

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS  
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA  
CURSO ENGENHARIA ELÉTRICA**

**TAMMYSON GABRIEL SABINO SILVA DA COSTA**

**DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DE UMA INDÚSTRIA DE BENS  
DE CONSUMO LOCALIZADA NO DISTRITO INDUSTRIAL DE  
MANAUS**

MANAUS  
DEZEMBRO 2019

**TAMMYSON GABRIEL SABINO SILVA DA COSTA**

**DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DE UMA INDÚSTRIA DE BENS  
DE CONSUMO LOCALIZADA NO DISTRITO INDUSTRIAL DE  
MANAUS**

Projeto de Pesquisa desenvolvido durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Israel Gondres Torné, Dr.

**MANAUS  
DEZEMBRO 2019**

**Universidade do Estado do Amazonas – UEA**  
**Escola Superior de Tecnologia - EST**

Reitor:

**Cleinaldo de Almeida Costa**

Vice-Reitor:

**Cleto Cavalcante de Souza Leal**

Diretor da Escola Superior de Tecnologia:

**Ingrid Sammyne Gadelha Figueiredo**

Coordenador do Curso de Engenharia Elétrica:

**Walfredo Lucena**

Banca Avaliadora composta por:

**Prof. Dr. Israel Gondres Torné**

**Prof. Dr. Daniel Guzman Del Rio**

**Prof. Dr. Edry Antonio Garcia Cisneros**

Data da defesa: <11/12/2019>

## **CIP – Catalogação na Publicação**

Sabino Silva da Costa, Tammyson Gabriel

Diagnóstico Energético de uma Indústria de Bens de Consumo Localizada no Distrito Industrial de Manaus / Tammyson Gabriel Sabino Silva da Costa; orientado por Israel Gondres Torné. – Manaus: 2019. 55 p.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade do Estado do Amazonas, 2019.

1. Eficiência Energética. 2. Fator de Potência. 3. Diagnóstico Energético. 4. Análise Tarifária. I. Gondres Torné, Israel.

TAMMYSON GABRIEL SABINO SILVA DA COSTA

DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DE UMA INDÚSTRIA DE BENS DE CONSUMO  
LOCALIZADA NO DISTRITO INDUSTRIAL

Projeto de pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade Estadual do Amazonas, como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Nota obtida: \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ )

Aprovada em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

Área de concentração: Eficiência Energética

BANCA EXAMINADORA

---

Orientador: Israel Gondres Torné, Dr.

---

Avaliador: Daniel Guzman Del Rio, Dr.

---

Avaliador: Edry Antonio Garcia Cisneros, Dr.

MANAUS  
DEZEMBRO 2019

## **DEDICATÓRIA**

Primeiramente aos meus pais, que tem me apoiado por todos estes anos com muita dedicação e companheirismo. A meus tios, Francileudo e Francideuza que sem eles eu não chegaria onde estou hoje. E a todos meus amigos que sempre me apoiaram.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por me abençoar todos os dias.

Agradeço aos meus pais, os quais fazem de tudo por mim e têm me instruído com esforço e dedicação.

Agradeço ao meu professor Israel Gondrés, meu orientador, por todo apoio concedido, orientação e sugestões, as quais enriqueceram o conteúdo deste trabalho.

E também agradeço à minha namorada, Aline Nunes, e meus amigos que me acompanharam durante todo este período de graduação, e que de uma forma ou outra, sempre contribuíram para que eu chegasse até aqui.

## RESUMO

Esta pesquisa tem o objetivo de identificar e caracterizar o uso da energia elétrica em uma indústria de bens de consumo. Para isso, foi realizado um diagnóstico energético, que é uma estratégia de conservação de energia e eficiência energética, baseada na eliminação de desperdício de energia elétrica ou seja, é um estudo detalhado sobre ações que podem ser realizadas em uma instalação de modo a utilizar de forma mais eficiente a energia elétrica. A partir do estudo da instalação e seu uso, é possível verificar quais os benefícios e melhorias a serem trazidos na instalação e também os resultados esperados, de forma que o projeto seja executado da maneira mais eficiente possível. O desenvolvimento dessa pesquisa foi baseada nos levantamentos de dados, na utilização de informações do consumo de energia elétrica e o histórico das faturas de energia elétrica. Em seguida foram propostas ações para o uso eficiente de energia nos sistemas que mais consomem energia elétrica dessa indústria.

Palavras-chave: energia elétrica, diagnóstico energético, conservação de energia, eficiência energética.

## **ABSTRACT**

This research aims to identify e characterize the use of the electricity in a consumer goods industry. For this, an energy diagnosis was performed, which is a strategy of energy conservation and energy efficiency, based on the elimination of electricity waste. It is a detailed study of actions that can be performed on a facility to make more efficient use of electricity. From the study of the installation and its use, it is possible to verify the benefits and improvements to be brought to the installation and the expected results, so that the project can be executed as efficiently as possible. The development of this research was established through data surveys, the use of the electricity consumption information and the historic of electricity bills. Then, actions were taken for the efficient use of energy in the systems that consume the most electricity in this industry.

Key words: electricity, energy diagnosis, energy conservation, energy efficiency.



## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>1 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	13
1.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	13
1.2 ELETRICIDADE NO SETOR INDUSTRIAL .....	13
1.3 PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL.....	14
1.4 ESTRUTURA TARIFÁRIA.....	15
1.4.1 <b>Estrutura tarifária convencional</b> .....	16
1.4.2 <b>Estrutura tarifária horo-sazonal verde</b> .....	16
1.4.3 <b>Estrutura tarifária horo-sazonal azul</b> .....	16
1.5 A ENERGIA REATIVA E FATOR DE POTÊNCIA.....	16
1.5.1 <b>Vantagens da correção do baixo fator de potência</b> .....	17
1.5.2 <b>Causas do baixo fator de potência</b> .....	18
1.5.3 <b>Correção do fator de potência</b> .....	18
1.6 FATOR DE CARGA .....	19
1.7 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO .....	20
1.7.1 <b>Iluminação industrial</b> .....	21
1.8 SISTEMA DE AR COMPRIMIDO .....	22
1.9 MOTORES ELÉTRICOS .....	24
1.9.1 <b>Motor de alto rendimento</b> .....	25
<b>2 METODOLOGIA</b> .....	27
2.1 LEVANTAMENTO DE DADOS .....	28
2.2 A EMPRESA .....	28
2.3 LEVANTAMENTO DE CARGAS .....	30
2.4 ANÁLISE TARIFÁRIA .....	36
2.4.1 <b>Análise do fator de potência</b> .....	40
2.5 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO .....	41

2.6 ANÁLISE ECONÔMICA DE PROJETOS.....	42
2.6.1 <b>Tempo de retorno</b> .....	43
2.6.2 <b>Valor presente líquido (vpl)</b> .....	43
2.6.3 <b>Taxa interna de retorno (tir)</b> .....	43
<b>3 PROPOSTAS</b> .....	44
3.1 PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA.....	44
3.2 CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA DOS QUADROS.....	46
<b>CONCLUSÃO</b> .....	53
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	54

## INTRODUÇÃO

O grande consumo de energia, embora possa melhorar a economia e a qualidade de vida, tem alguns aspectos negativos.

Alguns desses aspectos são: a possibilidade do esgotamento dos recursos utilizados para a produção de energia, o impacto ao meio ambiente produzido por essa atividade e por fim, os elevados investimentos exigidos na pesquisa de novas fontes e construção de novas usinas. Uma das maneiras mais modernas e utilizadas no mundo para conter a expansão do consumo sem comprometer qualidade de vida e desenvolvimento econômico tem sido o estímulo ao uso eficiente de energia.

No Brasil, temos programas como o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) que é um programa de governo, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e executado pela Eletrobrás. Foi criado em 1985, para promover o uso eficiente da energia elétrica e combater o seu desperdício (PROCEL, 2014). As ações do PROCEL contribuem para o aumento da eficiência dos bens e serviços, para o desenvolvimento de hábitos e conhecimentos sobre o consumo eficiente da energia e, além disso, postergam os investimentos no setor elétrico, diminuindo os impactos ambientais e colaborando para um Brasil mais sustentável.

O setor industrial do Brasil é o maior responsável pelo consumo de energia elétrica do país, cerca de 40% (PROCEL, 2014). Dentro dessas indústrias, dois terços dessa energia são utilizados por sistemas motrizes, por exemplo: sistemas de bombas, ar comprimido, ventilação, refrigeração e esteiras. O alto consumo que esses sistemas representam fazem ele ser o principal alvo de programas de eficiência energética nas indústrias.

Analisando e estudando a figura 1 a seguir, vemos a importância do estudo de eficiência energética voltado para as indústrias. Dessa maneira, através desse diagnóstico energético, é proposta uma análise do consumo energético das instalações da indústria a ser estudada, visando diagnosticar pontos possíveis de economia de energia e melhor aproveitamento da mesma.

Figura 1: Distribuição do consumo de energia por setores.



Fonte: EPE (2015).

O tema desta pesquisa é um Diagnóstico Energético de uma Indústria de Bens de Consumo localizada no Distrito Industrial de Manaus.

O setor industrial brasileiro consome cerca de 40% da energia elétrica do país, e dois terços dessa energia são utilizados por sistemas motrizes (PROCEL, 2014). Esses dados mostram a importância de estudar e implementar planos de eficiência energética nas indústrias. Porém, a eficiência energética ainda é excluída do planejamento de muitas empresas.

O objetivo geral do trabalho é realizar uma análise energética das instalações elétricas nas principais áreas e processos dessa indústria de bens de consumo e identificar potenciais de economia de energia. Abaixo segue os objetivos específicos:

- Avaliar possíveis perdas de energia elétrica através do levantamento de cargas nos principais setores desta indústria e avaliação de sobrecargas nos equipamentos e cabos condutores do sistema elétrico;
- Analisar o tipo de tarifa, demanda contratada e o consumo de energia elétrica da unidade consumidora. Também avaliar o fator de potência da unidade consumidora;

- Elaborar propostas de medidas de conservação de energia e um plano de gestão de energia.

A partir do estudo da tarifação de energia elétrica, assim como análise dos sistemas de iluminação, ar comprimido, força motriz entre outros, para identificar os pontos onde ocorrem a perda ou o mau uso de energia elétrica, será possível efetuar um diagnóstico energético e estabelecer um plano de conservação de energia do sistema elétrico da fábrica, e identificar as alternativas onde essa energia pode ser utilizada corretamente sem desperdícios e de maneira eficaz, contribuindo na redução da conta de energia e os gases de efeito estufa.

Como o setor industrial do Brasil é o maior responsável pelo consumo de energia elétrica do país, cerca de 40% (PROCEL, 2014). Vemos que há uma importância de se fazer um estudo de eficiência energética voltado para este setor. O uso eficiente da energia e dos recursos naturais é uma das mais importantes formas de atingir a sustentabilidade.

