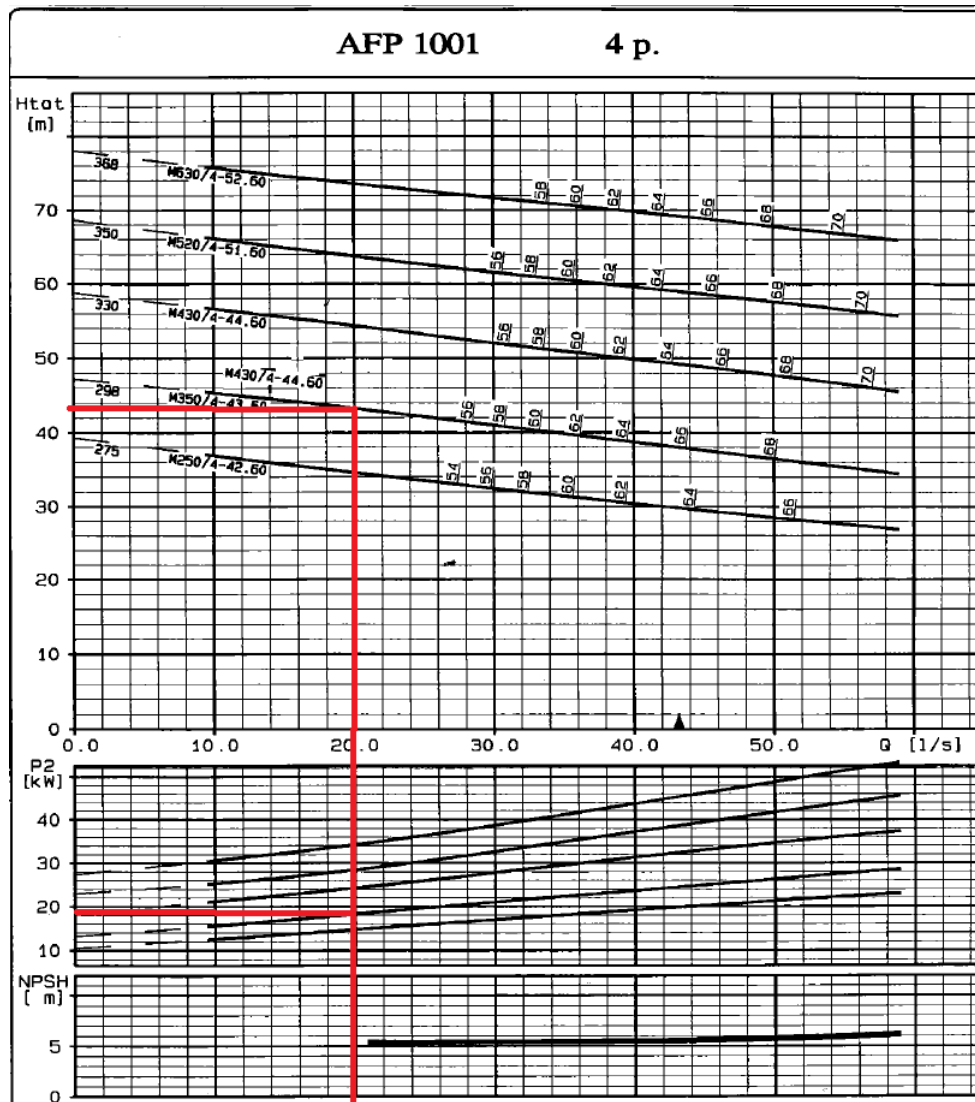


Figura 9 – Ponto de operação nominal da bomba 1 da Estação Elevatória Beta de acordo com o catálogo do fabricante.

De acordo com o ponto de operação do sistema, a potência no eixo da bomba 1 necessária é de 20 kW, valor 50% inferior à potência nominal do motor, de 54,38 CV (ou 40 kW).

Na Figura (10) estão os pontos de operação nominal da bomba 2 informados na curva de rendimento fornecida pelo fabricante. Os dados de operação nominal da bomba 2, estão mostrados na tabela a seguir.

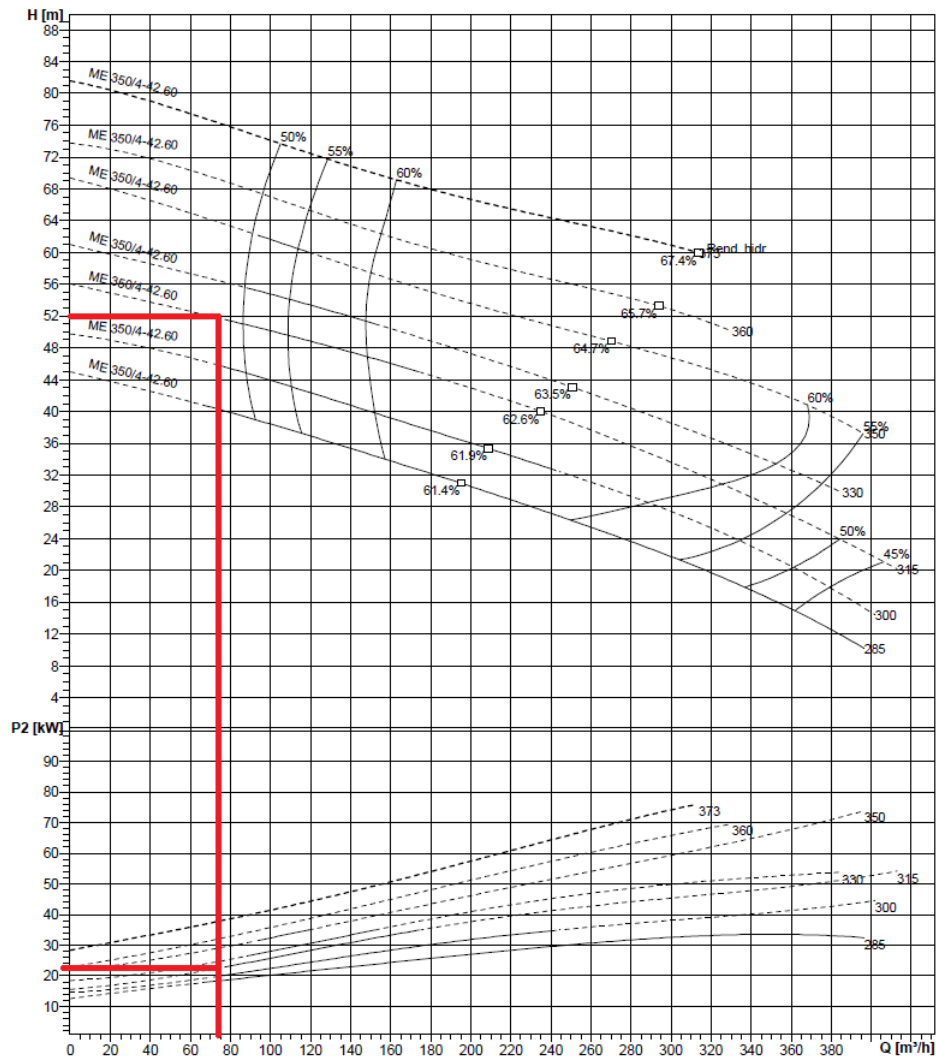


Figura 10 – Ponto de operação nominal da bomba 1 da Estação Elevatória Beta de acordo com o catálogo do fabricante.

Altura manométrica (m)	Vazão ( $m^3/h$ )	Eficiência (%)	Potência (kW)
54	72	48	22

Tabela 3 – Características da bomba 2 da Estação Elevatória Beta.

O ponto de trabalho da bomba 2 encontra-se operando em uma eficiência abaixo da ideal, de 48%. De acordo com o catálogo do fabricante, essa bomba pode chegar a uma eficiência de 62,60%, caso a vazão de recalque fosse de  $300 m^3/h$ .

De acordo com o ponto de operação do sistema, a potência no eixo da bomba 2 necessária é de 22 kW, valor 50% inferior à potência nominal do motor, de 51,39 CV (ou 37,8 kW).



### 4.2.5 Curva do Sistema

A perda de carga é calculada através do Método de Hazen-Williams, que é o método mais empregado no transporte de esgoto em canalizações diversas com diâmetro maior que 50 mm (BARRAL, 2014):

$$Hg(m.c.a) = \frac{10,65 \cdot Q^{1,852} \cdot L}{C^{1,852} \cdot D^{4,87}} \quad (4.1)$$

No caso da EE Condomínio Privê, temos:

Q – vazão ( $m^3/s$ );

L – 908 m;

C – Coeficiente de Hazen-Williams = 58 (tubulações de Ferro Fundido em condições severas com 30 anos);

D – 0,25 m.

Dessa forma, teremos então  $Hg = 4.483,31 \times Q^{1,852}$ , gerando a curva representada na Fig. (11).

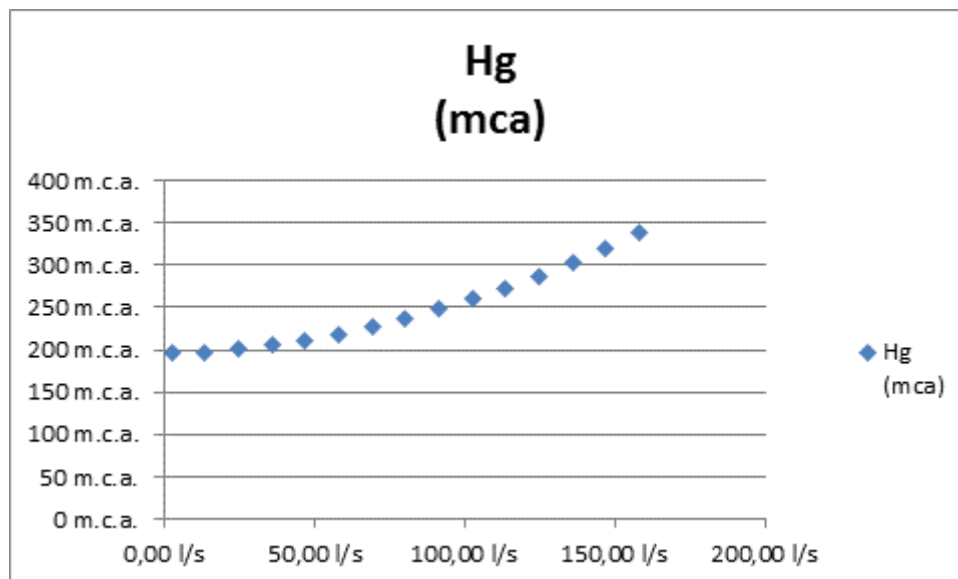


Figura 11 – Curva do sistema da Estação Elevatória Beta.

## 4.3 Características das Instalações Elétricas

A alimentação do quadro elétrico, que se encontra em bom estado, provém de uma subestação simplificada, com um transformador de 13,8 kV para 380 V no poste, ao tempo e com potência de 150 kVA, conforme mostrado na Fig. (12).

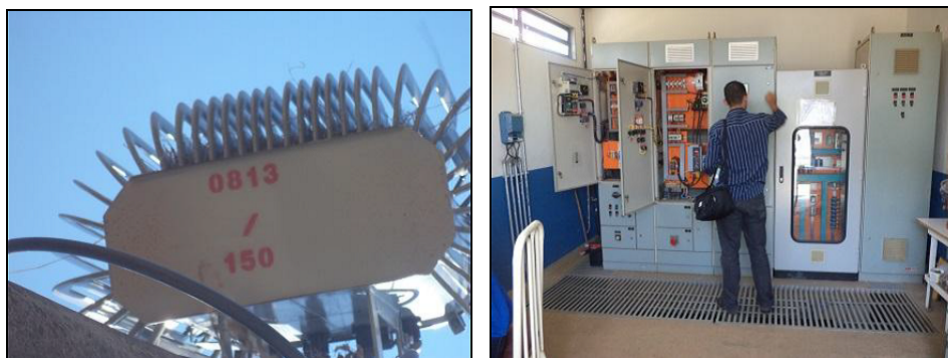


Figura 12 – Transformador e quadro elétrico da Estação Elevatória Beta.

O acionamento dos motores é feito por dois Softstarters da marca Danfoss, modelo VLT Softstarter, com capacidade para 50 HP, conforme ilustrado na Fig. (13).



Figura 13 – Softstarters Danfoss da Estação Elevatória Beta.

Esta estação elevatória possui três bancos de capacitores de 10 kVAR cada, marca Siemens, modelo B32340 PHASKO, com acionamento manual.



Figura 14 – Banco de capacitores da Estação Elevatória Beta.

A estação possui ainda um grupo gerador de 163/180 kVA da STEMAC, instalado para operação em emergência, no caso de falta de energia. Esta potência é suficiente para alimentar todas as cargas elétricas da elevatória.



Figura 15 – Grupo motor gerador da Estação Elevatória Beta com destaque para a placa de características técnicas.

Após o trabalho de campo nesta elevatória foi elaborado o diagrama unifilar atualizado, no qual é mostrado na Fig. (16).

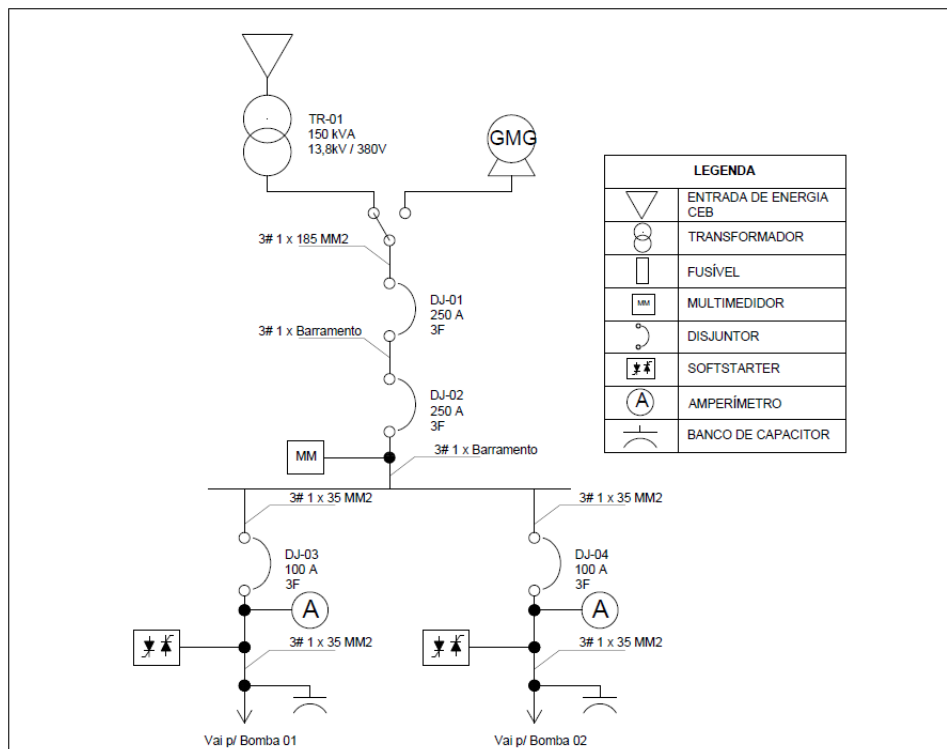


Figura 16 – Diagrama unifilar elétrico da Estação Elevatória Beta.

## 4.4 Medição de Grandezas Elétricas Nas Subestações de Alimentação das Elevatórias

Foram coletadas entre os dias 01/04/2014 a 03/04/2014 medidas de tensão, corrente, potência ativa, potência reativa, frequência, fator de potência, consumo ativo e harmônicos referentes à subestação da Estação Elevatória Beta. Os resultados são expostos em gráficos pelo analisador de energia e em seguida os valores são interpretados em tabela.

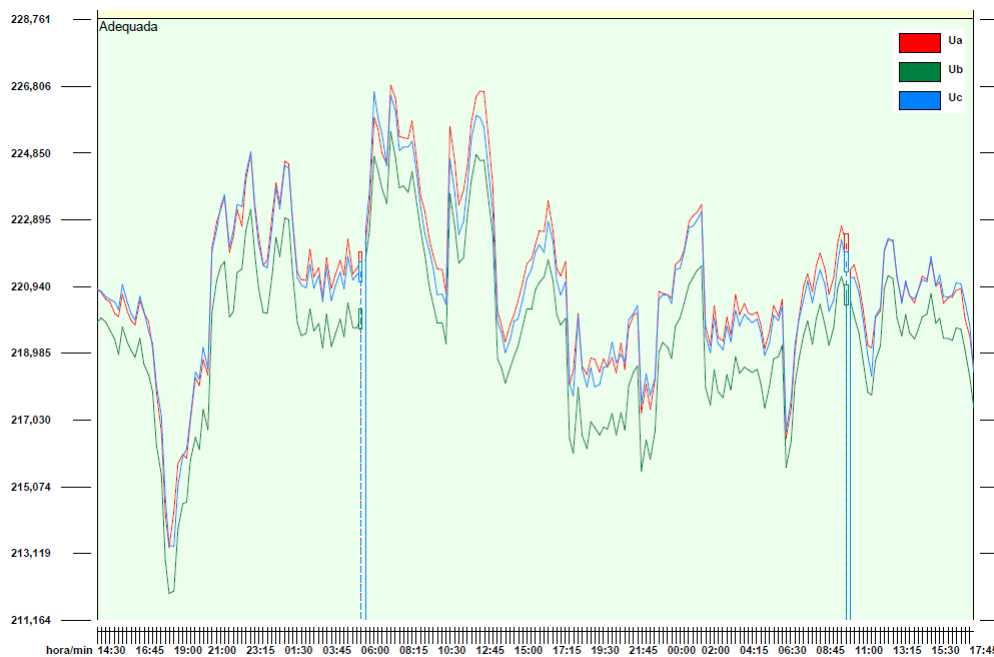


Figura 17 – Tensão (V) registrada na subestação da Estação Elevatória Beta

TENSÃO (V)						
	Ponta			Fora de Ponta		
Fase	Mínimo	Média	Máxima	Mínimo	Médio	Máximo
A	216,49	221,40	226,84	213,29	217,70	221,67
B	215,53	219,92	225,48	211,95	215,98	220,01
C	216,71	221,22	226,64	213,33	217,59	221,08

Tabela 4 – Tensão mínimo, médio e máximo registrado da Estação Elevatória Beta.

Os gráficos das demais medidas elétricas registradas estão disponíveis no anexo A e os resultados das medidas encontram-se mostrados nas tabelas a seguir:

CORRENTE (A)						
	Ponta			Fora de Ponta		
Fase	Mínimo	Média	Máxima	Mínimo	Médio	Máximo
A	0,60	18,74	104,70	15,30	22,20	36,00
B	0,30	16,74	92,10	13,20	19,43	30,90
C	0,30	16,31	93,60	13,20	19,19	31,20

Tabela 5 – Corrente mínimo, médio e máximo registrado da Estação Elevatória Beta.

POTÊNCIA ATIVA (W)						
	Ponta			Fora de Ponta		
Fase	Mínimo	Média	Máxima	Mínimo	Médio	Máximo
A	133,40	3492,12	19093,62	2812,65	4154,25	7016,15
B	66,14	3056,45	16920,94	2515,22	3668,00	6045,89
C	66,54	2894,07	16274,27	2354,66	3447,92	5840,47

Tabela 6 – Potência ativa mínimo, médio e máximo registrado da Estação Elevatória Beta.

POTÊNCIA REATIVA (VAR)						
	Ponta			Fora de Ponta		
Fase	Mínimo	Média	Máxima	Mínimo	Médio	Máximo
A	202,60	2214,87	12509,31	1450,28	2454,82	3919,44
B	176,96	1851,98	10639,30	1197,44	2023,78	3270,03
C	178,18	2179,90	12434,45	1473,39	2339,87	3593,82

Tabela 7 – Potência reativa mínimo, médio e máximo registrado da Estação Elevatória Beta.

FREQUÊNCIA (Hz)						
	PONTA			FORA DE PONTA		
FASE	MÍNIMA	MÉDIA	MÁXIMA	MÍNIMA	MÉDIA	MÁXIMA
TOTAL	59,47	59,95	60,10	59,91	59,96	60,00

Tabela 8 – Frequência mínimo, médio e máximo registrado da Estação Elevatória Beta.

FATOR DE POTÊNCIA						
	PONTA			FORA DE PONTA		
FASE	MÍNIMA	MÉDIA	MÁXIMA	MÍNIMA	MÉDIA	MÁXIMA
TOTAL	0,69	0,84	0,94	0,75	0,84	0,92

Tabela 9 – Fator de potência mínimo, médio e máximo registrado da Estação Elevatória Beta.

FASE	Fora de ponta				Ponta			
	kWh	kWh(g)	kVArh	kVAh	kWh	kWh(g)	kVArh	kVAh
A	67,689	0,000	41,772	79,541	9,279	0,000	5,756	10,919
B	59,662	0,000	34,768	69,053	7,950	0,000	4,864	9,320
C	56,153	0,000	40,456	69,209	7,755	0,000	5,771	9,667
Total	183,504	0,000	116,997	217,628	24,985	0,000	16,391	29,882

Figura 18 – Consumo ativo (kWh) registrado na subestação da Estação Elevatória Beta

## 5 Análise dos Resultados

### 5.1 Descrição do Sistema Elétrico

#### 5.1.1 Características do Sistema

- Contrato de compra de energia junto à CEB Distribuição no grupo A na modalidade convencional e demanda contratada de 68 kW nos horários de ponta e fora de ponta.
- Distribuição elétrica trifásica, em 60 Hz, sendo 380V (alimentação dos motores.) e 220V (lâmpadas, demais equipamentos que compõe o quadro de alimentação das bombas.).
- O consumo anual de energia elétrica é da ordem de 173,225 MWh, ao custo total de R\$ 53827 ao ano, ao custo médio de 0,31 R\$/kWh.

#### 5.1.2 Consumo Histórico de Energia

A seguir são apresentados os resumos das faturas de energia elétrica fornecidas pelo cliente.

Mês	Ano	Demanda			
		Medida (kW)	Contratada (kW)	Tarifa (R\$)	Custo (R\$)
OUT	2012	55,00	68,00	18,63	1267
NOV	2012	37,00	68,00	17,64	1200
DEZ	2012	55,00	68,00	17,74	1206
JAN	2013	80,00	80,00	17,65	1412
FEV	2013	57,00	68,00	17,65	1200
MAR	2013	53,00	68,00	14,80	1006
ABR	2013	55,00	68,00	14,73	1002
MAI	2013	53,00	68,00	14,40	979
JUN	2013	51,00	68,00	14,51	987
JUL	2013	53,00	68,00	14,42	980
AGO	2013	49,00	68,00	14,54	989
SET	2013	39,00	68,00	14,36	976
MÉDIA		53,08	69,00		1100

Tabela 10 – Histórico de demanda da Estação Elevatória Beta.

Mês	Ano	Consumo Ativo		
		Medido (kWh)	Tarifa (R\$)	Custo (R\$)
OUT	2012	11275	0,21	2323
NOV	2012	8610	0,21	1797
DEZ	2012	15580	0,21	3269
JAN	2013	17015	0,21	3553
FEV	2013	15785	0,21	3295
MAR	2013	19885	0,17	3335
ABR	2013	15990	0,17	2664
MAI	2013	20295	0,16	3306
JUN	2013	15170	0,16	2490
JUL	2013	12915	0,16	2106
AGO	2013	10045	0,16	1652
SET	2013	10660	0,16	1731
MÉDIA		14435		2627

Tabela 11 – Histórico de consumo ativo da Estação Elevatória Beta.

Mês	Ano	Consumo reativo		
		Medido (kVArh)	Tarifa (R\$)	Custo (R\$)
OUT	2012	3895	0,00	0
NOV	2012	3690	0,00	0
DEZ	2012	8610	0,02	167
JAN	2013	10045	0,03	340
FEV	2013	10250	0,03	320
MAR	2013	12505	0,02	290
ABR	2013	10250	0,02	248
MAI	2013	12710	0,02	283
JUN	2013	10045	0,02	258
JUL	2013	7585	0,02	141
AGO	2013	5945	0,02	114
SET	2013	6355	0,02	123
MÉDIA		8490		190

Tabela 12 – Histórico de consumo reativo da Estação Elevatória Beta.



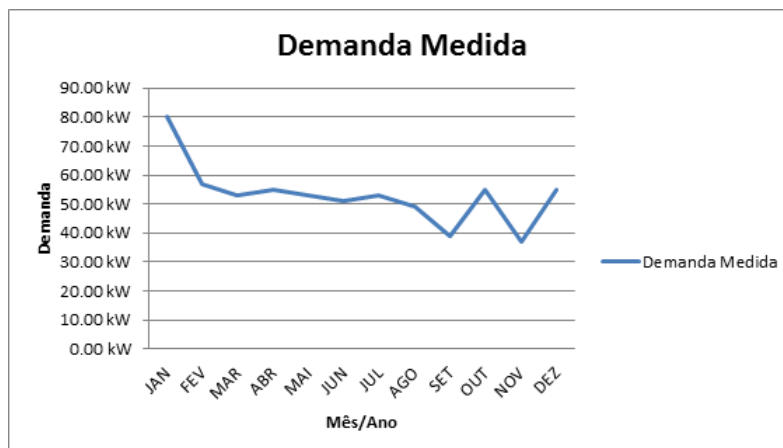


Figura 19 – Demanda medida da Estação Elevatória Beta

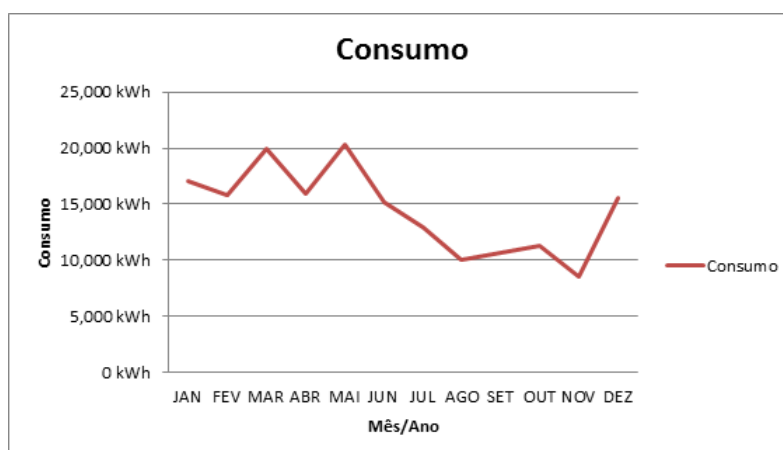


Figura 20 – Consumo medido da Estação Elevatória Beta.

O perfil sazonal de consumo desta elevatória varia muito, de fevereiro a junho o consumo sofre uma oscilação de aumento e diminuição em níveis bem próximos. Nos meses de junho, julho e agosto apresentam uma diminuição de consumo quase de forma linear. Vale destacar que maio foi o mês que obteve o maior consumo, já novembro foi registrado o menor consumo de energia elétrica.

Quanto à demanda, janeiro foi o mês que apresentou a maior medida o que não bate junto com o mês de maior consumo, porém em novembro onde obtemos o menor consumo também foi registrado a menor demanda. De fevereiro a agosto a demanda medida se mantém em níveis próximos sem muita variação.

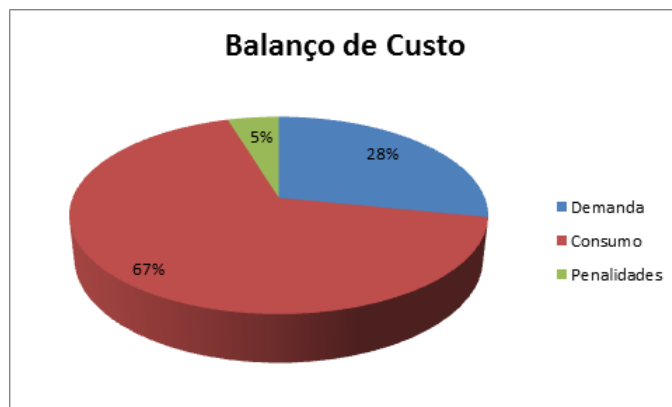


Figura 21 – Gráfico de balanço de custos com energia elétrica da Estação Elevatória Beta.

Observou-se que o consumo representa 67% do total gasto com energia elétrica anualmente, enquanto a demanda representa 28%. Para termos uma maior eficiência do sistema, o trabalho de análise deve ser focado na variável que possui a maior porcentagem de gasto, que no caso da Estação Elevatória Beta é o consumo de energia. Fazer uma avaliação da eficiência do conjunto motor-bombas e se possível realizar uma proposta de substituição dos conjuntos são primordiais para a eficiência do sistema.

Com as faturas adquiridas ao longo de um ano foram feitas simulações para ver qual contrato de energia elétrica seria melhor para esta elevatória, então foi confirmada que o grupo A na modalidade convencional é a melhor opção de contrato, no qual é a situação que se encontra atualmente. Para garantir a eficiência energética na fatura de energia elétrica, deve-se diminuir a demanda contratada que se encontra muito superior à demanda registrada, deste modo podemos diminuir no mínimo 10kW dos valores atuais e por consequência abaixar a porcentagem de gasto com a demanda de energia.

## 5.2 Análise das Medidas do Sistema Elétrico

### 5.2.1 Qualidade de Energia Elétrica

A maior tensão fase-neutro registrada no período foi de 226,84 V e a menor, 211,95 V. O valor mínimo foi 4% menor que a tensão nominal, de 220 V, dentro da tolerância recomendada pela ANEEL, que é de 5% (ANEEL, 2010a) . O valor máximo ficou 3% acima da tensão nominal, valor enquadrado na tolerância supra.