O consumo de energia está associado ao desenvolvimento e crescimento de um país e a qualidade de vida de sua população. Com o aumento da eficiência energética e o uso consciente de energia, serão necessários menos recursos naturais para gerar energia, com menores impactos negativos ao meio ambiente e a vida da população. A possibilidade de benefícios econômicos e operacionais através do diagnóstico energético, torna a fábrica mais competitiva no mercado de bens de consumo. Através do melhor gerenciamento de energia e da redução de custo, a empresa pode apostar em novos projetos, para assim, obter maior destaque e ser *benchmark* nos processos em que atua.

O presente trabalho é dividido em 3 capítulos.

O capítulo 1 apresenta a revisão bibliográfica necessária para compreensão e realização do trabalho, relatando o conceito de eficiência energética, componentes da tarifa de energia, sistema de iluminação entre outros.

O capítulo 2 apresenta a metodologia utilizada para realização do trabalho.

O capítulo 3 apresenta as propostas para uso eficiente da energia para a fábrica.

Para finalizar, são apresentadas as conclusões obtidas a partir das análises realizadas neste trabalho.

## **1 REFERENCIAL TEÓRICO**

Neste capítulo serão abordados os principais assuntos que serão levantados durante este estudo como: eficiência energética, tarifação da energia elétrica, fator de potência, entre outros.

### **1.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

O uso racional da energia é chamado de eficiência energética, o que significa usar de modo eficiente a energia para se ter um determinado resultado. Pode-se dizer, que é quando se busca um melhor aproveitamento de equipamentos e processos com o menor consumo de eletricidade. Ações de eficiência energética nas indústrias tornaram-se realidade há alguns anos. Uma vez que o custo da energia elétrica tem se tornado mais representativo no processo produtivo deste ramo. Acrescenta-se ainda que, a prática da gestão energética e de ações de eficiência energética tornaram-se mais importantes a partir de 2001, ano em que as indústrias se viram obrigadas a limitar o consumo, frente ao racionamento no fornecimento de energia, devido à indisponibilidade de energia elétrica (TONIM, 2009).

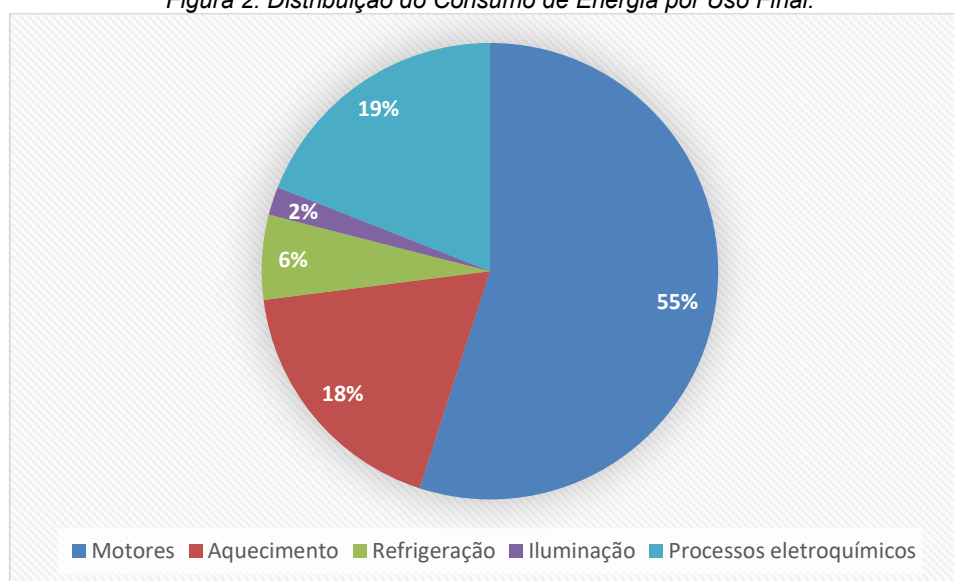
Ultimamente, temos essa grande procura pela eficiência energética devido ao custo elevado dos combustíveis fósseis e demais tipos de energia e pelas mudanças climáticas.

### **1.2 ELETRICIDADE NO SETOR INDUSTRIAL**

No Brasil, o setor industrial é o que mais se destaca em relação ao consumo de energia.

Ao analisar o consumo de energia elétrica, realizado pelo Ministério de Minas e Energia, em 2005. O grande destaque é o uso da força motriz nas indústrias. Este uso compreende o consumo elétrico em equipamentos, tais como, bombas, ventiladores, compressores, em diversas aplicações industriais, como processamento de fluidos e gases, refrigeração e outras. Na figura 2, temos a distribuição de consumo de energia por uso final nas indústrias.

Figura 2: Distribuição do Consumo de Energia por Uso Final.



Fonte: Adaptado de Energia (2011).

Esses dados são muito importantes para identificar os setores e itens para ações na área de eficiência energética.

### 1.3 PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL

Como o setor industrial é o grande consumidor de energia no país, deduz-se que a prática de eficiência energética nesse setor seria bem presente. Porém não é isso que vem ocorrendo. Desta maneira, foram criados programas e planos de eficiência energética para promover o uso eficaz de energia elétrica.

No Brasil, temos o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL Indústria) e outros programas como: Apoio a Projetos de Eficiência Energética (PROESCO), Programas de Eficiência Energética (PEE) conduzidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e o do Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET), conduzido pela Petrobras) (ENERGIA, 2011).

O PROCEL Indústria tem como objetivo estimular a adoção de práticas eficientes do uso de energia elétrica no setor industrial. Atualmente, o programa foca suas ações na otimização de sistemas motrizes (instalações elétricas, motores elétricos, acoplamentos, cargas acionadas, instalações mecânicas e uso final), que representam o maior consumo e também o maior potencial técnico de conservação de energia elétrica nas indústrias.

## 1.4 ESTRUTURA TARIFÁRIA

Ter conhecimento sobre a estrutura tarifária, e suas opções de contratação de energia elétrica, se torna uma ferramenta que possibilita a redução do custo de energia elétrica. Estrutura tarifária é definida como o conjunto de tarifas aplicáveis aos componentes de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência ativa, de acordo com a modalidade de fornecimento.

A fatura de energia é um resumo dos parâmetros de onde o cliente está usando e consumindo energia. Uma análise de um ano de faturas, já são bastantes informações, e é possível fazer uma comparação entre essas faturas para obtenção de possíveis potenciais de economia de energia.

O custo da energia elétrica sofre influência de vários fatores, dentre eles os níveis de tensão de fornecimento, que estão divididos em dois grupos: baixa e alta tensão. Quanto maior a tensão, mais barata é a tarifa de energia elétrica.

No Brasil, as unidades consumidoras são classificadas em dois grupos tarifários: Grupo A e Grupo B.

O Grupo B é dividido em subgrupos, de acordo com a atividade do consumidor, conforme apresentados a seguir:

- Subgrupo B1 – residencial e residencial baixa renda;
- Subgrupo B2 – rural e cooperativa de eletrificação rural;
- Subgrupo B3 – demais classes;
- Subgrupo B4 – iluminação pública.

Os consumidores atendidos em alta tensão, acima de 2300 volts, como indústrias, shopping centers e alguns edifícios comerciais, são classificados no Grupo A. Esse grupo é subdividido de acordo com a tensão de atendimento, como mostrado abaixo:

- Subgrupo A1 para o nível de tensão de 230 kV ou mais;
- Subgrupo A2 para o nível de tensão de 88 a 138 kV;
- Subgrupo A3 para o nível de tensão de 69 kV;
- Subgrupo A3a para o nível de tensão de 30 a 44 kV; Subgrupo A4 para o nível de tensão de 2,3 a 25 kV;
- Subgrupo AS para sistema subterrâneo.



No Brasil, as tarifas do Grupo A são constituídas em três modalidades de fornecimento, relacionadas a seguir:

- Estrutura tarifária Convencional;
- Estrutura tarifária horo-sazonal Verde;
- Estrutura tarifária horo-sazonal Azul.

#### **1.4.1 ESTRUTURA TARIFÁRIA CONVENCIONAL**

Para esta modalidade tarifária é necessário um contrato específico com a concessionária e o cliente, onde se estabelece um único valor de demanda contratada, independente da hora do dia ou do período do ano.

#### **1.4.2 ESTRUTURA TARIFÁRIA HORO-SAZONAL VERDE**

Nesta modalidade também há um contrato entre concessionária e cliente, para estabelecer uma demanda contratada específica. A diferença é que o cliente pode contratar dois valores diferentes de demanda, um para o período seco e outro para o período úmido.

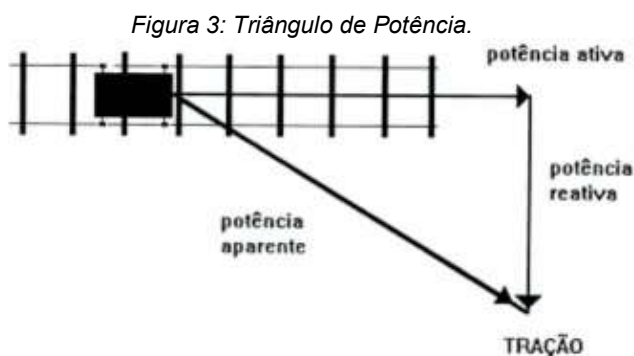
#### **1.4.3 ESTRUTURA TARIFÁRIA HORO-SAZONAL AZUL**

A estrutura tarifária horo-sazonal azul é obrigatória para os consumidores dos grupos A1, A2 e A3. Essa modalidade tarifária exige um contrato específico com a concessionária, no qual se pactua tanto o valor da demanda pretendida pelo consumidor no horário de ponta (Demanda Contratada na Ponta) quanto o valor pretendido nas horas fora de ponta (Demanda Contratada fora de Ponta), também é permitido contratar valores diferentes de demanda, um para o período seco e outro para o período úmido.

### **1.5 A ENERGIA REATIVA E FATOR DE POTÊNCIA**

A energia elétrica é composta por duas parcelas: energia reativa e energia ativa. A energia ativa, medida em kWh, é a responsável por executar o trabalho, ou seja, para motores, é a energia responsável pelo movimento de rotação. Já a energia reativa, medida em kVarh, é a componente que não realiza trabalho, mas essa energia é consumida pelos equipamentos com a finalidade de formar campos eletromagnéticos para seu funcionamento.

A figura 3 abaixo explica as potências em um sistema, onde um vagão é tracionado para se deslocar sobre os trilhos por ação de uma força não paralela à direção do deslocamento:



Fonte: PROCEL (2011).

O esforço de Tração representa a potência aparente ( $S$ ), medida kVA. A componente de força em paralelo aos trilhos representa a potência ativa ( $P$ ), medida em kW. A componente ortogonal é a potência reativa ( $Q$ ), medida em kVAr, esta última não realiza trabalho.

A relação entre potência ativa e potência reativa é denominada fator de potência. O fator de potência é um parâmetro de fundamental importância quando se fala em estudo de conservação de energia em indústrias, pois, através dele podemos estabelecer parâmetros que nos dizem se os nossos aparelhos elétricos estão se comportando de maneira correta. O fator de potência pode variar de 0 a 1, quanto mais próximo de 1 melhor a eficiência.

De acordo com a Resolução ANEEL 456 (2000), as instalações elétricas dos consumidores devem ter um fator de potência não inferior a 0,92 (capacitivo ou indutivo).

Quando há um fator de potência inferior a 0,92, é cobrada a utilização de energia e demanda de potência reativa na fatura de energia elétrica, como Consumo de Energia Reativa Excedente e Demanda Reativa Excedente.

### 1.5.1 VANTAGENS DA CORREÇÃO DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA

Muitas empresas ainda não perceberam a vantagem que há em fazer a correção do fator de potência.

Algumas vantagens econômicas da correção do fator de potência são:

- A redução no valor das contas de energia elétrica, pois quando o fator de potência indutivo médio das instalações consideradas for menor que 92% a concessionária aplica uma multa;
- Liberação de capacidade elétrica, no sistema de distribuição de energia. Em alguns casos, após o fator de potência ser melhorado, é possível adicionar cargas (motores, lâmpadas etc.) sem sobrecarregar transformadores e instalações;
- Elevação do nível de tensão. Quando temos baixa tensão ocasionada por baixo fator de potência a consequência é a redução de potência nos motores;
- Ao corrigir o fator de potência, pode-se elevar a tensão de 4 a 5% o que ocasiona melhoria de eficiência no sistema elétrico;
- Redução nas perdas de energia. Os condutores elétricos (fios / cabos) evoluíram ao longo do tempo, trazendo uma melhora na qualidade do material isolante, o que permite ao condutor trabalhar com temperaturas maiores e uma densidade de carga mais elevada no condutor.

### **1.5.2 CAUSAS DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA**

Existem muitas causas que contribuem para o baixo fator de potência, dentre as mais comuns, temos:

- Motores operando em vazio, isto é, máquinas que ficam ligadas, mas não estão trabalhando;
- Motores e transformadores superdimensionados;
- Transformadores de muita potência para atender pequenas cargas. Grande quantidade de motores de pequena potência;
- Lâmpadas de descarga fluorescentes, vapor de mercúrio, vapor de sódio sem reatores de alto fator de potência;
- Excesso de energia capacitiva, isto é, quando para corrigir o fator de potência é colocado excesso de capacitores na rede elétrica.

### **1.5.3 CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA**

Os capacitores são os dispositivos elétricos capazes de corrigir o fator de potência. O capacitor gera energia reativa capacitiva, essa energia neutraliza a energia reativa indutiva dos circuitos elétricos.

De acordo com o PROCEL, a instalação dos capacitores pode ser feita de duas formas: instalações com capacitores individuais ligados em cada carga; e instalações com bancos de capacitores fixos ou automáticos, ligados no ponto de entrada de energia (PROCEL, 2008). Instalar capacitores individualmente em cada carga apresenta vantagens como:

- O motor trabalha em conjunto com o capacitor;
- Há maior eficiência dos motores devido à melhor utilização da potência;
- Há redução nas quedas de tensão;
- Há maior facilidade de realocação de motores e capacitores; e
- Facilita a escolha do capacitor ideal para cada carga.

As vantagens da instalação de bancos de capacitores ligados na entrada do circuito são:

- O custo é menor por kVAr; corrige o fator de potência total da instalação;
- Permite que o controle automático assegure a dosagem exata da potência de capacitores, eliminando possíveis sobre tensões.

Quando é feita uma correção de fator de potência de maneira eficaz, as perdas de energia diminuem, há menos aquecimentos nos condutores, vida útil dos componentes elétricos aumentam. No geral, melhora sistema de distribuição de energia.

## **1.6 FATOR DE CARGA**

Fator de carga é um outro parâmetro muito importante no uso eficiente de energia nas indústrias. Esse parâmetro é definido como a razão da demanda média pela demanda máxima utilizada pela unidade consumidora no mesmo intervalo de tempo. 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. Segue abaixo as equações para determinar o Fator de Carga:

$$FC = \frac{\textit{Demanda média}}{\textit{Demanda máxima}} \quad (1)$$

$$FC = \frac{\textit{Consumo de Energia Ativa (kWh)}}{\textit{Demanda máxima (kW) x Horas}} \quad (2)$$

Este fator de carga varia entre 0 e 1, quanto mais próximo de 1, menor será o custo da energia e seu aproveitamento é mais eficiente. A melhoria desse fator de carga traz como resultado um menor pico de demanda, permitindo, por exemplo a redução da demanda contratada, e conseqüentemente evitando custos desnecessários.

## 1.7 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

A iluminação é responsável por, aproximadamente, 23% do consumo de energia elétrica no setor residencial, 44% no setor comercial e serviços públicos e 1% no setor industrial (SANTOS, 2007).

Uma combinação de lâmpadas, reatores, sensores, luminárias e refletores eficientes, associados a hábitos saudáveis na sua utilização, podem ser aplicados para reduzir o consumo de energia elétrica. Como visto anteriormente, sistemas de iluminação são grandes responsáveis pelo consumo de energia elétrica.

Um estudo bem elaborado de um sistema de iluminação pode ser bem vantajoso para uma indústria que busca a redução tarifária e o consumo consciente de energia.

No Brasil temos, a NBR ISSO/CIE 8995-1 (2013), que relaciona os valores corretos de iluminamento para cada ambiente e atividade. Nas empresas existem vários ambientes como: os setores de fabricação dos produtos, restaurantes, sala de reuniões, almoxarifado, setores administrativos. Em cada uma dessas áreas, pessoas fazem atividades distintas, por isso é necessário adequar lâmpadas e equipamentos para proporcionar conforto e saúde às pessoas que trabalham nessas determinadas áreas.

Para estudar um sistema de iluminação é necessária uma análise de iluminância e das opções tecnológicas para produção e controle da luz. O termo

iluminância, também é conhecido como nível de iluminação, indica a quantidade de luz (lumens – lm) por unidade de área ( $m^2$ ) que chega a um determinado ponto. O nível de iluminação pode ser medido, porém não visto. Sua unidade é o lux, ou  $lm/m^2$ . Para realização de medição de iluminância é necessário um aparelho que contém um sensor fotométrico, chamado luxímetro.

Ao se fazer um estudo do sistema de iluminação deve-se observar alguns itens, como forma de atender requisitos de desempenho e conforto visual. Por exemplo:

- Manutenção do nível de iluminância requerida para a execução das tarefas num determinado ambiente, de acordo com a faixa etária de seus profissionais;
- Utilização de equipamentos (lâmpadas, luminárias, teto, paredes e de reatores) eficientes na produção de luz e no direcionamento do fluxo luminoso;
- Modularidade possibilitando flexibilidade de operação desativando circuitos em áreas desocupadas, complementando com luz natural, etc.;
- Utilização de cores que propiciem adequado contraste no plano de trabalho;
- Emprego de lâmpadas que reproduzam o espectro de luz nas tonalidades requeridas pela tarefa a ser executada em função do ambiente;
- Disposição geométrica adequada de lâmpadas e luminárias, evitando o emprego de materiais e situações que possam ocasionar ofuscamento.

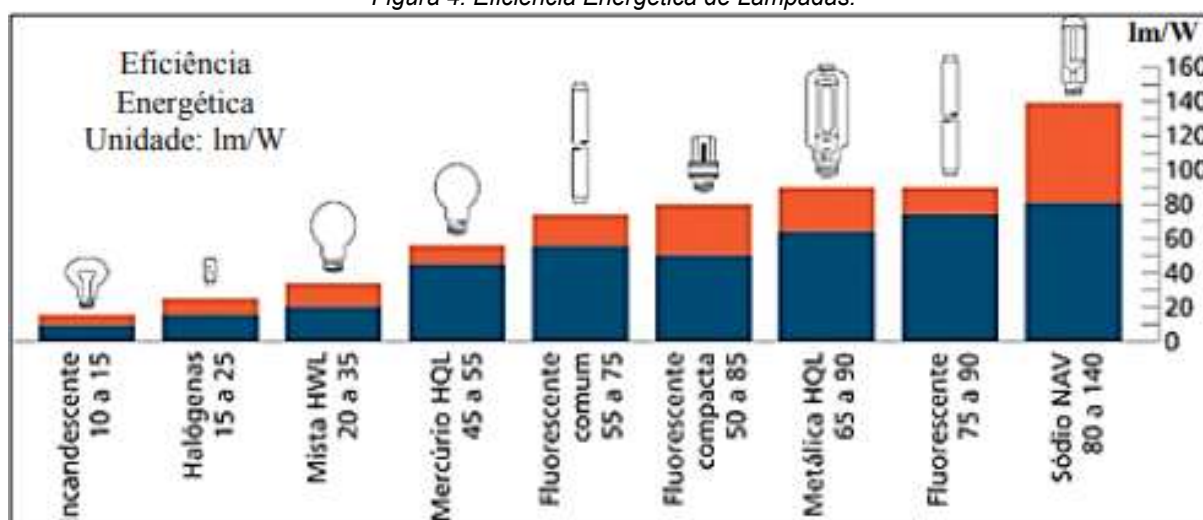
### **1.7.1 ILUMINAÇÃO INDUSTRIAL**

Os ambientes industriais devem atender a NBR ISO/CIE 8995-1 (2013) que determina os níveis mínimos de iluminação que os ambientes de trabalho devem possuir.

Os sistemas de iluminação industrial são compostos geralmente por: lâmpadas, reatores, luminárias, relés. Em especial, as lâmpadas têm um papel importante no desempenho energético de um sistema de iluminação, porque são elas os componentes que mais consomem energia nesse sistema.

Na figura 4 abaixo, segue o desempenho energético de vários modelos de lâmpadas:

Figura 4: Eficiência Energética de Lâmpadas.



Fonte: OSRAM (2016)

## 1.8 SISTEMA DE AR COMPRIMIDO

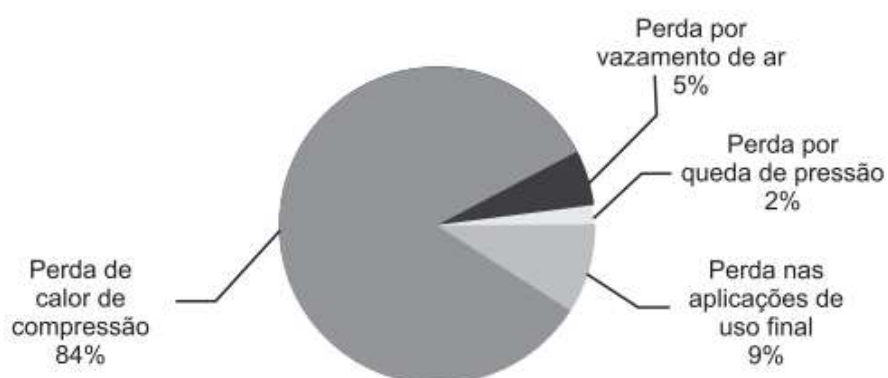
O ar comprimido é uma forma de transporte de energia de muita utilidade e com várias aplicações. Nas indústrias o ar comprimido é utilizado em motores pneumáticos, movimentação e transporte de materiais, máquinas diretrizes, ferramentas manuais, instrumentação e automação de processos. O sistema de ar comprimido é basicamente dividido em 3 partes: geração, distribuição e uso final.