Foi observado ainda um pequeno desequilíbrio de tensão na fase S em relação as outras fases (R e T). Esse desequilíbrio variou de 0,66% (1,17 V) a 0,81% (1,77 V), com valores absoluto mínimo de 211,95V e máximo de 226,84V. Este desequilíbrio de tensão não provoca grandes efeitos no sistema elétrico da elevatória de esgoto como um todo, porém o melhor para a instalação é que todas as fases estejam no mesmo nível de tensão

Na subestação elétrica as três fases apresentaram desequilíbrio de corrente entre si, variando de 11,7% (2,1 A) a 16,7% (3,6 A), com valor absoluto mínimo de 5,4 A e máximo de 104,7 A. No consumo ativo, o desequilíbrio entre fases foi superior a 17%, sendo a fase R a mais sobrecarregada. Este desequilíbrio de fase está ligado diretamente ao estado de conservação do conjunto motor-bomba, indicando que uma análise sobre os conjuntos é realmente necessária.

Já as correntes no conjunto motor-bomba obteve valores muito abaixo dos valores nominais indicando que os motores estão sobredimensionados para as necessidades reais provocando um acréscimo no consumo de energia.

Bomba	Corrente Máxima (A)			Corrente Trifásica (A)	
	R	S	T	Média	Nominal
1	21	19	18	7	61
2	25	26	24	3	57

Tabela 13 – Correntes registradas nos conjuntos motor-bomba Estação Elevatória Beta.

Durante o período de medição, foi constatado um fator de potência médio de 0,837 e frequência estável com valor médio de 60 Hz durante a operação da bombas.

Foi constatada a presença de harmônicos de 3<sup>a</sup> e 5<sup>a</sup> ordem na subestação elétrica com destaque da distorção de 5<sup>a</sup> ordem que apresentam valores mais altos do que os harmônicos de 3<sup>a</sup> ordem. Estes valores registrados encontram-se dentro do esperado para uma instalação de uma elevatória de esgoto.

## 5.2.2 Comportamento Operacional do Sistema

Nas tabelas 14 e 15 mostra o comportamento de vazão e nível do poço de sucção registrada durante duas semanas.

Vazão de Recalque ( $m^3/h$ )			
Dia	Média	Máxima	Mínima
01/04	32,43	63,77	0,02
02/04	23,72	75,87	0,02
03/04	30,53	64,42	0,02
04/04	27,31	63,22	0,02
05/04	27,10	67,92	0,02
06/04	34,24	67,83	0,02
07/04	27,61	67,55	0,02
SEMANA 1	28,99	75,87	0,02
08/04	13,77	102,35	0,02
09/04	39,24	71,74	0,02
10/04	36,94	68,94	0,02
11/04	29,72	70,25	0,02
12/04	30,69	69,52	0,02
13/04	31,80	68,08	0,02
14/04	29,32	67,21	0,02
SEMANA 2	30,21	102,35	0,02

Tabela 14 – Vazão de recalque mínima, média e máxima da Estação Elevatória Beta.

Nível do Poço (m)			
Dia	Média	Máxima	Mínima
01/04	1,57	2,34	0,96
02/04	1,46	1,87	0,94
03/04	1,43	1,79	0,82
04/04	1,43	1,90	0,94
05/04	1,44	1,80	0,95
06/04	1,59	2,55	0,93
07/04	1,41	1,79	0,95
SEMANA 1	1,48	2,55	0,82
08/04	1,14	1,78	0,46
09/04	2,00	2,95	0,86
10/04	1,66	2,60	0,90
11/04	1,43	1,78	0,99
12/04	1,58	2,45	0,97
13/04	1,41	1,78	0,95
14/04	1,44	1,79	0,93
SEMANA 2	1,52	2,95	0,46

Tabela 15 – Nível do poço de sucção mínima, média e máxima da Estação Elevatória Beta.

A partir destes dados conclui-se que os conjuntos motor-bomba estão sendo acionada mais do que deveria, pois o poço possui 5,3m de profundidade e o maior nível registrado não chegou a 3m, assim o volume do poço esta sendo mal aproveitado. Para este processo ser mais eficiente deve-se regular o acionamento dos conjuntos que atualmente entra em operação quando o nível do poço chega próximo a 1,7m como indica a tabela abaixo.

BOMBA	POÇO (m)	POÇO (m)
	1,734	1,727
1	Desligado	Ligado
2	Ligado	Desligado

Tabela 16 – Regime de acionamento dos conjuntos motor-bomba da Estação Elevatória Beta.

Ajustar os acionamentos dos conjuntos motor-bombas quando o nível do poço estiver próximo de 2,5m diminuirá o consumo de energia e aumenta a eficiência energética do processo.

### 5.2.2.1 Bomba 1

- Frequência de acionamentos: foram registrados 20 acionamentos desta bomba.
- Tempo de funcionamento: durante a medição, registrou-se que esta bomba funcionou por um período de 5h.
- Intervalo entre partidas: aproximadamente 30 minutos.

### 5.2.2.2 Bomba 2

- Frequência de acionamentos: foram registrados 28 acionamentos desta bomba.
- Tempo de funcionamento: durante a medição, registrou-se que esta bomba funcionou por um período de 3h e 23 minutos.
- Intervalo entre partidas: aproximadamente 22 minutos.

## 5.3 Eficiência dos Conjuntos Motor-Bombas

### 5.3.1 Benchmarking

Benchmarking (ou indicador específico) é um processo de comparação de produtos, serviços e práticas empresariais, e é um importante instrumento de gestão das empresas. O benchmarking é realizado através de pesquisas para comparar as ações de cada empresa (SIGNIFICADOS, ).

O bechmarking tem o objetivo de melhorar as funções e processos de uma determinada empresa, além de ser um importante aliado para vencer a concorrência, uma vez que o benchmarking analisa as estratégias e possibilita a outra empresa criar e ter ideias novas em cima do que já é realizado (SIGNIFICADOS, ).

O indicador analisado neste relatório faz uma relação de vazão com potência ativa, ou seja, busca ver quantos metros cúbico de esgoto é bombeado com um quilowatts.

A seguir estão os indicadores específicos dos conjuntos moto-bombas coletados na Estação Elevatória Beta.

BOMBA	INDICADOR ( $m^3/h/kW$ )
1	2,900
2	3,150
Total	2,750

Tabela 17 – Benchmarking da Estação Elevatória Beta.

Para esta elevatória analisada o bechmarking nos indica que o conjunto motor-bomba 2 trabalha com maior eficiência e portanto deve ser usada com mais frequência do que o outro conjunto.

### 5.3.2 Fator de Carga e Fator de Demanda

Segundo a resolução a normativa ANEEL (2010b), o fator de carga é definido como sendo a razão entre a demanda média e a demanda máxima da unidade consumidora ocorridas no mesmo intervalo de tempo especificado. Também se pode afirmar, que o fator de carga é a razão entre a energia ativa consumida e a energia máxima que poderia ser utilizada em um dado intervalo de tempo (FAGUNDES, 2013).

$$FC = \frac{\text{Demanda Média}}{\text{Demanda Máxima}} \quad (5.1)$$

Ou também,

$$FC = \frac{\text{Consumo de Energia Ativa (kWh)}}{\text{Demanda Máxima (kW)} \times N^{\circ} \text{ de horas}} \quad (5.2)$$

O fator de demanda é a razão entre a demanda máxima num intervalo de tempo especificado e a potência instalada na unidade consumidora (FAGUNDES, 2013).

$$FD = \frac{\text{Demanda Máxima}}{\text{Potência Instalada}} \quad (5.3)$$

O fator de carga (FC) é um índice adimensional que varia de 0 a 1, e quanto mais próximo de 1, melhor a eficiência energética da instalação. Para isso a diferença entre o consumo medido (numerador) e a demanda máxima registrada deve ser a menor possível. Este resultado próximo a 1 indica que as demandas instantâneas ao longo do dia são próximas da demanda máxima. O FC é um bom indicador de como uma unidade consumidora utiliza a potência instalada no estabelecimento. Em outras palavras, permite verificar o quanto a energia está sendo utilizada de forma racional. Este índice não é tarifado pela concessionária (FAGUNDES, 2013). Já para o fator de demanda, o que se procura conhecer é o quanto dos aparelhos existentes (seja ele residencial, comercial, industrial) é usado simultaneamente. Este fator é obtido pela razão entre a demanda máxima do cliente e seu potencial de uso, ou seja, a sua potência instalada. Se este valor for próximo de 1 significa que o cliente consegue utilizar simultaneamente toda a sua potência instalada.

Tendo como base o histórico da fatura de energia elétrica o fator de carga desta elevatória está em torno de 0,66, porém o ideal seria um valor próximo de 1 o que garantia que a energia está sendo utilizada de forma racional, ou seja, está trabalhando com maior eficiência energética.

Tomando como referência as medições realizadas nesta elevatória temos que o fator de carga desta elevatória está em torno de 0,18, porém o ideal seria um valor próximo de 1, o que garantia que a energia está sendo utilizada de forma racional, ou seja, está trabalhando com maior eficiência energética.

Através destes fatores de análise podemos dizer que a instalação desta elevatória de esgoto encontra-se trabalhando muito abaixo da eficiência ideal o que garante um maior gasto com o consumo de energia elétrica, a melhor medida para aplicar a eficiência energética na instalação é com o redimensionamento dos conjuntos motor-bombas, assim podemos corrigir o fator de demanda e de consumo para um valor bem próximo do ideal.

## 5.4 Redimensionamento dos Conjuntos Motor-Bombas

### 5.4.1 Redimensionamento da Potência

Para redimensionar a potência de um motor devemos analisar o carregamento em que se encontra operando a máquina. Segundo a PROCEL (2006) o carregamento de um motor em operação junto com um controlador de velocidade (inversor de frequência) deve ser de no mínimo 70%.

O carregamento é dado por:

$$\text{Carregamento}(\%) = \frac{\text{PotênciaMédiaMedida}}{\text{PotênciaNominal}} * 100 \quad (5.4)$$

A tabela a seguir demonstra o carregamento atual dos conjuntos motor-bomba e o redimensionamento de potência propostos para a Estação Elevatória Beta.

Bomba	Potência Nominal		Carregamento (%)	Nova Potência		Carregamento Novo (%)
	CV	kW		kW	HP	
1	54	39,5	16,56	8,95	12	73,04
2	51	37,3	28,99	14,91	20	72,50

Tabela 18 – Redimensionamento das potências dos conjuntos motor-bomba da Estação Elevatória Beta.

Definiu-se um carregamento próximo dos 70%, pois a empresa de saneamento que esta sendo auditada não dispõe sempre de recursos para adquirir novos conjuntos de motor-bombas para a unidade, então valores próximos de 70% garante uma segurança a respeito do aumento de demanda pela estação elevatória, porém o ideal para eficiência energética seria um carregamento bem próximo do 100%.



## 5.4.2 Análise de Viabilidade econômica usando o software RETScreen

### 5.4.2.1 O RETScreen

RETScreen é um software de análise de projetos de energia limpa baseado em Excel que ajuda os tomadores de decisões a determinarem rápida e economicamente a viabilidade técnica e financeira de projetos potenciais, de eficiência energética e de projetos de cogeração (NRCAN, 2014).

Na versão 4 do RETScreen, a capacidade do software foi expandida para incluir, além da energia renovável, cogeração e energia distrital, uma variedade de formas limpas de energia, tecnologias de aquecimento e refrigeração e medidas de eficiência energética, financeiramente viáveis. O atrativo internacional dessa ferramenta de apoio na tomada de decisões foi aprimorado através da expansão dos dados climáticos requerida por essa ferramenta, cobrindo a inteira superfície do planeta, inclusive as áreas cobertas por redes elétricas centrais, redes isoladas e áreas isoladas das redes, além da tradução do software em 36 idiomas que cobrem aproximadamente 2/3 da população mundial (NRCAN, 2014).

Os pontos principais desse esforço significativo são os seguintes (NRCAN, 2014):

- Desenvolvimento de um conjunto de novos modelos para a avaliação de medidas de eficiência energética em edifícios residenciais, comerciais e institucionais; comunidades; e instalações industriais e processamento.
- Expansão da RETScreen Climate Database para 6.700 locais de estações terrestres ao redor do globo e a incorporação direta ao software RETScreen do aperfeiçoado conjunto de dados NASA Surface Meteorology and Solar Energy para áreas habitadas.
- Integração dos modelos RETScreen existentes para energia renovável (ex. energia eólica) e a cogeração com novos modelos para medidas de eficiência energética, tudo em um único arquivo de software além da expansão da capacidade dos modelos existentes para avaliação de tecnologias emergentes, tais como aquelas baseadas em correntes oceânicas e nos efeitos das ondas marítimas.
- Tradução do arquivo único de software integrado e bancos de dados em 36 idiomas (ex. chinês, francês, alemão, hindi, italiano, português, russo, espanhol etc.).
- Ampla disseminação da ferramenta através do Website da RETScreen, com treinamento orientado local e disseminação por uma rede internacional de instrutores e parceiros da RETScreen.

5.4.2.2 Análise de Viabilidade Econômica Para Substituição dos Conjuntos Motor-Bombas

5.4.2.2.1 Análise de Viabilidade Econômica Considerando Capital Próprio

A análise foi feita no RETScreen versão 4, inicialmente foram colocados os dados pertinentes ao projeto, ou seja, escolhemos o tipo de projetos, moeda, idioma, unidades de medidas como mostrado na Fig.(41).



Figura 22 – Dados iniciais do projeto.

O segundo passo da análise é escolher o local do projeto, onde o software irá buscar os dados climáticos da região.