- Geração de ar comprimido: O ar comprimido é produzido por compressores pela captação do ar atmosférico e elevação de sua pressão. Um sistema de geração de ar comprimido industrial é composto por compressores, motores e acionamentos, controles, equipamentos de tratamento de ar, reservatório e acessórios.
- Distribuição de ar comprimido: A distribuição transporta o ar comprimido dos tanques reservatórios alimentados pelos compressores aos pontos de uso final, entregando quantidades suficientes de ar limpo, seco e estável, devendo ser fornecido na pressão adequada, de forma confiável e econômica, às aplicações de uso final.
- Uso final de ar comprimido: Existem muitas formas de uso final de ar comprimido, como acionamento de ferramentas pneumáticas, acionamento mecânico e comando de válvulas, jateamento, entre outros. É bastante usado

em quase todos setores industriais e seu campo de aplicação cresce mais a cada dia.

O conhecimento do balanço energético característico deste sistema pode ajudar a identificar as perdas que reduzem a eficiência do sistema e para fornecer um ponto de partida para a identificação de oportunidades e de seleção e implementação de ações de melhorias da eficiência. A figura 5, ilustra as perdas que ocorrem em um sistema de ar comprimido:

Figura 5: Diagrama de perdas característica de sistema de ar comprimido.



Fonte: Monteiro (2005)

Uma das vantagens do emprego do ar comprimido é que o mesmo pode ser armazenado e conduzido ao local de utilização sem necessitar de isolamento térmico, como é o caso do vapor. Não oferece riscos de incêndio ou de explosão e seu emprego pode ser de inúmeras formas. Essas características explicam seu uso em escala sempre crescente.

Como principal desvantagem, é seu elevado consumo de energia. Por isso, a correta utilização do ar comprimido, a operação eficiente e econômica dos compressores, que é o coração desses sistemas, é de extrema importância. Os vazamentos e as perdas que ocorrem na distribuição também são pontos que devem ser observados.

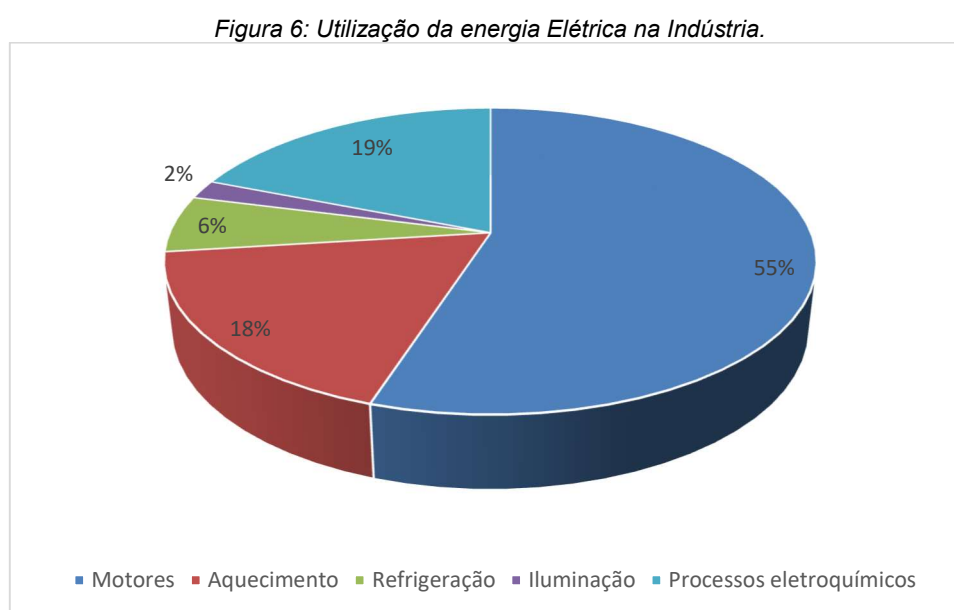
A principal motivação para se praticar ações de eficiência energética em um sistema de ar comprimido é devido ao elevado consumo de energia elétrica do mesmo.



Alguns dos principais problemas dos sistemas de ar comprimido que acarretam esse alto consumo de energia são: perdas por vazamentos, localização dos tubos de aspiração, filtro de ar sujo, trajeto das tubulações do sistema de ar comprimido.

## 1.9 MOTORES ELÉTRICOS

O motor de indução trifásico é o mais utilizado pela indústria, pois tem alta rentabilidade, altamente eficiente e possui baixo custo. Porém, esses mesmos motores de alto rendimento são considerados um grande potencial de economia de energia quando se trata de um diagnóstico energético em uma indústria. Isso acontece devido o motor ser altamente utilizado nas indústrias, calcula-se que os motores consomem cerca de 25% de toda energia gerada no Brasil. A figura 6 demonstra bem a utilização de energia elétrica que nas indústrias:



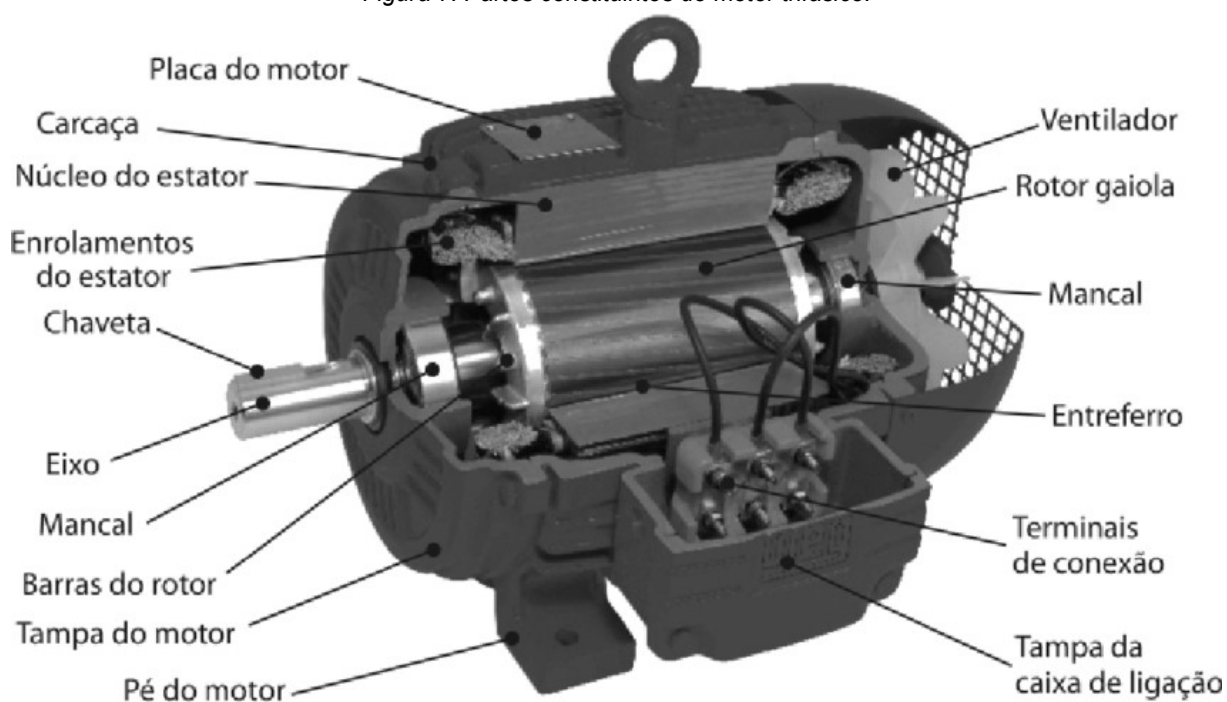
*Fonte: Marques (2007).*

Outro fator do motor ser considerado um grande potencial de economia de energia, é devido à má aplicação de grandes unidades instaladas. Problemas de tensionamento de correias, problemas de acoplamento mecânico, limpeza, lubrificação, e, principalmente, o mau dimensionamento. Todos esses fatores contribuem para a redução de eficiência dos motores.

O problema do uso de um motor com potência muito superior à necessária para o acionamento da carga, é chamado de sobre dimensionamento. O sobre

dimensionamento equivale a uma grande parcela dos problemas de eficiência encontrados na maioria das aplicações. Este problema não é devido à falta de conhecimento técnico, e sim a falta de informação. O não conhecimento das características dinâmicas das cargas, leva à adoção de fatores generosos de segurança especificações equivocadas. Segue abaixo, na figura 7, o desenho das partes de um motor trifásico:

Figura 7: Partes constituintes do motor trifásico.



Fonte: [www.weg.net](http://www.weg.net)

### 1.9.1 MOTOR DE ALTO RENDIMENTO

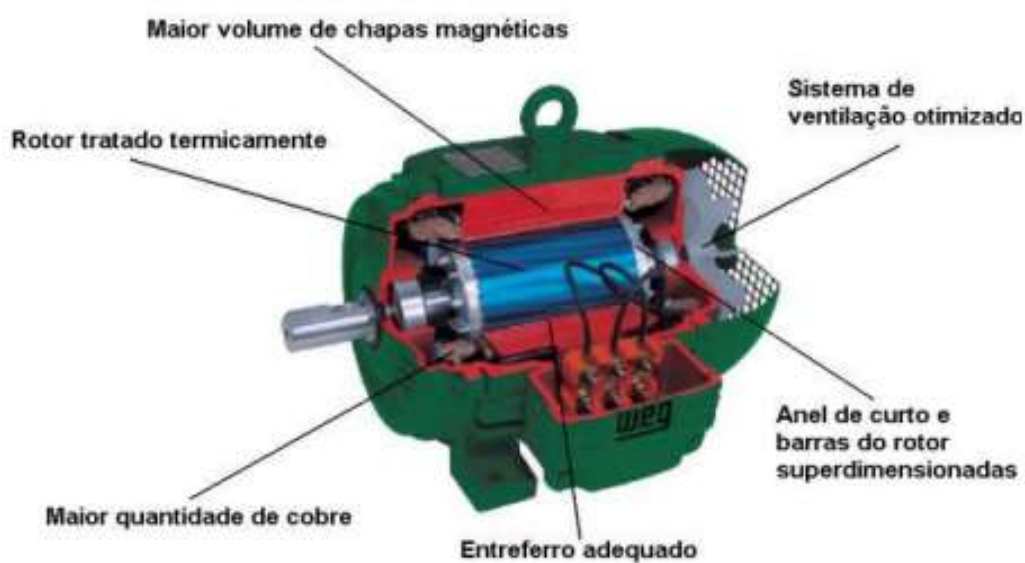
Os motores de alto rendimento apresentam uma boa alternativa para economia de energia em sistemas motrizes. Mas eles não a solução definitiva para a boa eficiência. Eles continuam precisando de um bom dimensionamento, pois são fabricados com a mesma potência dos outros motores e consomem menos energia.