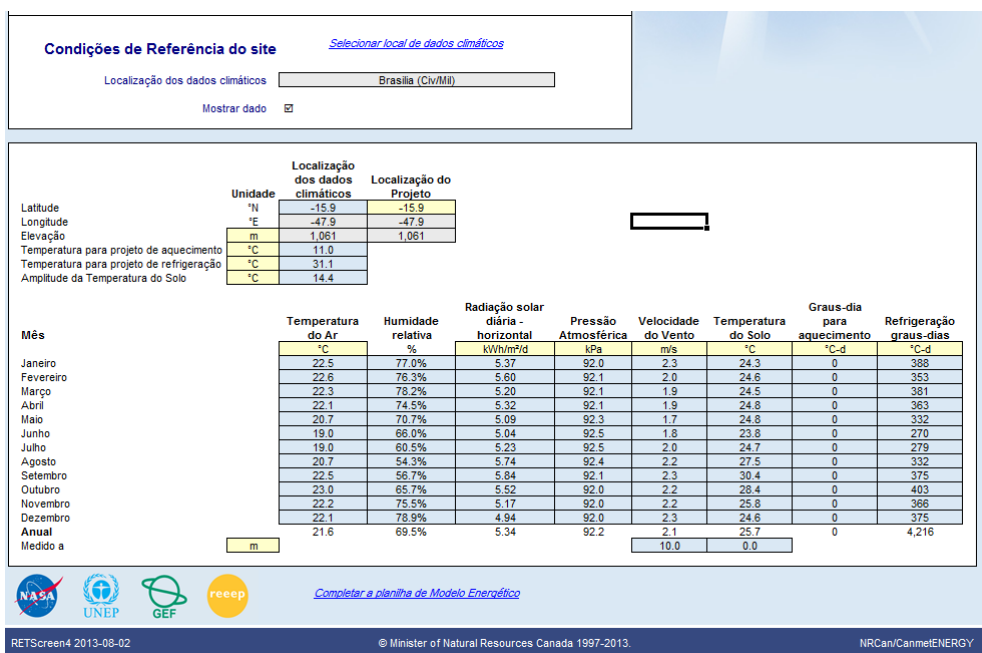


Figura 23 – Dados climáticos para Brasília.

A próxima etapa foi colocar o preço da eletricidade (R\$/kWh), que no nosso caso foi obtida através do preço médio das 12 faturas mensais de energia disponibilizada pela empresa de saneamento.

Modelo Energético RETScreen - Projeto de ações de eficiência energética

Combustíveis & horários Mostrar dado

Combustível	Tipo de Combustível 1	Tipo de Combustível 2	Tipo de Combustível 3	Tipo de Combustível 4	Tipo de Combustível 5	Tipo de Combustível 6	
Tipo de Combustível	Eletricidade						
Consumo de combustível - unitário	kWh						
Preço combustível - unidade	R\$/kWh						
Preço do combustível	0,180						
Horário	Unidade	Horário 1	Horário 2	Horário 3	Horário 4	Horário 5	Horário 6
Descrição		24/7	Ocupado	Ocupado	Ocupado	Ocupado	Ocupado
Temperatura - aquecimento ambiental	°C						
Temperatura - refrigeração ambiental	°C						
Temperatura - desocupado	+/-°C						
Taxa de ocupação - diária		h/d					
Segunda Feira		24					
Terça feira		24					
Quarta feira		24					
Quinta feira		24					
Sexta feira		24					
Sábado		24					
Domingo		24					
Taxa de ocupação - anual	h/ano	8.760					
	%	100%					
Temperatura de comutação aquec./refrigeração	°C	16,0					
Duração da estação de calor	d	0					
Duração da estação de frio	d	365					

Figura 24 – Dados do preço de energia elétrica.

Em seguida foram colocados os dados do conjunto motor-bomba de referência e proposto para o projeto. As Figuras (44) e (45) mostram o preenchimento dos dados para o conjunto 1 e conjunto 2 respectivamente. No tipo de fluxo também é analisada a eficiência de um inversor de frequência no processo, no caso proposto é inserida a opção Variável que inclui o inversor no processo.

RETScreen

Bombas 1 2 3 4 5 Descrição Bomba 1

Motor		Caso de referência		Caso proposto	
			Eficiência nominal		Eficiência nominal
Tipo					
Capacidade	kW	39.5		8.95	
Eficiência - plena carga	%	54		84.0	
Fator de carga	%	70		198.6	
Eficiência - condições de operação	%	53.5		716.4	
Carga do eixo do motor	kW	27.7		17.8	
<b>Bomba</b>					
Eficiência	%	54		84	
Carga de fluido - regime pleno	kW	14.9		14.9	
Tipo de fluxo		Constante		Variável	
Intervalo de fluxo				Baixo	
Tipo controle de fluxo				Velocidade variável	
Horas de operação	h/d	10		10	
Custo inicial incremental	R\$			17,860	
Economia de O&M incremental	R\$				
Número de bombas		1		1	
Demanda de eletricidade	MWh	187		24	87.4%

Impacto climatização ambiental  Sim  Não

Impacto aquecimento ambiental  Sim  Não

Figura 25 – Descrição do caso referência e proposto para o conjunto motor-bomba 1.

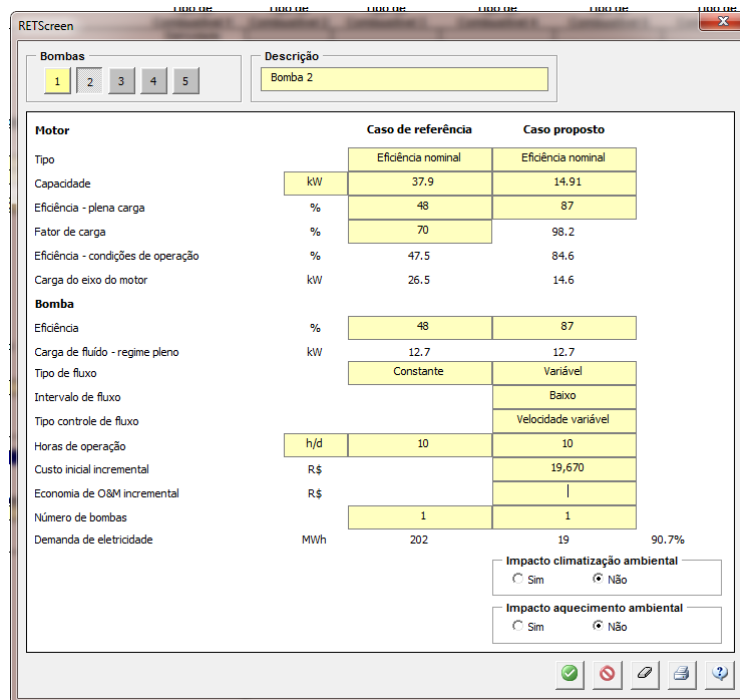


Figura 26 – Descrição do caso referência e proposto para o conjunto motor-bomba 2.

A Figura (46) mostra a confirmação dos dois conjuntos inserido para análise do software.

Características da instalação									
Mostrar:	Aquecimento	Refrigeração	Eletricidade	Custo inicial incremental	Economia - custo de combustível	Economia de O&M incremental	Retorno simples	Inclui a medida ?	
	GJ	GJ	GJ	R\$	R\$	R\$	ano		
<b>Economia de combustível</b>									<input type="checkbox"/>
<a href="#">Sistema de Aquecimento</a>									
<a href="#">Sistema de refrigeração</a>									
<a href="#">Inclútro do prédio</a>									
<a href="#">Ventilação</a>									
<a href="#">Lâmpadas</a>									
<a href="#">Equipamento elétrico</a>									
<a href="#">Água quente</a>									
<a href="#">Bombas</a>									
Bomba 1	-	-	588	17,860	29,401	0	0.6		<input checked="" type="checkbox"/>
Bomba 2	-	-	659	19,670	32,942	0	0.6		<input checked="" type="checkbox"/>
<a href="#">Ventiladores</a>									
<a href="#">Motores</a>									
<a href="#">Eletricidade de processo</a>									
<a href="#">Calor do processo</a>									
<a href="#">Vapor do processo</a>									
<a href="#">Perdas de vapor</a>									
<a href="#">Recuperação de Calor</a>									
<a href="#">Ar comprimido</a>									
<a href="#">Refrigeração</a>									
<a href="#">Outro</a>									
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1,247</b>	<b>37,530</b>	<b>62,342</b>	<b>0</b>	<b>0.60</b>		

Figura 27 – Confirmação dos dados dos conjuntos motor-bombas.

A seguir o RETScreen faz um resumo de comparação do caso proposto e do caso de referência.

Resumo		Mostrar dado							
		Combustível		Caso de referência		Caso proposto		Economia - custo de combustível	
Tipo de Combustível		Consumo de combustível - unitário	Preço do combustível	Consumo de combustível	Custo do combustível	Consumo de combustível	Custo do combustível	Economia de combustível	Economia - custo de combustível
Elettricidade		MWh	180.000	388,6	69.954	42,3	7,612	346,3	62,342
Verificação do projeto		Consumo de combustível - unitário	Consumo de combustível - histórico	Consumo de combustível - Caso de referência	Consumo de combustível - variância				
Elettricidade		MWh		388,6					
Consumo de combustível		Aquecimento GJ	Refrigeração GJ	Elettricidade GJ	Total GJ				
Consumo de combustível - caso de referência				1,399	1,399				
Consumo de combustível - caso proposto				152	152				
Economia de combustível				1,247	1,247				
Economia de combustível - %				89,1%	89,1%				

Figura 28 – Comparação do caso proposto e do caso de referência.

Após inserir os dados do sistema de geração fotovoltaico o RETScreen já apresenta resultados relacionados a emissões de toneladas de gás carbônico. Assim, para o nosso caso ocorrerá uma redução líquida de emissão de 30,1 tonelada de gás carbonico o que equivale a aproximadamente 12912 litros de gasolina não consumida.

Análise de Emissões				
Sistema elétrico de referência (Baseline)		Fator de Emissão de GEE (excl. T&D)	Perdas T&D	Fator de emissão de GEE
Pais - região	Tipo de	tCO2/MWh	%	tCO2/MWh
Brazil	Todos os tipos	0,087		0,087
Emissão de GEE				
Caso de referência	tCO2	33,7		
Caso proposto	tCO2	3,7		
Redução anual bruta de emissões de GEE	tCO2	30,1		
Custo de transação dos créditos de GEE	%			
Redução anual líquida de emissões de GEE	tCO2	30,1	é equivalente a	12,912 Litros gasolina não consumidos
Receita pela redução de GEE				
Crédito para redução de GEE	RS/tCO2			

Figura 29 – Resultados das emissões.

Para a análise financeira considerando o projeto todo sendo custeado por capital próprio da empresa de saneamento, adicionamos o preço da instalação das máquinas e dos inversores de frequência (R\$ 25000,00) além do preço anual da manutenção preventiva anual de (R\$ 6000,00).

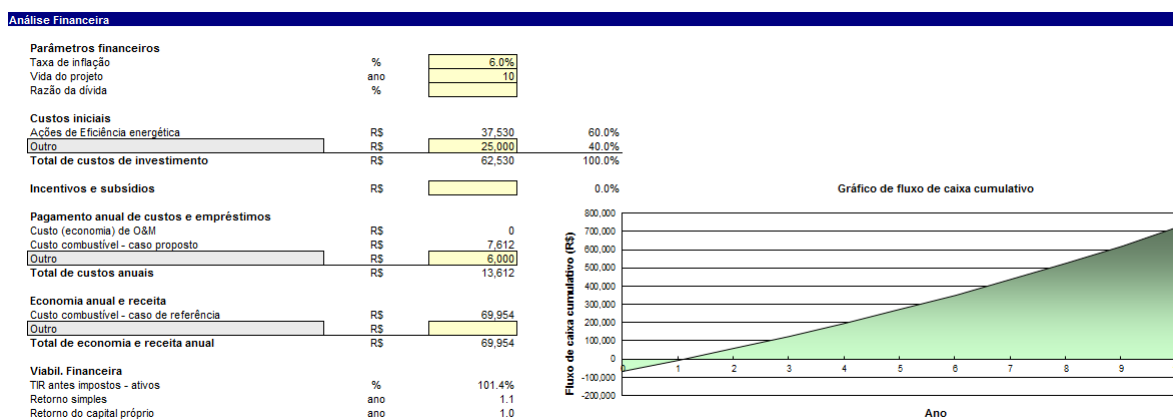


Figura 30 – Fluxo de caixa do projeto com capital próprio da empresa de saneamento.

Através do fluxo de caixa do projeto pode-se dizer que é um investimento muito atrativo para empresa, pois em um pouco mais de ano ele abate o preço inicial investido com os conjuntos motor-bombas, passando quase 9 anos com os lucros adquiridos pelas medidas de eficiência energética.

#### 5.4.2.2.2 Análise de Viabilidade Econômica Considerando 100% financiado

Para fazer a análise econômica considerando 100% do projeto financiado só será necessário modificar a área de análise financeira do RETScreen. A partir dos dados fornecidos pelo banco Alfa o financiamento de 100% terá uma taxa de 12% ao ano no período de 10 anos. Assim, estes dados são colocados no software.

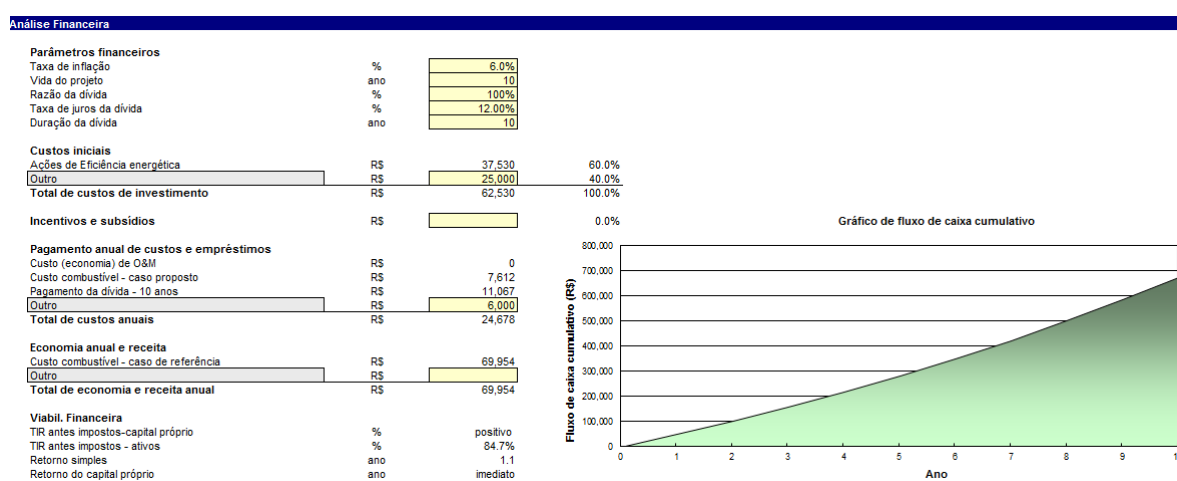


Figura 31 – Fluxo de caixa do projeto financiado.

O fluxo de caixa do projeto financiado também nos mostra que as medidas para eficiência energética são totalmente viáveis.

#### 5.4.2.3 Análise de Viabilidade Econômica Para Geração de Energia Solar

Para aumentar a eficiência energética no processo, seria de alguma maneira gerar energia elétrica para a rede. Na Estação Elevatória Beta existe uma área de 15m x 15m que não é utilizada, este espaço pode ser bem aproveitado para geração de energia elétrica fotovoltaica.

A empresa de serviços de geração fotovoltaica XX ofereceu a melhor condição para instalar o sistema completo, com investimento de R\$ 100000,00 e geração de energia elétrica de 1710 kWh/mês. Partindo destas garantias oferecidas pela empresa XX foi feita a análise econômica do sistema para confirmar se o investimento é viável ao longo da vida útil do sistema, que é cerca de 20 anos. Podemos fazer duas análises econômicas, a primeira considerando o investimento próprio da companhia de saneamento a outra possibilidade é considerar o projeto 100% financiado.