A principal característica destes motores é a melhora em pontos onde estão a maioria das perdas. Por exemplo, o aumento da quantidade de cobre nos enrolamentos do estator, melhoria no projeto de ranhuras, melhoria de isolamento, aumento das bitolas da bobina para diminuir perdas por aquecimento, utilização de

chapas magnéticas de boa qualidade para reduzir as perdas no ferro e a corrente de magnetização. Todas essas medidas podem acarretar numa redução de até 30% das perdas, o que significa uma real economia de energia.

O preço desses motores é um pouco maior por usar materiais de melhor qualidade. Abaixo, na figura 8, as partes constituintes de um motor trifásico de alto rendimento:

*Figura 8: Partes constituintes do motor trifásico de alto rendimento.*



Fonte: [www.weg.net](http://www.weg.net)

## 2 METODOLOGIA

O projeto de pesquisa consiste em um diagnóstico energético de uma indústria de bens de consumo, localizada no distrito industrial na cidade de Manaus que tem como objetivo a economia de energia.

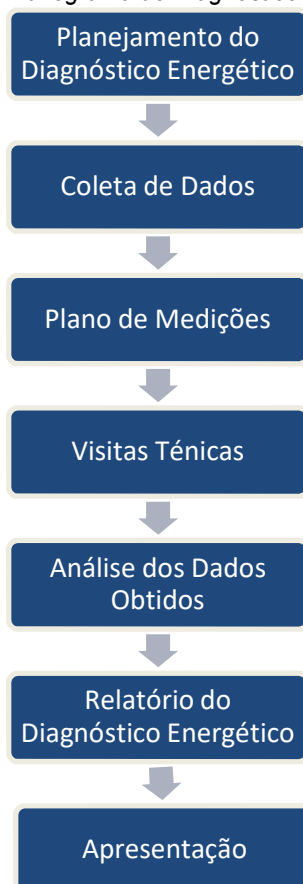
A principal característica desse projeto é a coleta de dados, a análise e a sugestão de ações de conservação de energia elétrica e o seu uso racional. Para isso será necessário uma série de visitas técnicas, medições e observações de funcionamento e aquisição de dados necessários para a análise energética dessa indústria de bens de consumo.

A indústria em questão é bem grande e possui diversas áreas como: tratamento e afiação de lâminas, injeção plástica, montagem de aparelhos, embalagem de aparelhos, sistema de ar comprimido, sistema de refrigeração, sistema de iluminação, escritórios entre outros. Então, com base nos dados adquiridos da empresa será feito um estudo para identificar em qual área será realizado o diagnóstico energético.

Por fim, através dos dados medidos e adquiridos será possível compreender, de maneira genérica, como é dimensionado o consumo de energia elétrica da área escolhida e identificar as oportunidades de redução de custos por meio de ações voltadas para a eficiência energética.

A realização de um diagnóstico energético deve ser sistemática, seguindo etapas claras e objetivas. A figura 9 a seguir, apresenta um fluxograma que resume as etapas a serem seguidas:

Figura 9: Fluxograma do Diagnóstico Energético.



## 2.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

Neste tópico, será abordado o levantamento das informações gerais obtidas da empresa, que possibilitaram a criação dessa análise e estudos técnicos para um diagnóstico energético. Esta etapa inclui, levantamento de histórico de faturas de energia elétrica, levantamento de cargas, levantamento de informações e dos circuitos unifilares da empresa, entre outras ações.

## 2.2 A EMPRESA

A Procter and Gamble, P&G, é uma corporação multinacional americana de bens de consumo. É especializada em uma ampla gama de saúde pessoal, saúde do consumidor e produtos de cuidados pessoais e higiene. Em Manaus existem duas plantas da P&G, a planta Rio Negro e a Solimões. O foco do trabalho será na planta Solimões. Esta planta possui uma grande área e é dividida em 6 prédios.

A empresa é atendida pela Amazonas Energia através de uma rede de 69kV, possuindo três transformadores de 13,8kV com potência de 75MVA cada, sendo que um destes transformadores está desabilitado. Esses transformadores alimentam outros seis transformadores de 13,8kV que fazem a redução da energia elétrica para baixa tensão para o atendimento das cargas da instalação. Na tabela 1 podemos ver a relação da subestação com cada transformador que ela alimenta.

*Tabela 1: Dados Transformadores*

<b>Subestação</b>	<b>Transformador</b>	<b>Potência (kVA)</b>
SE1	TR-1A	2000
	TR-1B	1000
SE2	TR-2A	1000
	TR-2B	1000
	TR-2C	500
	TR-2D	500
SE3	TR-3A	1500
	TR-3B	1500
	TR-3C	1500
SE4	TR-4A	1500
	TR-4B	1500
SE5	TR-5A	1500
	TR-5B	1500
	TR-5C	750
	TR-5D	750
	TR-5E	750
	TR-5F	750
SE6	TR-6A	1250
	TR-6B	2000
	TR-6C	300

*Fonte: Autor, baseado no levantamento de campo.*

A empresa está no subgrupo A3, que é o grupo para nível de tensão de 69kV, e se enquadra na estrutura horo-sazonal azul que é obrigatória para os consumidores dos subgrupos A1, A2 e A3. E tem uma demanda contratada de 8000kW na ponta e 8300kW fora da ponta. A tabela 2 abaixo nos mostra os dados referentes à energia elétrica utilizadas na instalação e que ajudaram a realizar estas análises.

Tabela 2: Dados Energia Elétrica da Empresa

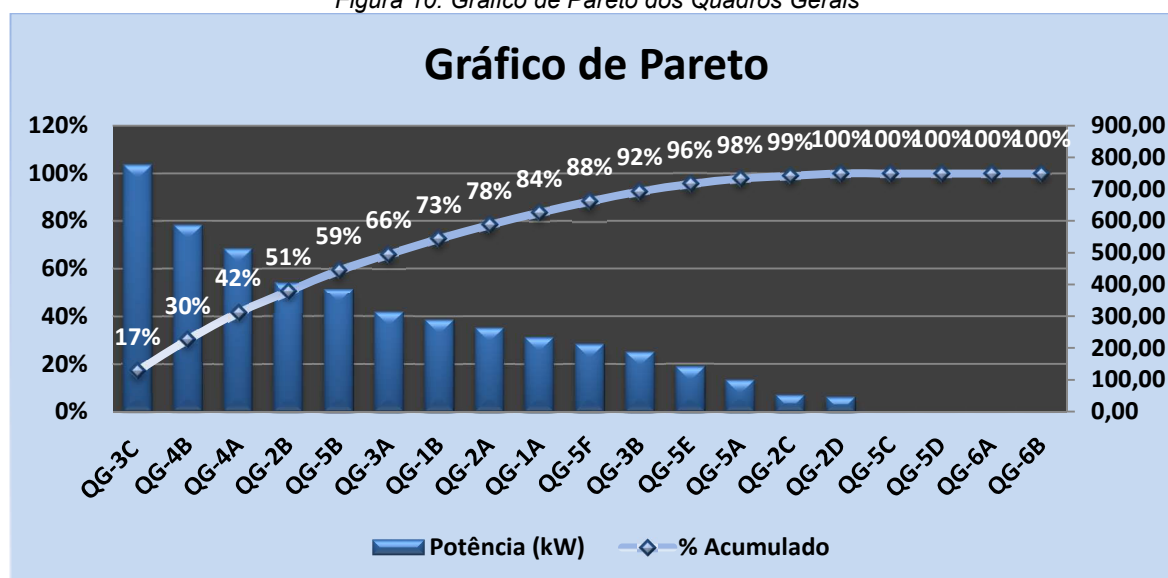
Mês/Ano	Consumo Ponta	Consumo F. Ponta	Demanda Medida Ponta	Demanda medida F. Ponta	Reativo Excedente Ponta	Reativo Excedente F. Ponta
fev/19	301680,00	2882520,00	8000,00	8300,00	0,00	108000,00
mar/19	285660,00	2907000,00	5940,00	6192,00	16200,00	129960,00
abr/19	339840,00	3244860,00	6156,00	6570,00	16740,00	124380,00
mai/19	372420,00	3434940,00	8000,00	8300,00	16020,00	121500,00
jun/19	284040,00	2990520,00	8000,00	8300,00	12420,00	101520,00
jul/19	358560,00	3286980,00	8000,00	8300,00	18540,00	122760,00

Fonte: Autor, baseado no histórico de faturas de energia.

### 2.3 LEVANTAMENTO DE CARGAS

As atividades desenvolvidas na empresa são na escala 6x1. A fábrica funciona 24 horas por dia, dividida em três turnos, de segunda a sábado. No período de segunda a sexta funciona o RH e os demais serviços do horário administrativo. Pode-se observar abaixo, na figura 10 e na tabela 3, a distribuição de potências por quadros gerais.

Figura 10: Gráfico de Pareto dos Quadros Gerais



Fonte: Autor, baseado em dados coletados

Tabela3: Dados Potência dos Quadros Gerais

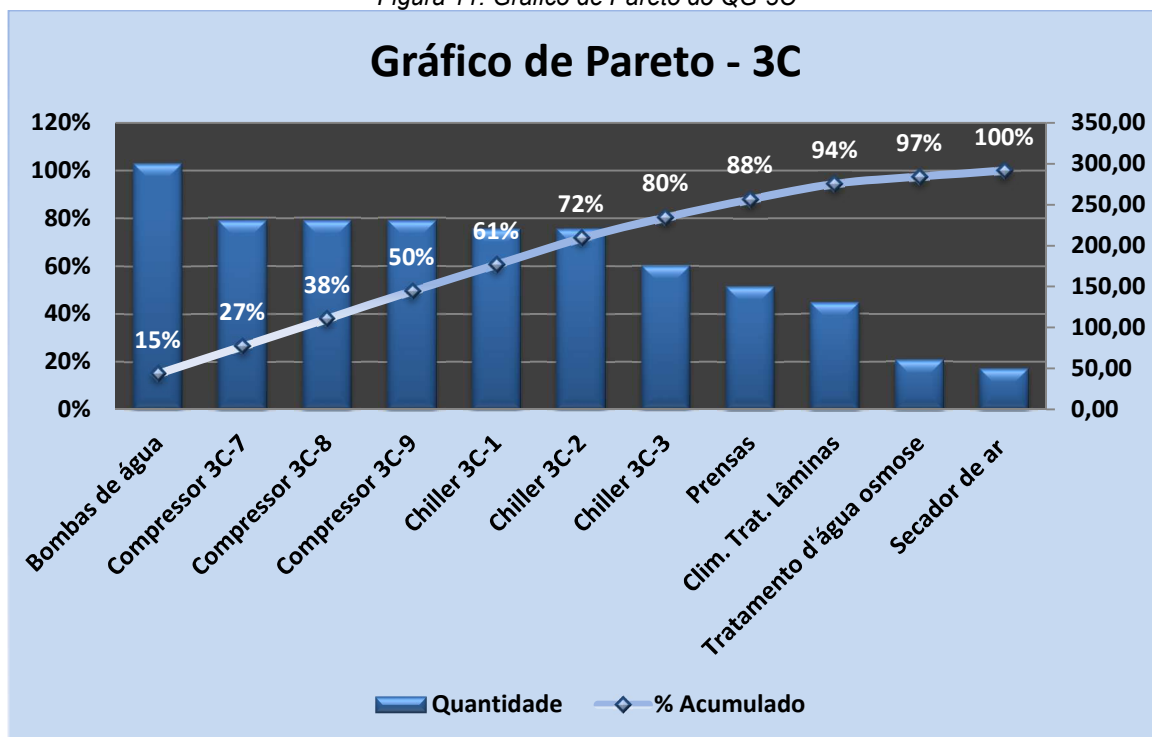
Quadros	Potência (kW)	%	% Acumulado
QG-3C	777,00	17%	17%
QG-4B	587,00	13%	30%
QG-4A	513,00	11%	42%
QG-2B	405,00	9%	51%
QG-5B	388,00	9%	59%
QG-3A	314,00	7%	66%
QG-1B	290,00	6%	73%
QG-2A	263,00	6%	78%
QG-1A	234,00	5%	84%
QG-5F	212,00	5%	88%
QG-3B	189,00	4%	92%
QG-5E	141,00	3%	96%
QG-5A	100,00	2%	98%
QG-2C	52,00	1%	99%
QG-2D	47,00	1%	100%
QG-5C	0,00	0%	100%
QG-5D	0,00	0%	100%
QG-6A	0,00	0%	100%
QG-6B	0,00	0%	100%
QG-6C	0,00	0%	100%

Fonte: Autor, baseado em dados coletados

Estes dados foram obtidos através do levantamento de campo, onde foram identificados quais quadros mais contribuíam para o consumo de energia. Logo, onde estão as maiores cargas consumidoras de potência. Analisando o gráfico de pareto da figura 11, trabalharemos em cima dos quadros que consomem mais potência e que equivalem a quase 80% do consumo de potência da fábrica inteira. A partir desse ponto, serão levantadas as cargas de cada quadro a ser estudado. Um dos principais quadros é o QG-3C, que é um dos quadros que a maioria das cargas são compressores de ar e os chillers, os quais funcionam a maior parte do tempo. O QG-3C, consome em média o equivalente a 775kW, 17% do consumo de toda a fábrica. Na figura 11 abaixo segue o gráfico de pareto do quadro QG-3C.



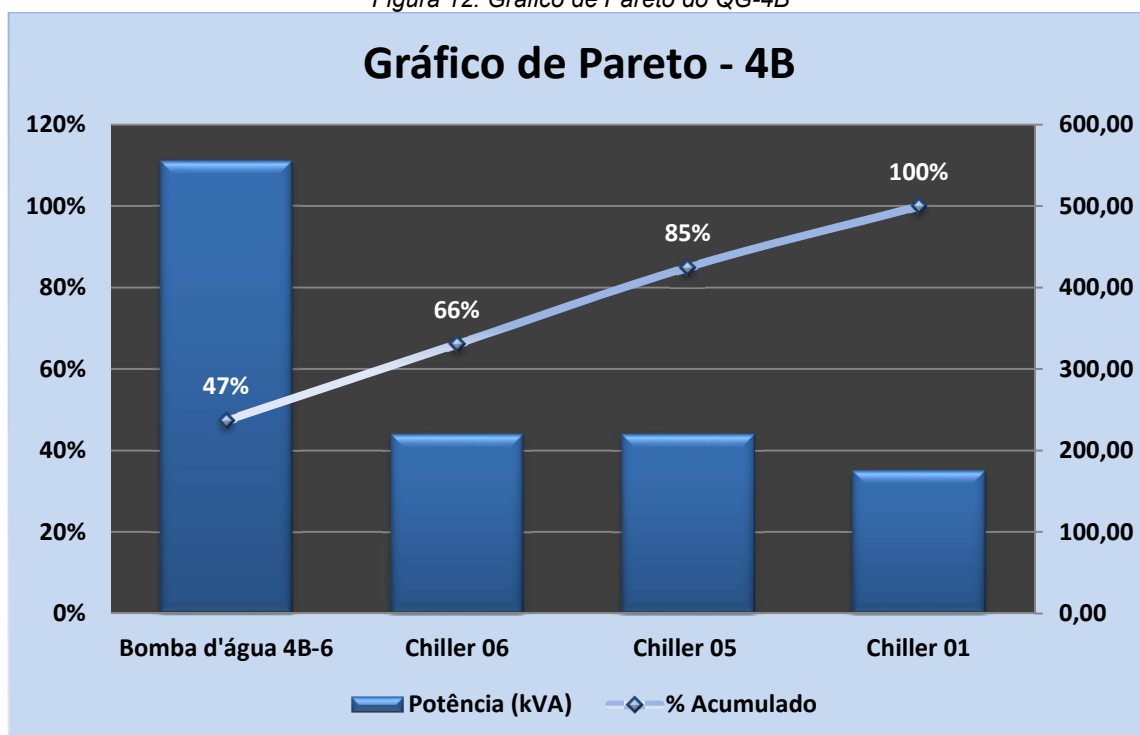
Figura 11: Gráfico de Pareto do QG-3C



Fonte: Autor

O quadro QG-4B alimenta a bomba da torre de resfriamento de água 4B-6 e alguns chillers. Na figura 12 abaixo, conseguimos visualizar as cargas do QG-4B.

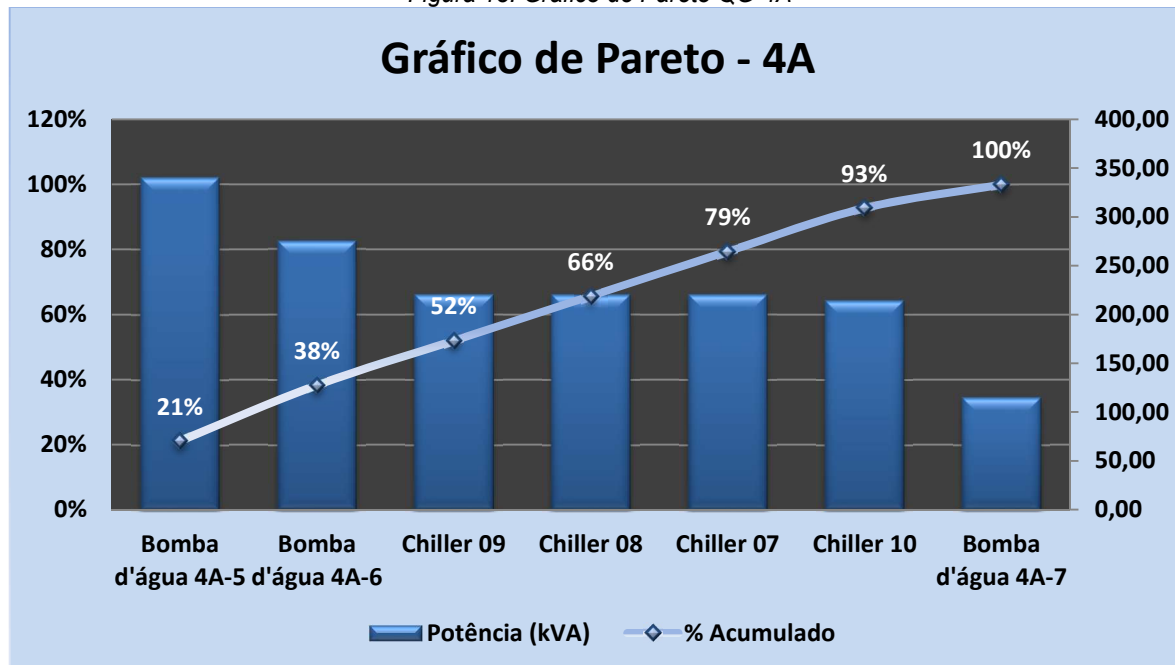
Figura 12: Gráfico de Pareto do QG-4B



Fonte: Autor

O quadro QG-4A, equivale a 11% do consumo de potência da fábrica, na figura 13 abaixo as cargas que são alimentadas por esse quadro.

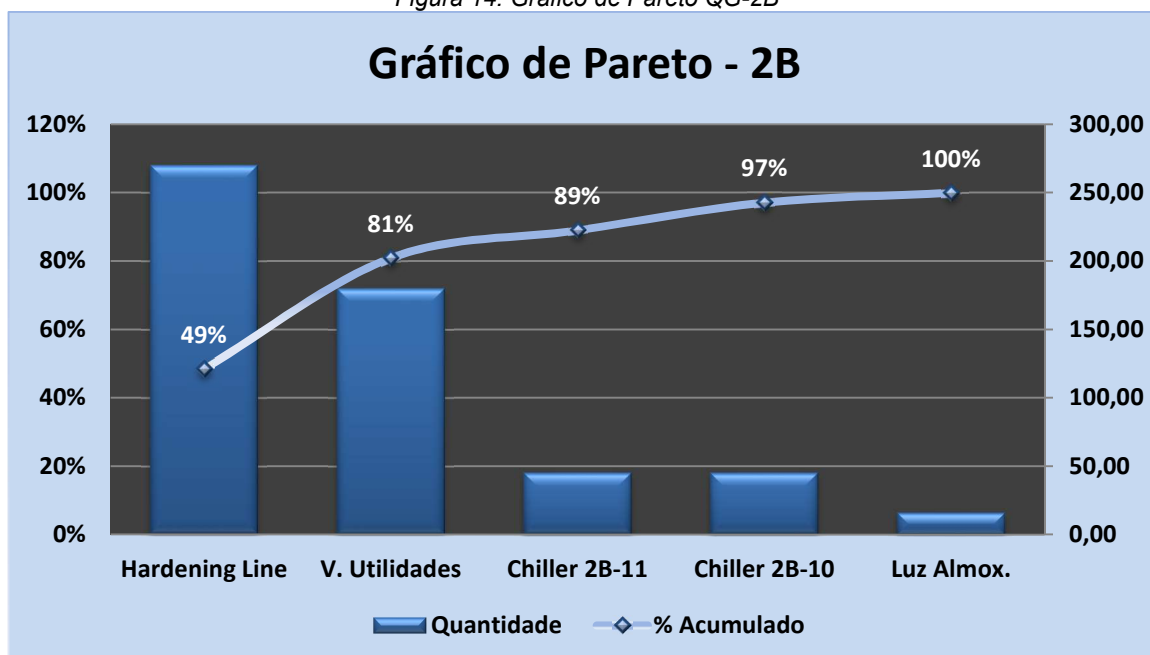
Figura 13: Gráfico de Pareto QG-4A



Fonte: Autor

No quadro QG-2B, como mostra a figura 14 temos mais chillers, bomba de vácuo utilizada no almoxarifado, máquinas do processo de produção de lâminas e iluminação do almoxarifado.