### 5.4.2.3.1 Análise de Viabilidade Econômica Considerando Capital Próprio

A análise foi feita no RETScreen versão 4, inicialmente foram colocados os dados pertinentes ao projeto, ou seja, escolhemos o tipo de projetos, moeda, idioma, unidades de medidas como mostrado na Fig.(51).



Figura 32 – Dados inicial do projeto.

O segundo passo da análise é escolher o local do projeto, onde o software irá buscar os dados climáticos da região.

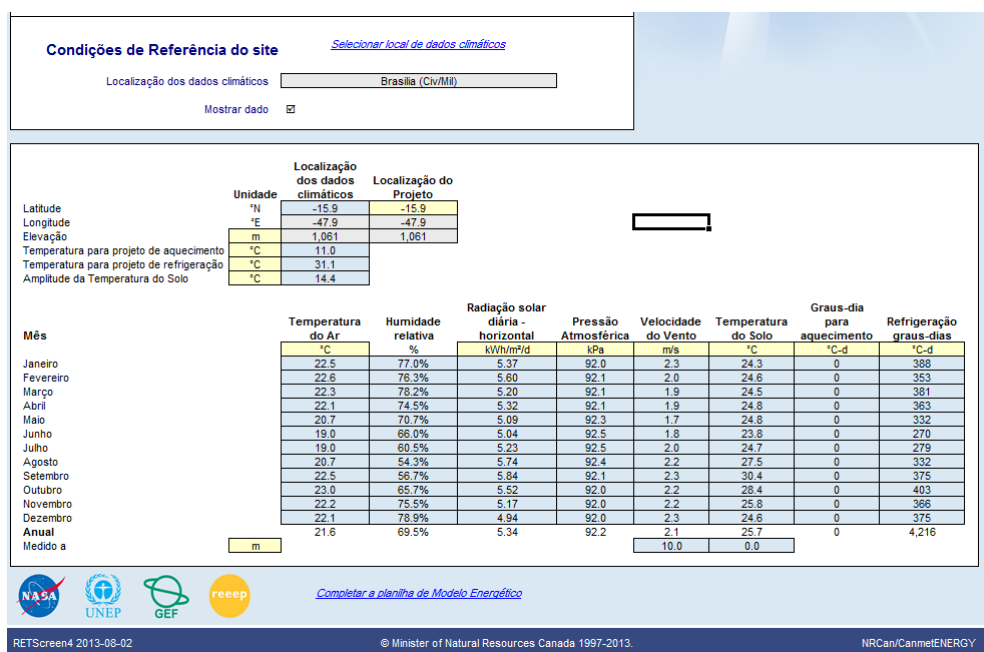


Figura 33 – Dados climáticos para Brasília.

Em seguida são colocados os dados do posicionamento solar e os dados do preço da eletricidade exportada para rede, este preço está de acordo com a fatura adquirida junto a empresa de saneamento no período de 12 meses.

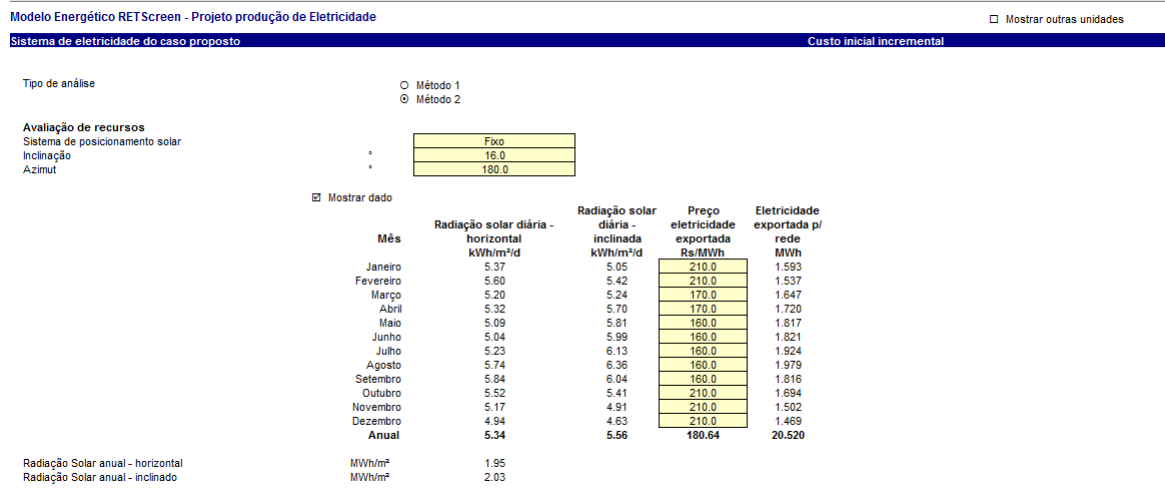


Figura 34 – Escolha do sistema de posicionamento solar e o preço da eletricidade exportada.

Agora são colocados os dados do sistema de geração fotovoltaica, esses dados foram oferecidas pela empresa XX que irá fazer o trabalho de instalação do sistema.

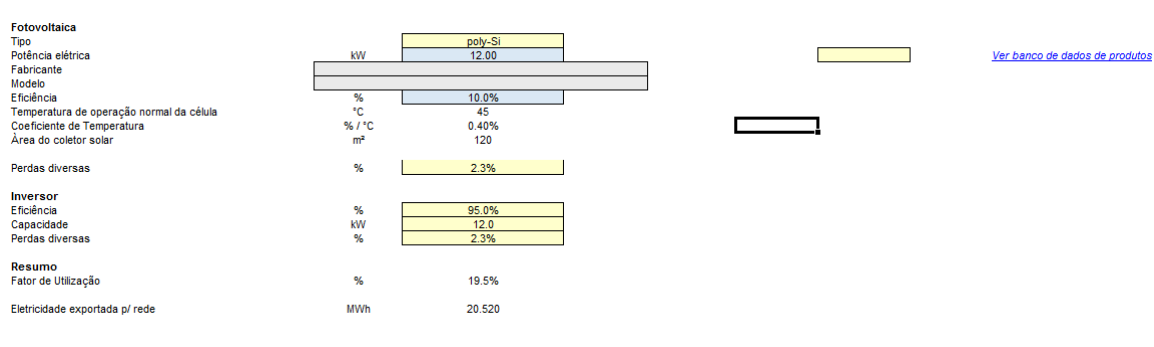


Figura 35 – Dados do sistema de geração fotovoltaico.

Após inserir os dados do sistema de geração fotovoltaico o RETScreen já apresenta resultados relacionados a emissões de toneladas de gás carbônico. Assim, para o nosso caso ocorrerá uma redução líquida de emissão de 1,8 tonelada de gás carbonico o que equivale a aproximadamente 765 litros de gasolina não consumida.



Análise de Emissões				
Sistema elétrico de referência (Baseline)		Fator de Emissão de GEE (excl. T&D)	Perdas T&D	Fator de emissão de GEE
Pais - região	Tipo de	tCO2/MWh	%	tCO2/MWh
Brazil	Todos os tipos	0.067		0.067
Elettricidade exportada pl rede		MWh	21	Perdas T&D
<b>Emissão de GEE</b>				
Caso de referência	tCO2	1.8		
Caso proposto	tCO2	0.0		
Redução anual bruta de emissões de GEE	tCO2	1.8		
Custo de transação dos créditos de GEE	%			
Redução anual líquida de emissões de GEE	tCO2	1.8	é equivalente a	765 Litros gasolina não consumidos
Receita pela redução de GEE	R\$/tCO2			
Crédito para redução de GEE	R\$/tCO2			

Figura 36 – Resultados das emissões.

Este é o último passo, onde ocorre a análise financeira do projeto, ou seja, são colocados os custos do projeto, os gastos adicionais, tempo de vida do projeto. Neste caso, considerando o projeto com capital próprio da empresa de saneamento e o tempo de vida útil do sistema de geração fotovoltaico de 20 anos, o resultado está apresentado no fluxo de caixa da Fig.(56).

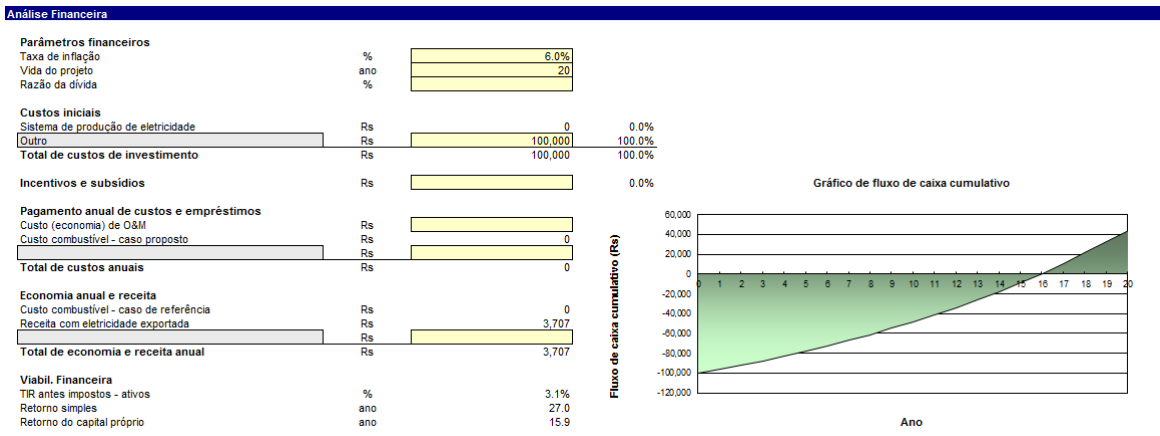


Figura 37 – Fluxo de caixa do projeto com capital próprio da empresa de saneamento.

A partir do fluxo de caixa apresentado do projeto temos que levará 16 anos para a empresa abater o investimento e depois obtendo 4 anos de lucro. O baixo preço de venda da energia elétrica no Distrito Federal e a falta de incentivo governamentais para geração de energia fotovoltaica explica o longo período para abater o valor investido inicialmente.

#### 5.4.2.3.2 Análise de Viabilidade Econômica Considerando 100% financiado

Para fazer a análise econômica considerando 100% do projeto financiado só será necessário modificar a área de análise financeira do RETScreen. A partir dos dados fornecidos pelo banco Alfa o financiamento de 100% de R\$ 100000,00 terá uma taxa de 12% ao ano no período de 20 anos. Assim, estes dados são colocados no software.

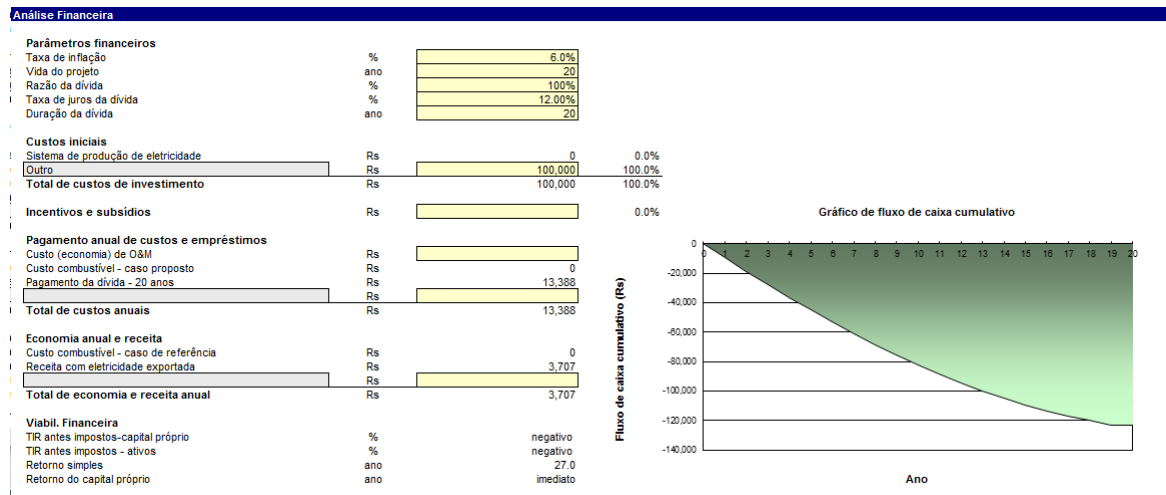


Figura 38 – Fluxo de caixa do projeto financiado.

O fluxo de caixa nos mostra que o sistema de geração fotovoltaica financiado é completamente inviável, pois a dívida dos 12% ao ano é maior do que o valor arrecadado com exportação de energia elétrica, desta maneira, a cada ano o fluxo de caixa do projeto fica mais negativo.

## 6 Conclusão

### 6.1 Conclusão

Durante a realização do trabalho de campo nas sete elevatórias de esgoto foram identificadas possíveis medidas a ser tomadas para tornar o sistema de cada uma das sete estações elevatórias mais eficiente. A Estação Elevatória Beta apresentou os piores resultados, ou seja, a eficiência energética desta elevatória estava muito abaixo comparada as outras elevatórias de esgoto auditada. A necessidade de trocar todos os conjuntos motor-bombas da Estação Elevatória Beta foi fator fundamental para apresentarmos os resultados desta auditoria neste trabalho de conclusão de curso.

Das faturas de energia elétrica da estação elevatória constatou-se que a demanda contratada está muito superior a demanda medida, então diminuir a demanda contratada junto à fornecedora de energia diminui o valor da fatura de energia elétrica sem mudar qualquer operação ou equipamento do sistema atual.

O acionamento dos conjuntos motor-bombas ocorre com muita frequência afetando diretamente a demanda de energia, pois no acionamento ocorre um grande consumo de potência, além de alterar o tempo de vida útil da máquina. Para uma maior eficiência energética neste caso deve-se aproveitar as dimensões do poço de sucção, ou seja, regular o acionamento dos motor-bombas quando o nível do poço de sucção estiver mais alto do que os valores atuais.

A maior medida para eficiência energética da Estação Elevatória Beta é a substituição dos conjuntos motor-bombas que estão superdimensionados para realizar as atividades demandadas. Os novos conjuntos motor-bombas devem ter o carregamento próximo a 70%, para atender um eventual aumento da demanda atendida. O uso de inversores de frequência são fundamentais para eficiência energética do processo, eles vão diminuir o consumo e a demanda de energia elétrica do sistema. O investimento para implantação dos novos equipamentos proposto é muito lucrativo, pois o gasto com energia elétrica diminuirá de maneira que em pouco mais de um ano consegue-se pagar todo o investimento inicial.

Também foi avaliada a implantação de um sistema de geração fotovoltaico na estação elevatória para aumentar a eficiência energética. O sistema tem um tempo de vida útil de 20 anos e o valor inicial investido será abatido cerca de 16 anos depois. Economicamente este investimento é pouco atrativo, porém para a eficiência energética é uma importante medida.

## Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Qualidade de energia*. Brasil, 2010. Citado na página 41.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Resolução Nº 414 de 09/09/2010*. Brasil, 2010. Citado na página 46.
- BARRAL, M. F. *Perda de Carga*. Brasil: [s.n.], 2014. Disponível em: <[http://www3.fsa.br/localuser/barral/Op\\_unit/Perda\\_de\\_carga.pdf](http://www3.fsa.br/localuser/barral/Op_unit/Perda_de_carga.pdf)>. Citado na página 32.
- COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. *Manual de Eficiência Energética na Indústria*. Curitiba, Brasil, 2005. Citado na página 21.
- DIRECÇÃO GERAL DE ENERGIA E GEOLOGIA. *Despacho nº 17449/2008*. Portugal, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 17.
- ENERGIA, A. de. 2013. Disponível em: <<http://www.analisadoresdeenergia.com.br/>>. Citado na página 23.
- FAGUNDES, W. C. *Estimativa do Fator de Carga e Fator de Demanda de Consumidores de Energia Elétrica Via Medição e Pesquisa de Posses e Hábitos*. Rio de Janeiro, Brasil: [s.n.], 2013. Citado na página 46.
- GASPAR, C. *Eficiência Energética na Indústria: Curso de utilização racional de energia*. Gaia, Portugal: [s.n.], 2004. Citado 3 vezes nas páginas 18, 19 e 20.
- GOMES, M. J. S. B. A. *Guia Para Implantação De Um Programa de Gestão De Energia Na Indústria*. Porto, Portugal: [s.n.], 2009. Citado na página 20.
- LOURENÇO, F. B. M. *Optimização Energética Numa Unidade Industrial*. Porto, Portugal: [s.n.], 2009. Citado 3 vezes nas páginas 15, 18 e 19.
- NATURAL RESOURCES CANADA. Canadá, 2014. Disponível em: <<http://www.retscreen.net/pt/version4.php>>. Citado na página 48.
- PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. *Conservação de Energia: Eficiência energética de equipamentos e instalações*. Itajubá, Brasil, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 47.
- RIBEIRO, J. M. B.; GASPAR, A. M. R. *Gestão de Energia: Notas de aula mestrado integrado e gestão industrial e mestrado integrado em engenharia do ambiente*. Coimbra, Portugal: [s.n.], 2008. Citado na página 15.
- SIGNIFICADOS. Citado na página 45.

# Anexos

# ANEXO A – Resultados

## A.1 Medidas Na Estação Elevatória Beta

### A.1.1 Medidas Na Subestação da Estação Elevatória Beta

As medidas elétricas registradas na subestação da Estação Elevatória Beta encontram-se nas figuras a seguir:

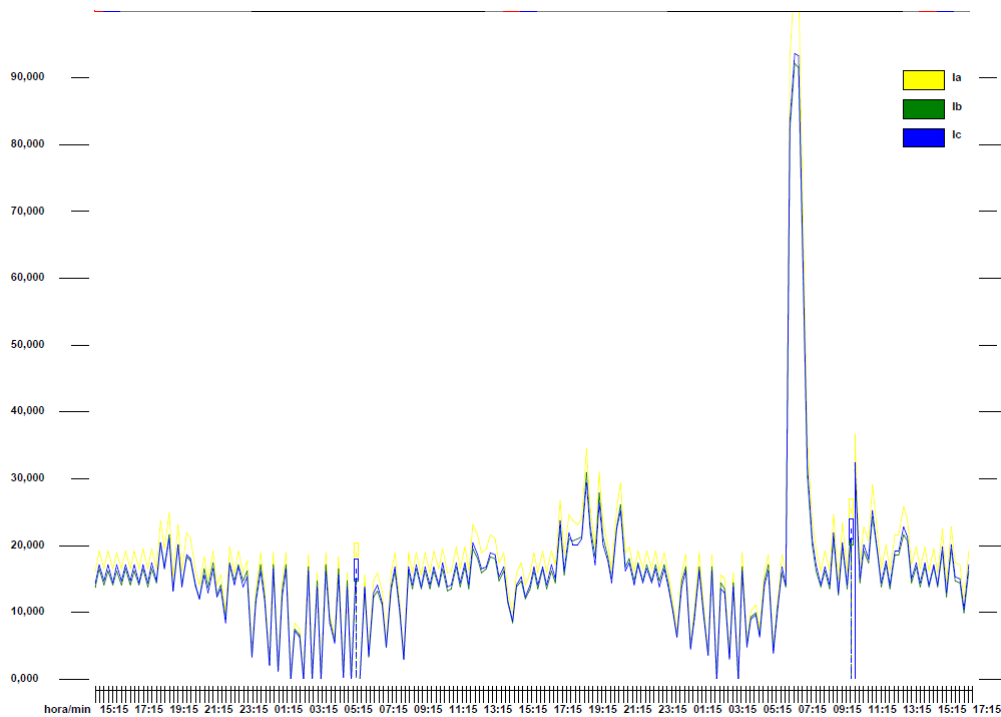


Figura 39 – Corrente (A) registrada na subestação da Estação Elevatória Beta

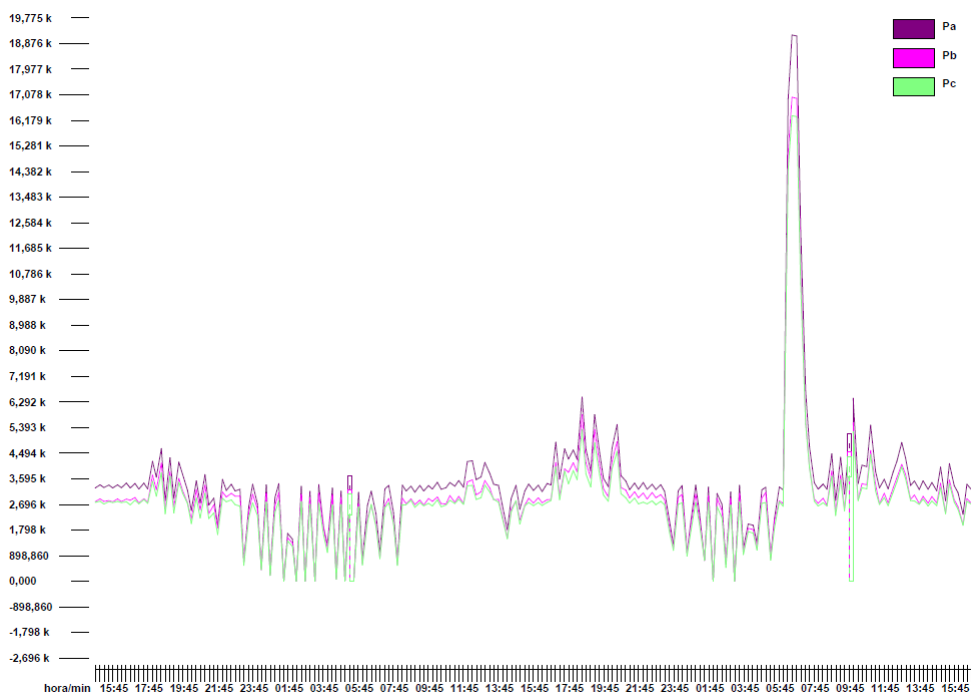


Figura 40 – Potência ativa (W) registrada na subestação da Estação Elevatória Beta

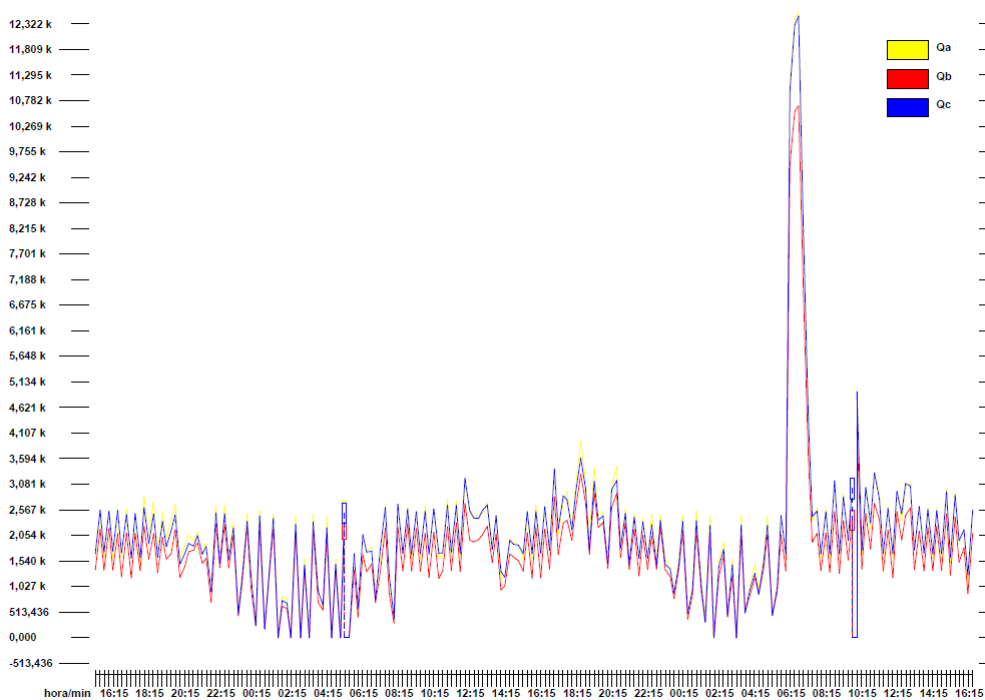


Figura 41 – Potência reativa (VAr) registrada na subestação da Estação Elevatória Beta

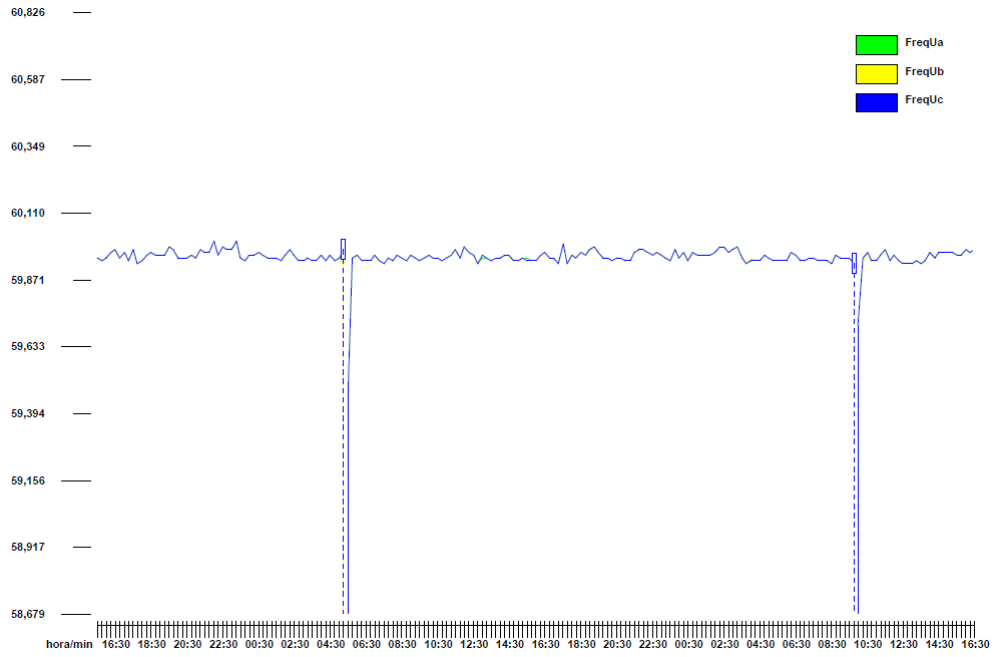


Figura 42 – Frequência registrada na subestação da Estação Elevatória Beta

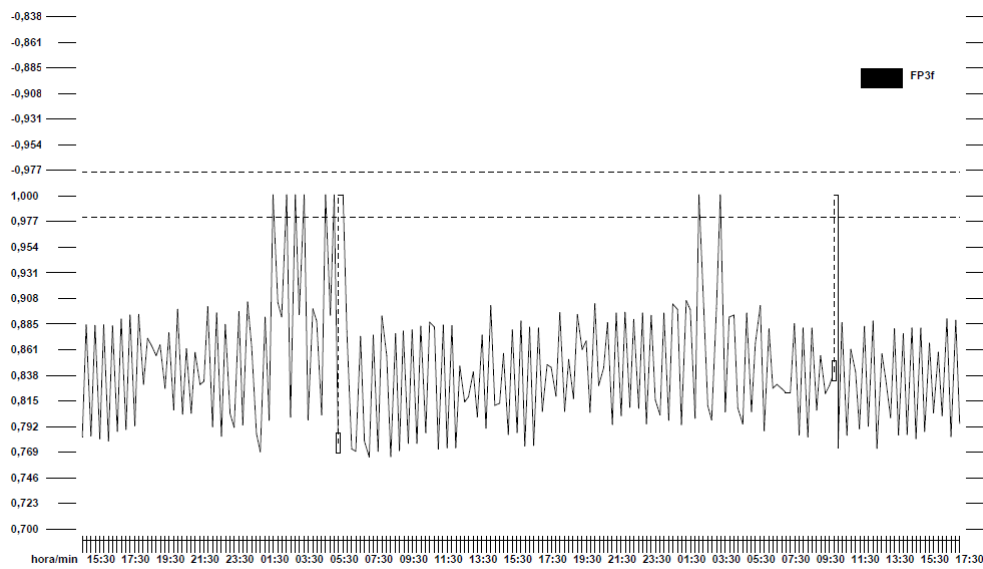


Figura 43 – Fator de potência registrada na subestação da Estação Elevatória Beta



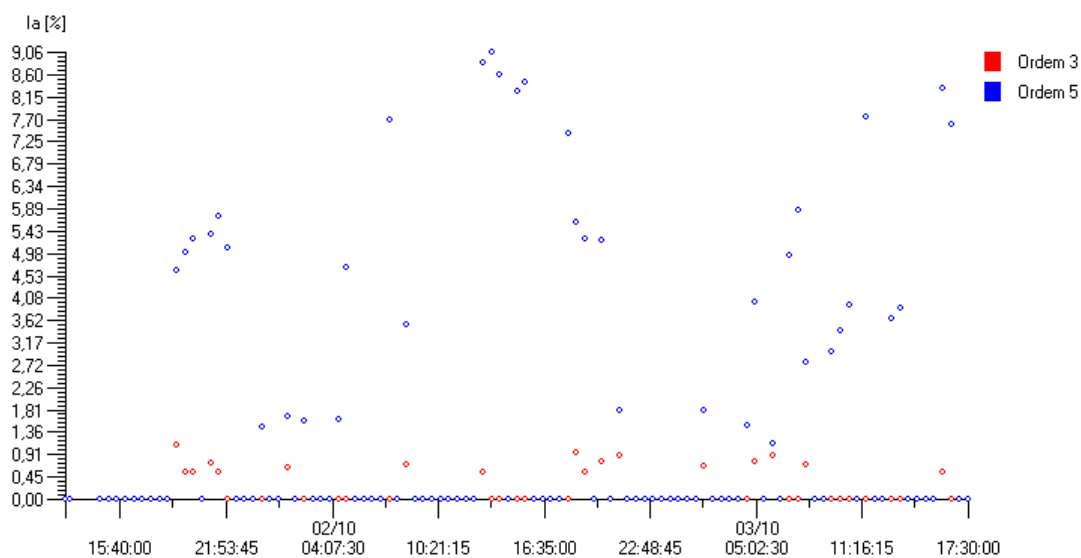


Figura 44 – Componentes harmônicos registrado na subestação da Estação Elevatória Beta

### A.1.2 Medição da Condição de Funcionamento dos Conjuntos Motor-Bomba

A Figura (45) mostra a montagem dos dois analisadores de energia que coletaram dados das bombas 1 e 2 da Estação Elevatória Beta.