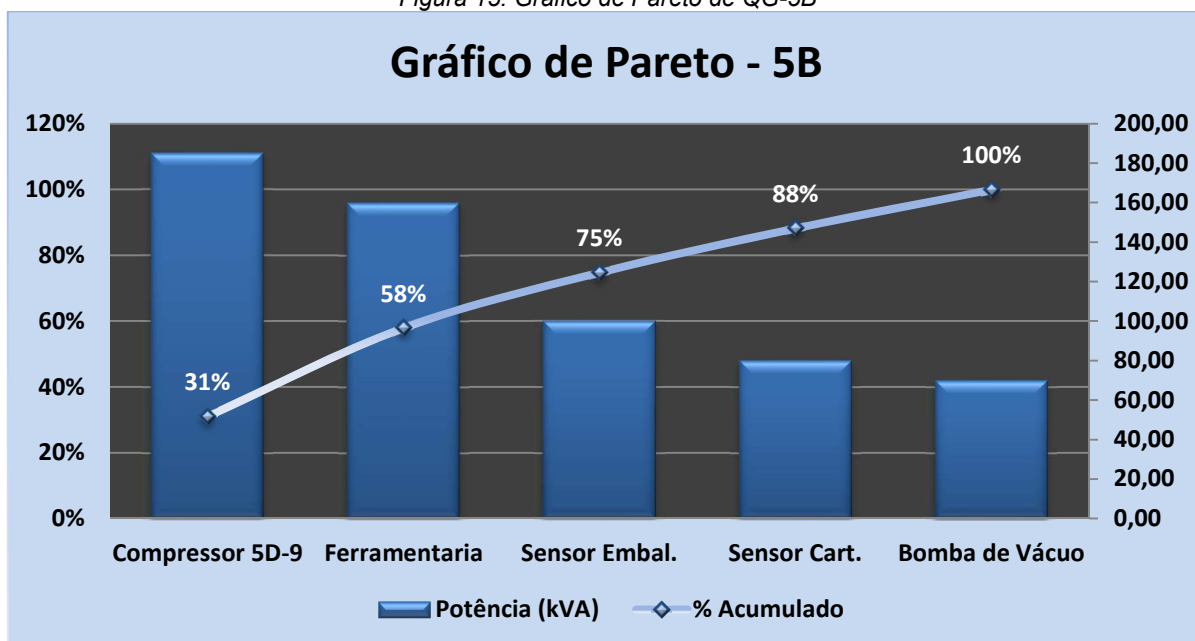
Figura 14: Gráfico de Pareto QG-2B



Fonte: Autor

O quadro QG-5B alimenta um compressor, as máquinas da área da ferramentaria, as máquinas de embalagem e montagem de aparelho sensor e bomba de vácuo. Na figura 15 vemos a distribuição de cargas deste quadro.

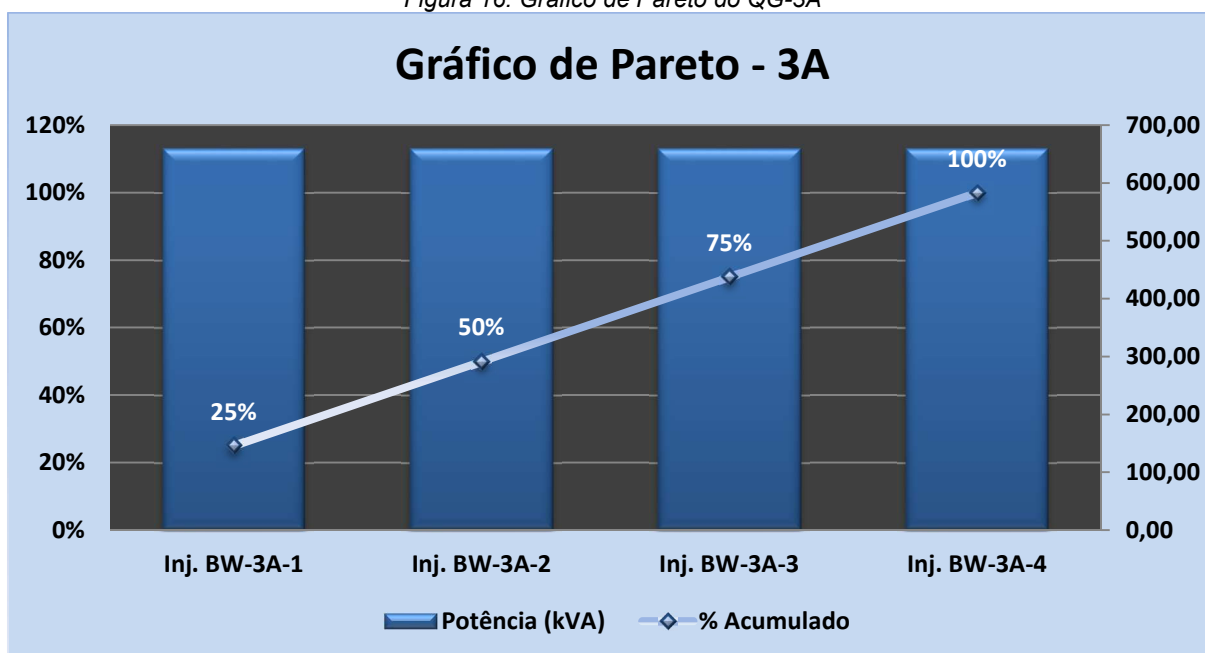
Figura 15: Gráfico de Pareto de QG-5B



Fonte: Autor

Na figura 16 abaixo, temos as cargas do quadro QG-3A.

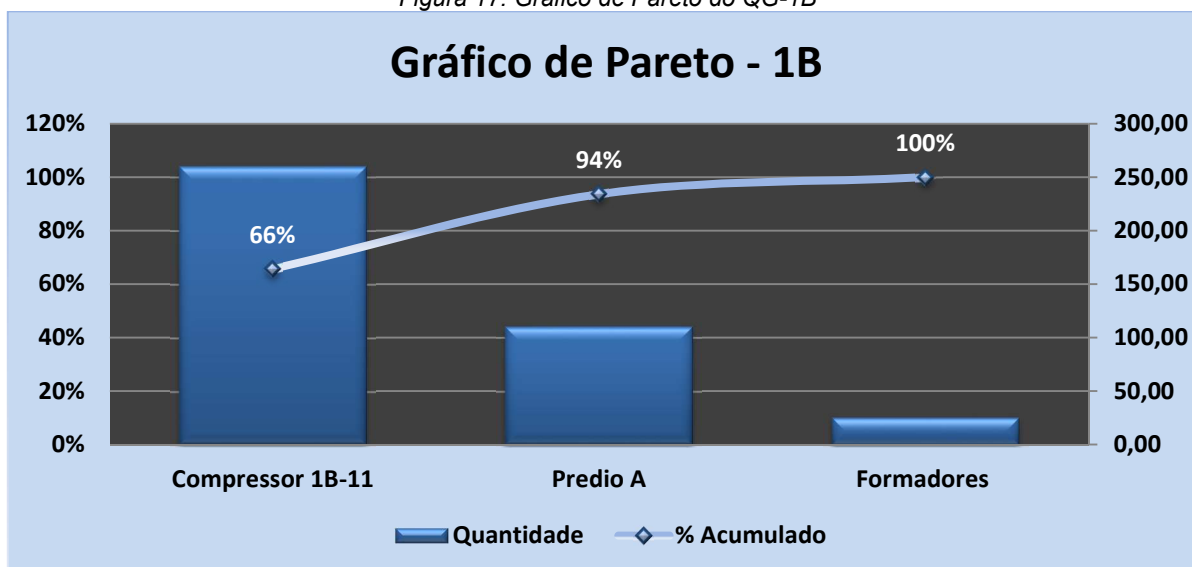
Figura 16: Gráfico de Pareto do QG-3A



Fonte: Autor

As cargas do quadro QG-1B são um compressor de ar, as cargas instaladas do prédio A e as máquinas formadores de blister. Abaixo na figura 17, o gráfico de Pareto do QG-1B.

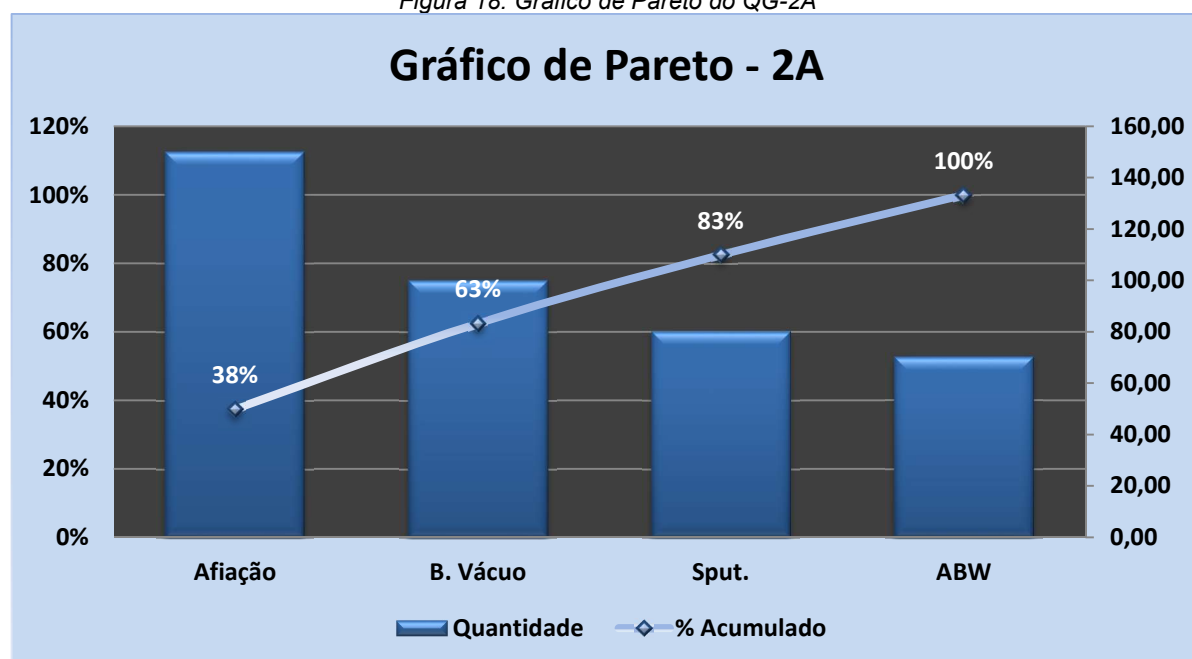
Figura 17: Gráfico de Pareto do QG-1B



Fonte: Autor

O quadro QG-2A, alimenta a maioria das máquinas do setor de lâminas. A figura 18 abaixo, mostra como estão distribuídas as cargas desse quadro.