Figura 45 – Analisadores de energia instalados na Estação Elevatória Beta

#### A.1.2.1 Bomba 1

As medidas elétricas foram coletadas entre os dias 04/04/2014 a 05/04/2014, referentes à bomba 1 da Estação Elevatória Beta e encontram-se expostas a seguir:

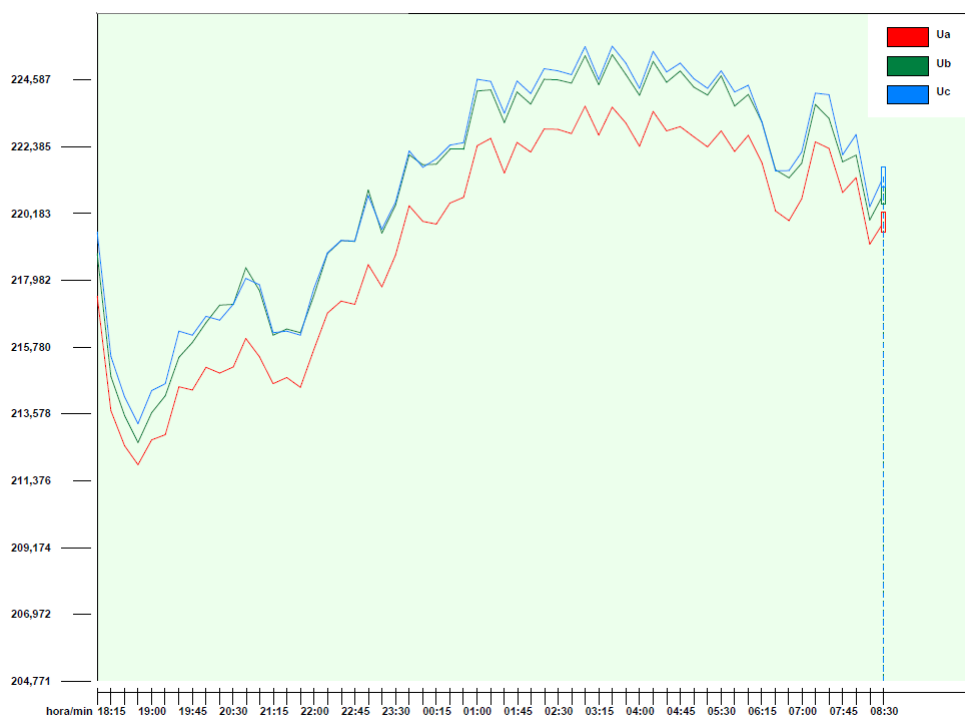


Figura 46 – Registro de tensão (V) na Bomba 1 da Estação Elevatória Beta

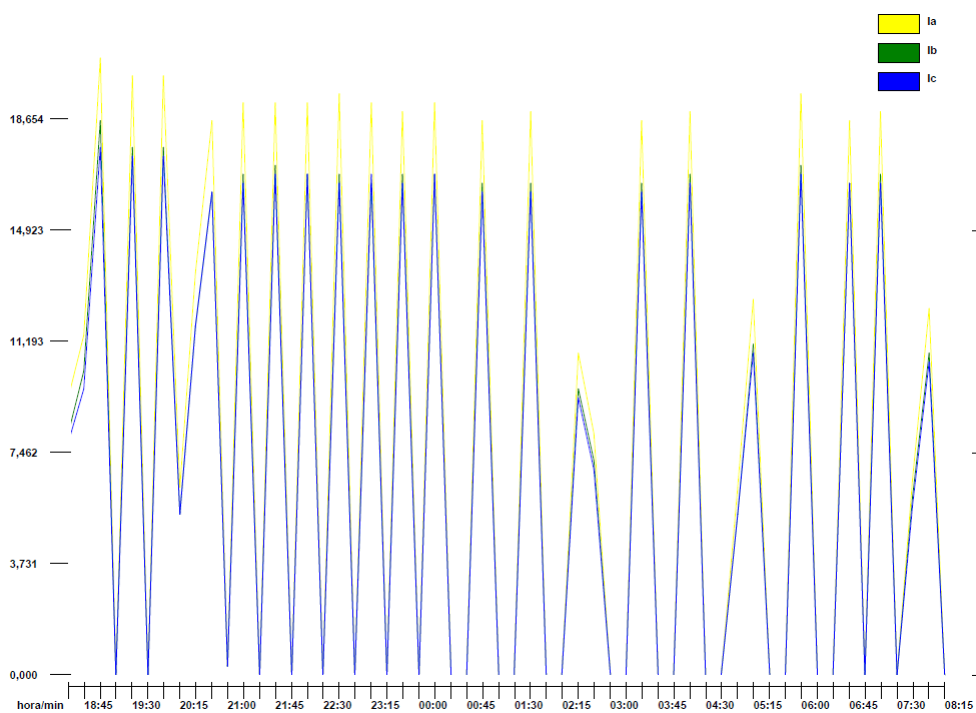


Figura 47 – Registro de corrente (A) na Bomba 1 da Estação Elevatória Beta

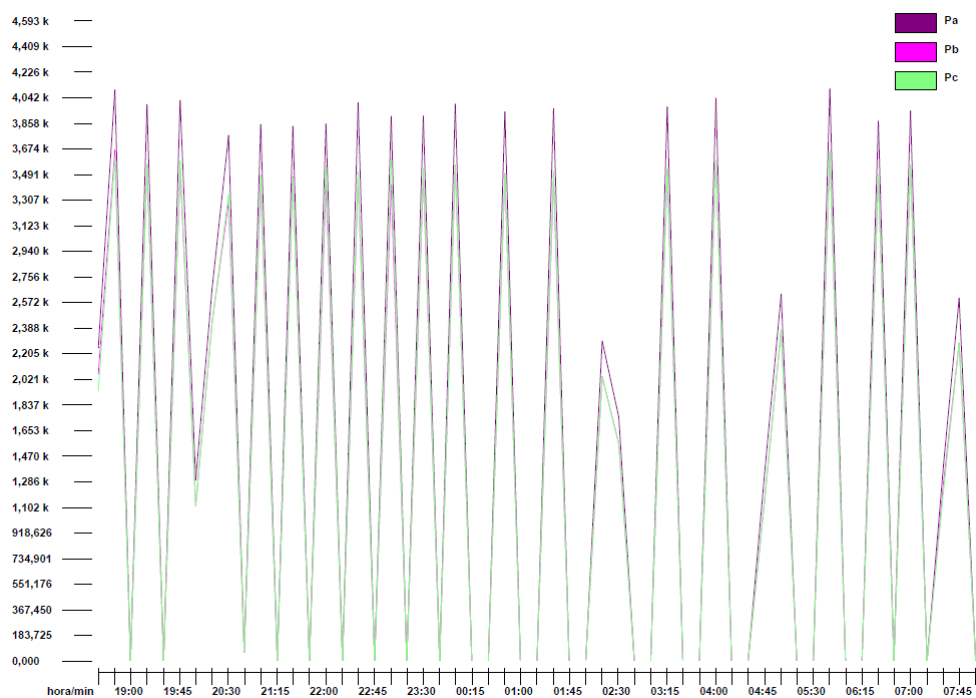


Figura 48 – Registro de potência ativa (W) na Bomba 1 da Estação Elevatória Beta

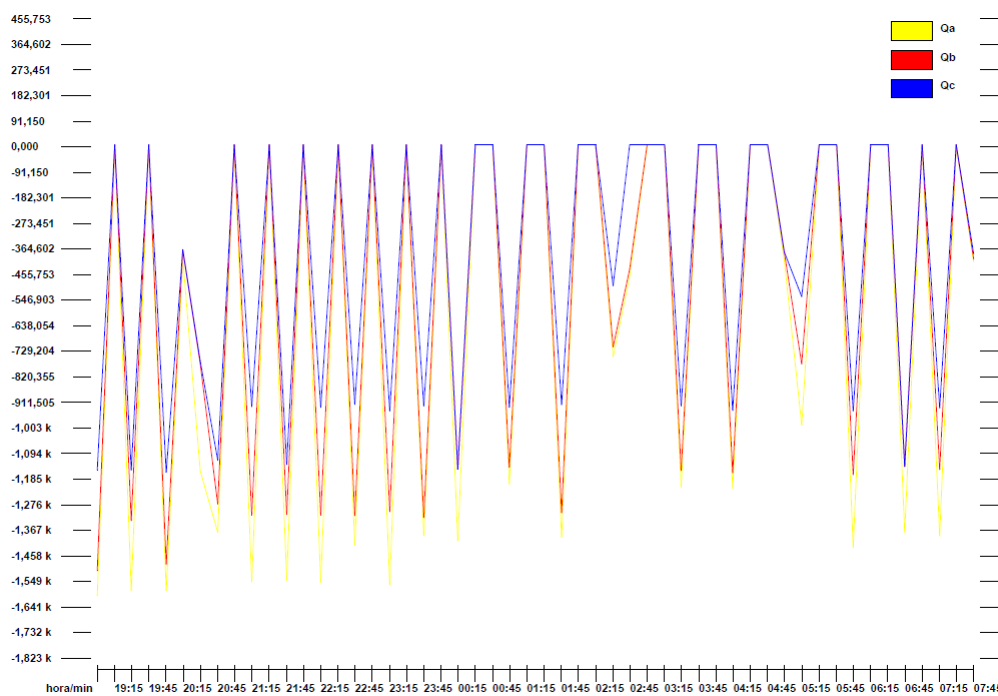


Figura 49 – Registro de potência reativa (VAr) na Bomba 1 da Estação Elevatória Beta

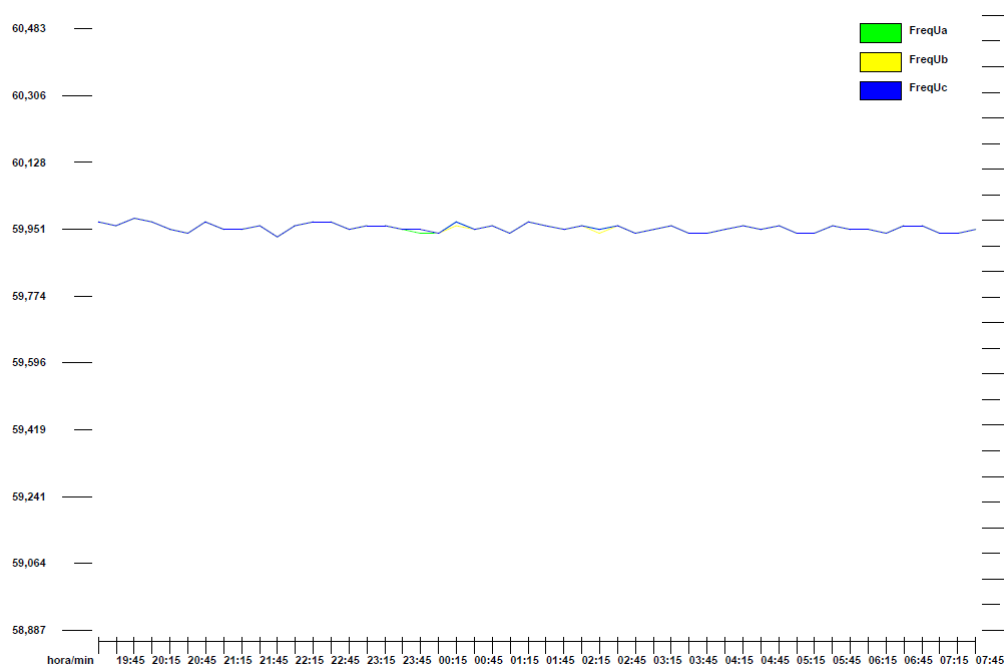


Figura 50 – Registro de frequência (Hz) na Bomba 1 da Estação Elevatória Beta

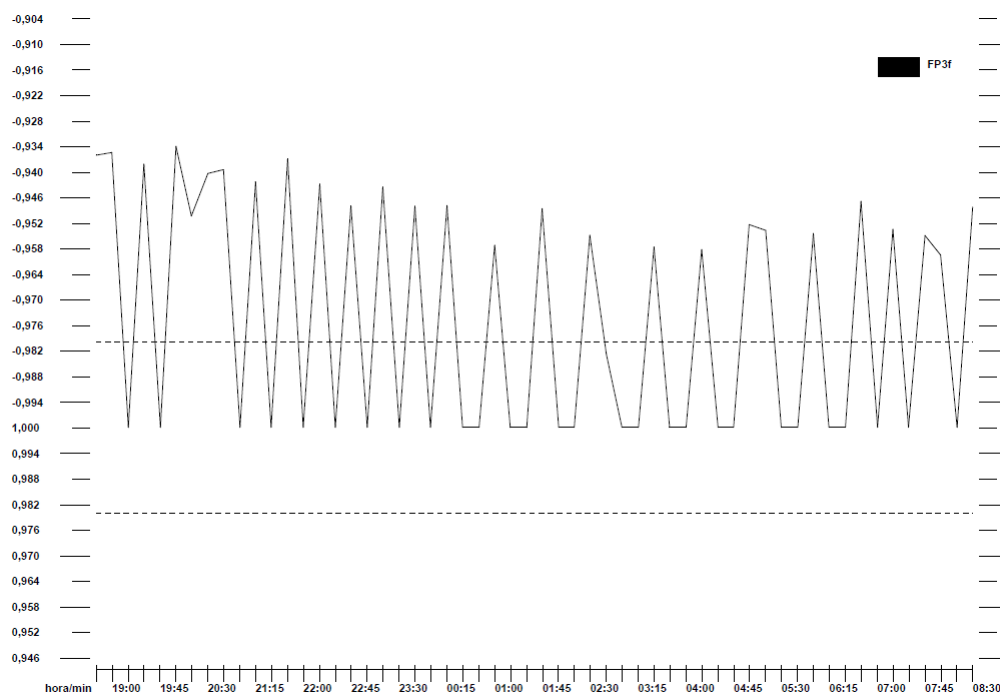


Figura 51 – Registro de fator de potência na Bomba 1 da Estação Elevatória Beta

#### A.1.2.2 Bomba 2

As medidas elétricas foram coletadas entre os dias 04/04/2014 a 05/04/2014, referentes à bomba 2 da Estação Elevatória Beta e encontram-se expostas a seguir:

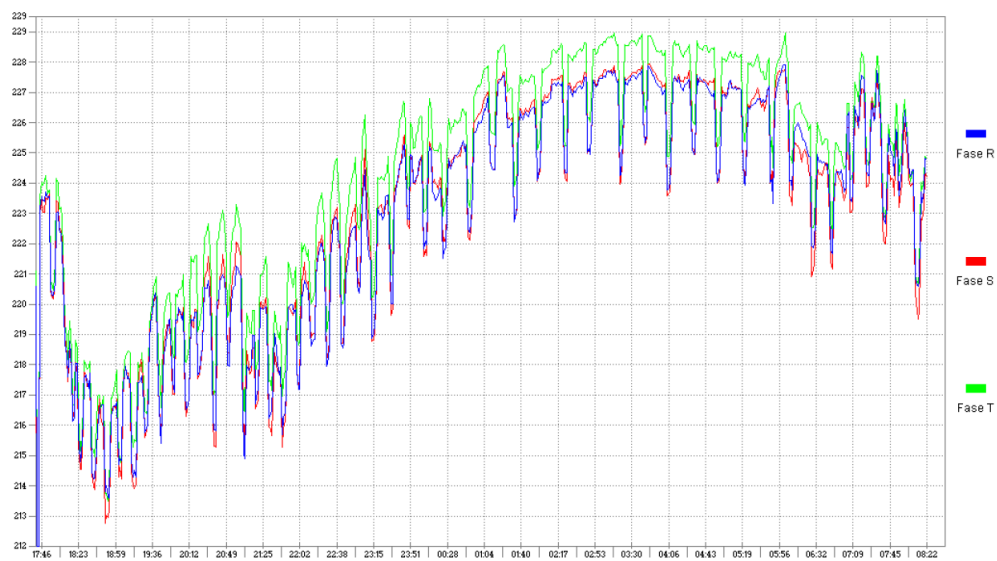


Figura 52 – Registro de tensão (V) na Bomba 2 da Estação Elevatória Beta

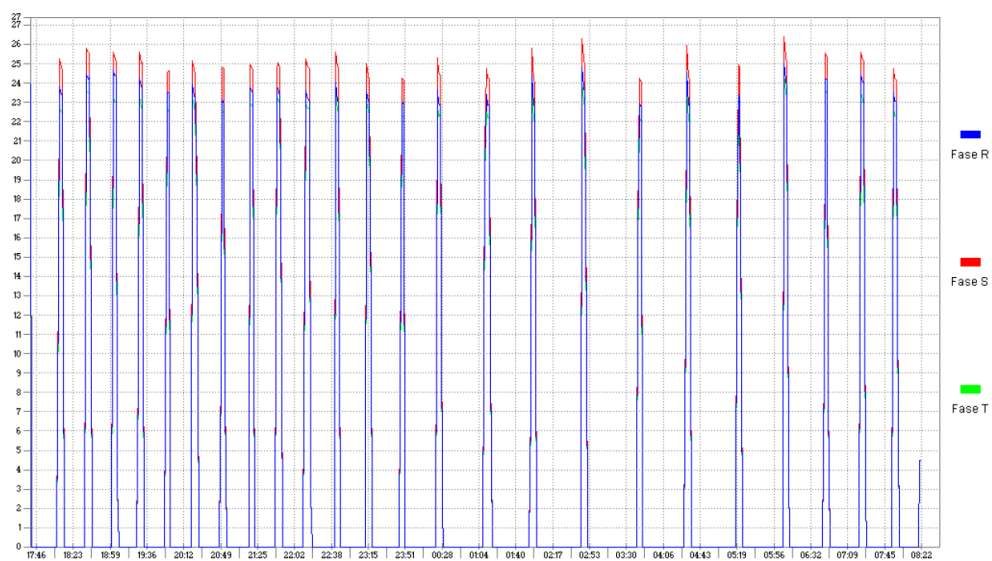


Figura 53 – Registro de corrente (A) na Bomba 2 da Estação Elevatória Beta

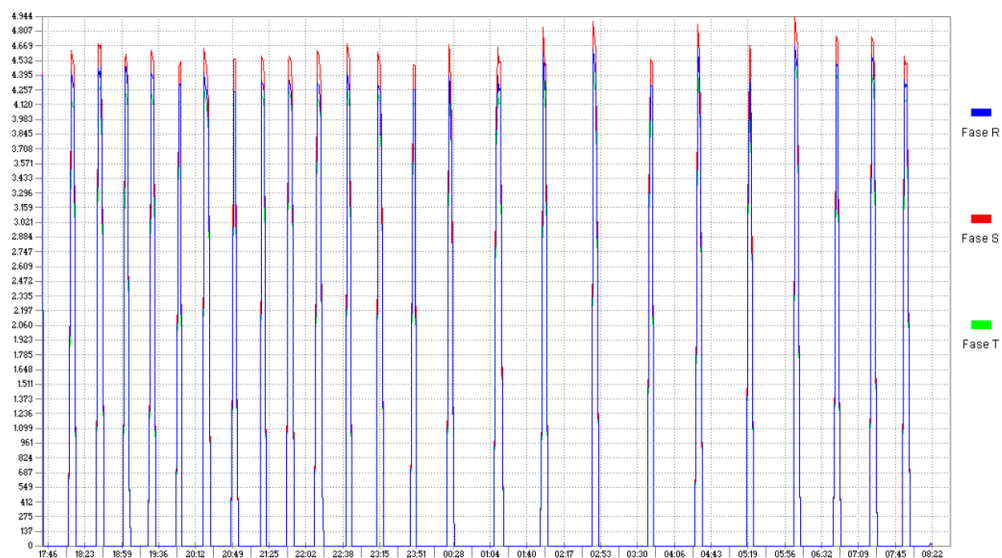


Figura 54 – Registro de potência ativa (W) na Bomba 2 da Estação Elevatória Beta

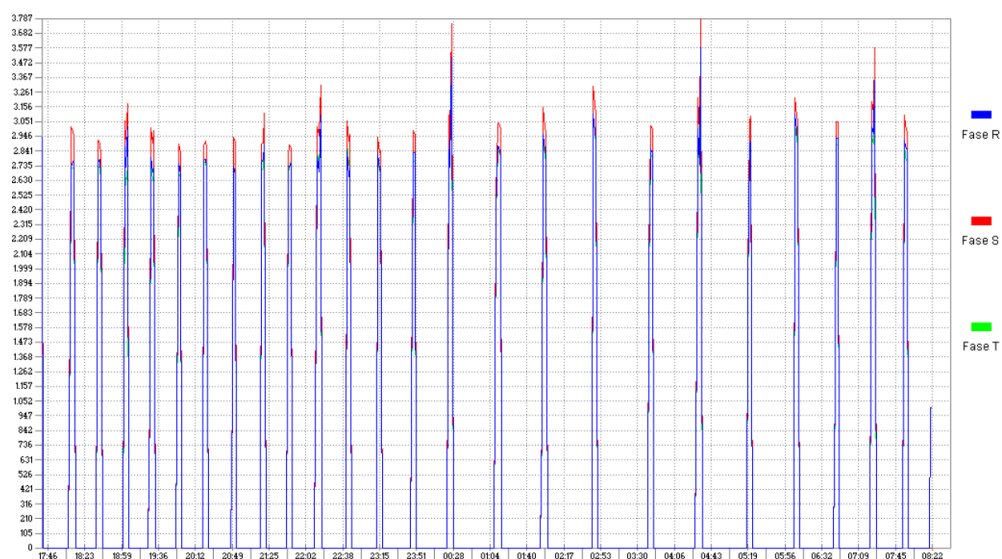


Figura 55 – Registro de potência reativa (VAr) na Bomba 2 da Estação Elevatória Beta

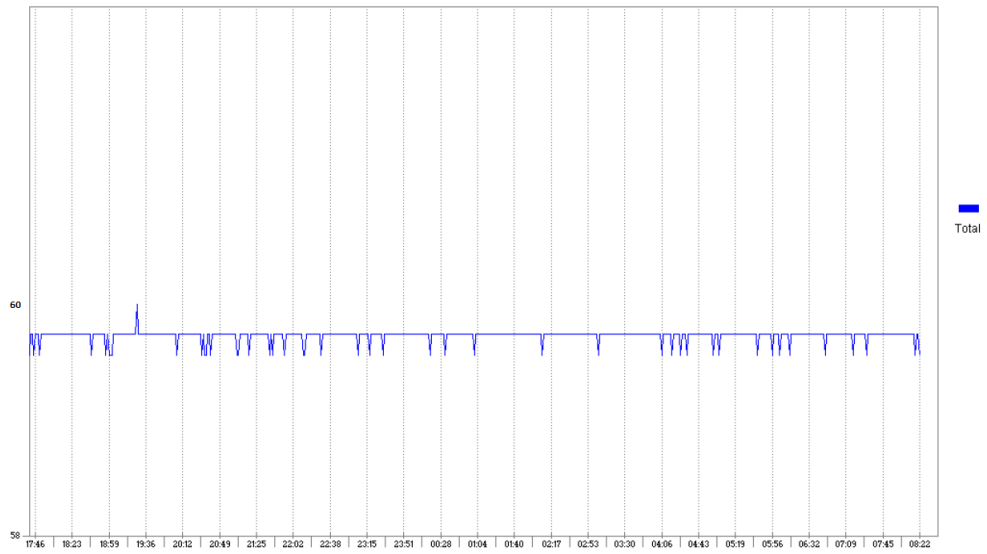


Figura 56 – Registro de frequência (Hz) na Bomba 2 da Estação Elevatória Beta

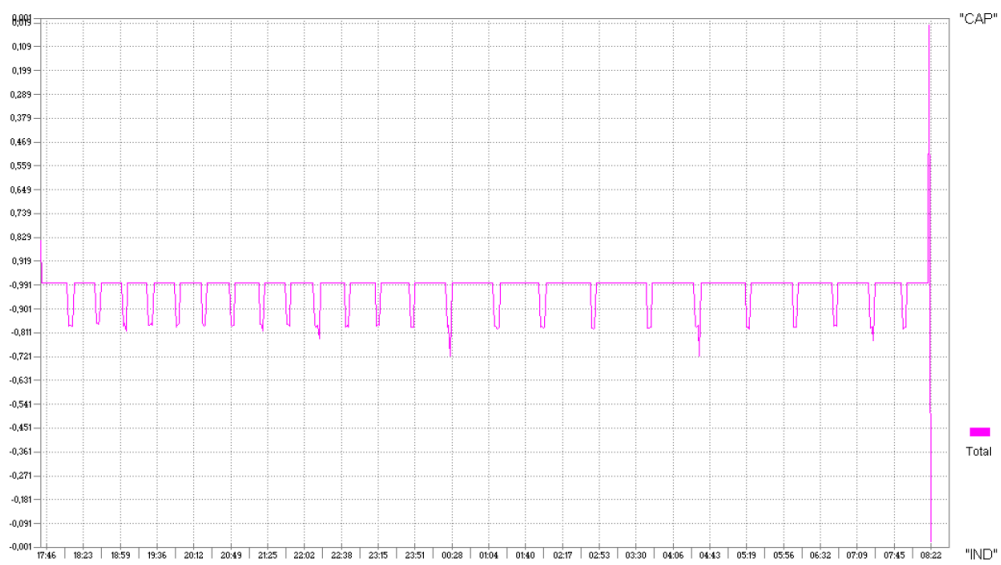


Figura 57 – Registro de fator de potência na Bomba 2 da Estação Elevatória Beta

## A.2 Resultados Medidos Nas Estações Elevatórias

Estação	Potência (kVA)		Fator de Potência	Tensão (V)		Corrente (A)
	Nominal	Medida Max.		Máx.	Min.	
Gama	112,50	75,71	0,984	219,68	198,95	233,2
Teta	112,50	82,69	0,598	221,46	221,25	106,8
Ômega	750	610,78	0,761	225,56	206,39	948,0
Pi	112,50	69,70	0,839	238,54	222,71	88,0
Alfa	500	132,79	0,717	229,75	211,15	271,2
Delta	150	67,82	0,771	226,84	211,95	104,7

Tabela 19 – Resumo das medidas obtidas nas subestação das elevatórias de esgoto.

Estação	Bomba	Pot. Nominal (kW)	Pot. Medida (kW)	Carregamento (%)	Rotação (rpm)
Elevatória					
Gama	1	34,60	11,00	32	1755
Gama	2	34,60	4,00	12	1755
Teta	1	89,50	-	-	1764
Teta	2	89,50	27,50	31	1764
Ômega	1	73,50	-	-	705
Ômega	2	73,50	21,00	29	705
Ômega	3	73,50	40,00	54	705
Ômega	4	73,50	58,00	79	705
Ômega	5	73,50	48,00	65	705
Pi	1	45,00	7,60	17	1780
Pi	2	45,00	6,00	13	1780
Alfa	1	92,00	70,00	76	1750
Alfa	2	92,00	-	-	1750
Alfa	3	92,00	50,00	54	1750
Alfa	4	92,00	0	0	1750
Delta	1	56,70	60	106	1130
Delta	2	56,70	-	-	1130

Tabela 20 – Resumo das medidas obtidas dos conjuntos motor-bombas das estações elevatórias de esgoto.



Estação	Bomba	Cons. Ponta	Cons. Fora Ponta	Acion.	Interv.	Tempo Func.
Elevatória		(kWh)	(kWh)		(min)	(min)
Gama	1	105	16	90	12	381
Gama	2	08	64	1	15	600
Teta	1	-	-	-	-	-
Teta	2	00	141	50	25	405
Ômega	1	-	-	-	-	-
Ômega	2	1020	214	11	29	1435
Ômega	3	00	269	14	60	1080
Ômega	4	365	172	29	22	667
Ômega	5	46	278	9	30	1230
Pi	1	145	32	8	176	1301
Pi	2	2	18	7	105	480
Alfa	1	648	48	65	17	819
Alfa	2	-	-	-	-	-
Alfa	3	574	152	33	30	903
Alfa	4	00	00	00	00	00
Delta	1	195	103	33	25	339
Delta	2	-	-	-	-	-

Tabela 21 – Resumo das medidas obtidas dos conjuntos motor-bombas das estações elevatórias de esgoto.