Figura 18: Gráfico de Pareto do QG-2A



Fonte: Autor

Os quadros citados acima, juntos, equivalem a 78% do consumo de potência da fábrica, de acordo com o gráfico de pareto da figura 10. São nesses quadros que temos os maiores consumidores e onde há o maior potencial de economia.

Como observado nos gráficos de pareto, vemos que a maioria das cargas desses quadros são: Compressores, Bombas de água de torres de resfriamento, Chillers entre outros. Como se sabe a força motriz é um dos grandes responsáveis pelo maior consumo de energia por uso final de uma fábrica, e também um dos grandes potenciais de economia de energia.

## **2.4 ANÁLISE TARIFÁRIA**

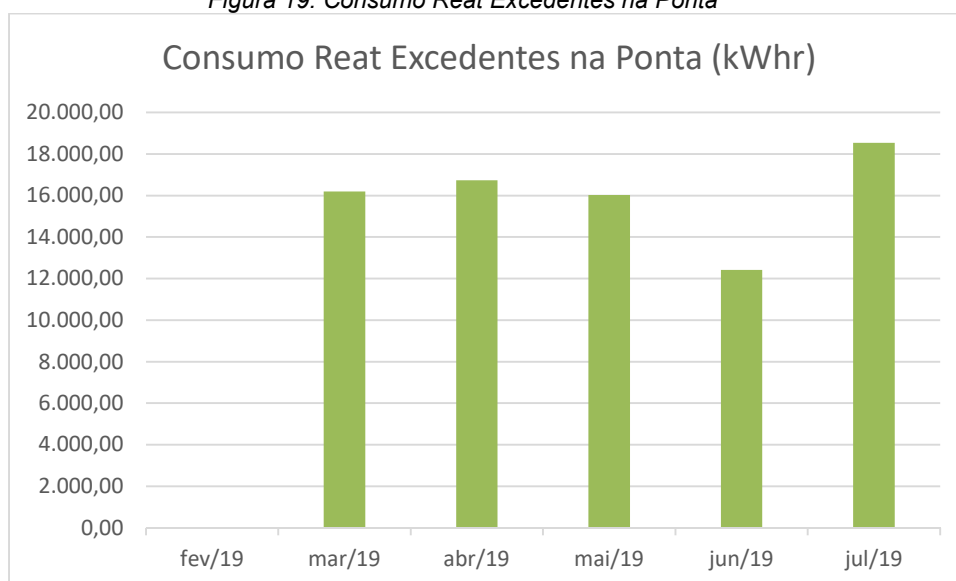
A indústria conforme legislação está enquadrada na modalidade TUSD (tarifa do uso de sistema de distribuição), livre A3, classe industrial. Essa modalidade pertence ao grupo A, para tensões igual ou superior a 69 kV (quilovolts), chamada de modalidade tarifária horosazonal azul. A empresa recebe fornecimento de energia de 69kV.

Por meio das faturas de energia, considerando um período de 6 meses, foi possível analisar o contrato de uso do sistema de distribuição, encargos na hora de ponta e fora da ponta, demanda no horário de ponta e fora de ponta, demanda contratada, também como, consumo de reativos excedentes.

Dentro dos 6 meses estudados, verificou-se que a fatura do mês maio apresentou multa e juros por atraso de pagamento, como foi uma só das faturas em um intervalo de seis, seria necessário a análise de mais algumas faturas para confirmar se as datas do contrato estão em acordo.

Foram observadas cobranças de reativos em todos os seis meses analisados. De acordo com a figura 19, os valores cobrados para o horário de ponta são:

Figura 19: Consumo Reat Excedentes na Ponta

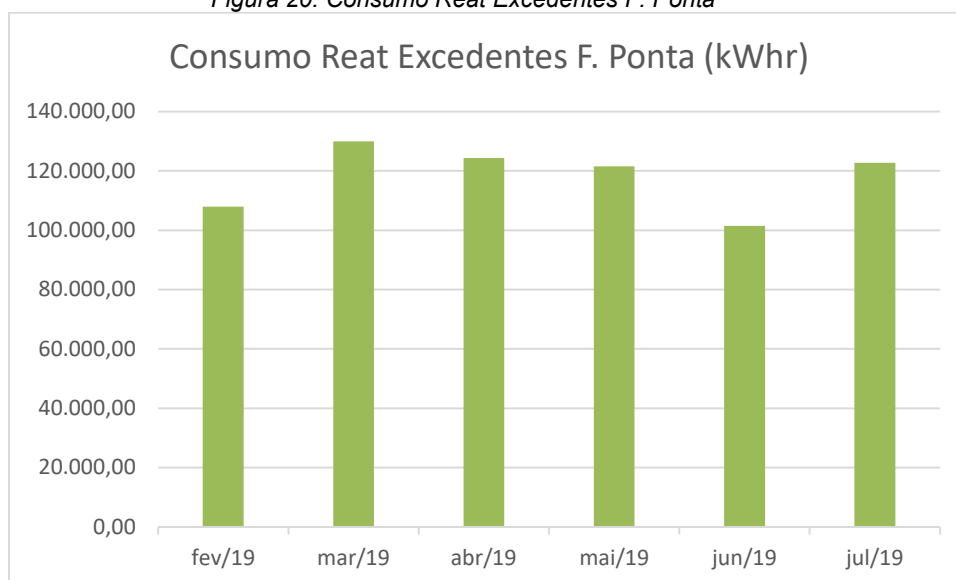


Fonte: Autor, baseado nas faturas de energia

Somente no mês de fevereiro, não foram identificados reativos excedentes no horário de ponta.

A figura 20 abaixo, mostra os valores de reativos excedentes para o horário fora de ponta.

Figura 20: Consumo Reat Excedentes F. Ponta



Fonte: Autor, baseado nas faturas de energia

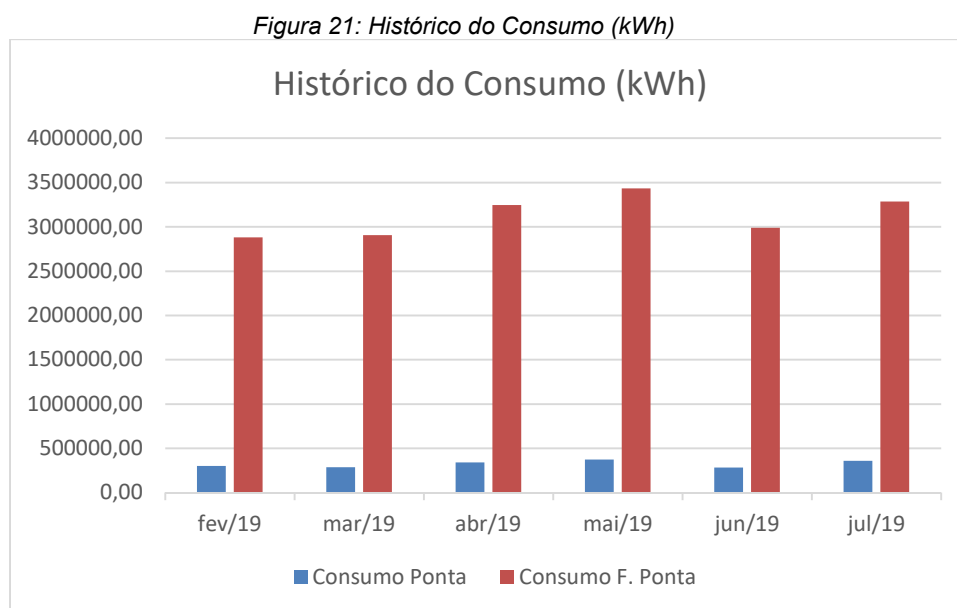
Para o horário fora de ponta, foram identificados reativos excedentes em todos os meses analisados.

A correção do fator de potência é muito importante não só para a economia de energia, como também nos aspectos operacionais das instalações como: liberação da capacidade dos transformadores de potências, cabos e redução de perdas nos sistemas.

Os reativos excedentes apresentados nos gráficos das figuras 19 e 20, expõe um problema típico de correção de fator de potência devido à falta ou ineficiência do sistema.

As faturas de energia concedidas pela empresa permitem saber os encargos de consumo, demanda, contribuição de iluminação pública e consumos de reativos excedentes do período em estudo nos horários de ponta e fora de ponta.

A figura 21 apresenta o histórico do consumo nos seis meses avaliados no horário de ponta e fora de ponta.



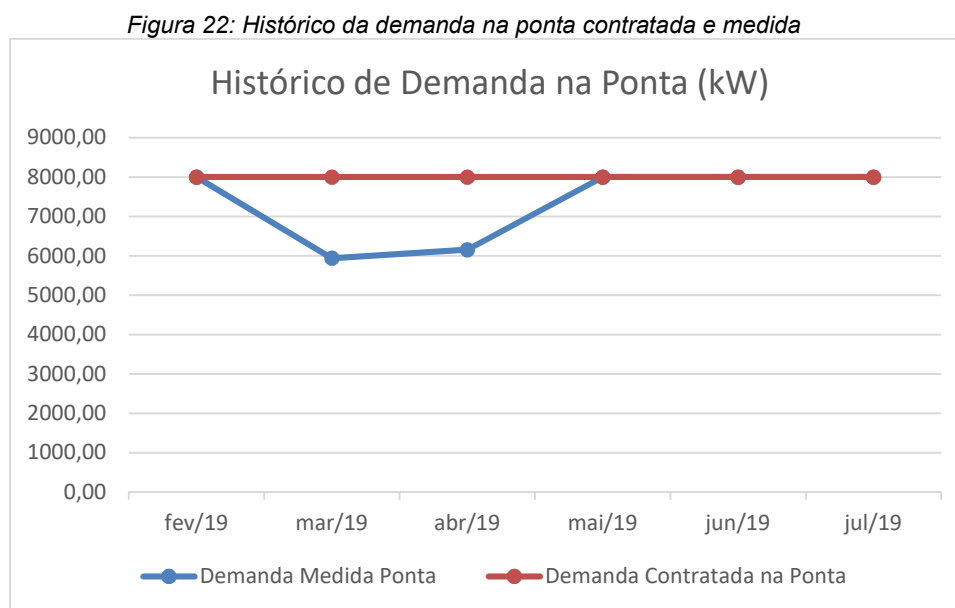
*Fonte: Autor, baseado nas faturas de energia.*

O consumo médio dos seis meses no horário de ponta foi de 323700,00 kWh, e o consumo máximo foi de 372420,00kWh no mês de maio e no horário fora de ponta o consumo médio foi de 3124470,00 kWh, e o consumo máximo foi de 3433940,00 kWh também no mês de maio.

Este gráfico da figura 21 tem o objetivo de mostrar as dimensões energéticas de consumo de energia da planta, porém o foco do trabalho será nas demandas no horário de ponta e fora de ponta.

Horário de ponta é o período correspondente a três horas consecutivas, não contando com sábados, domingos e feriados. E horário fora de ponta é considerado as demais 21 horas do dia.

A figura 22 apresenta o histórico da demanda no período analisado no horário de ponta.



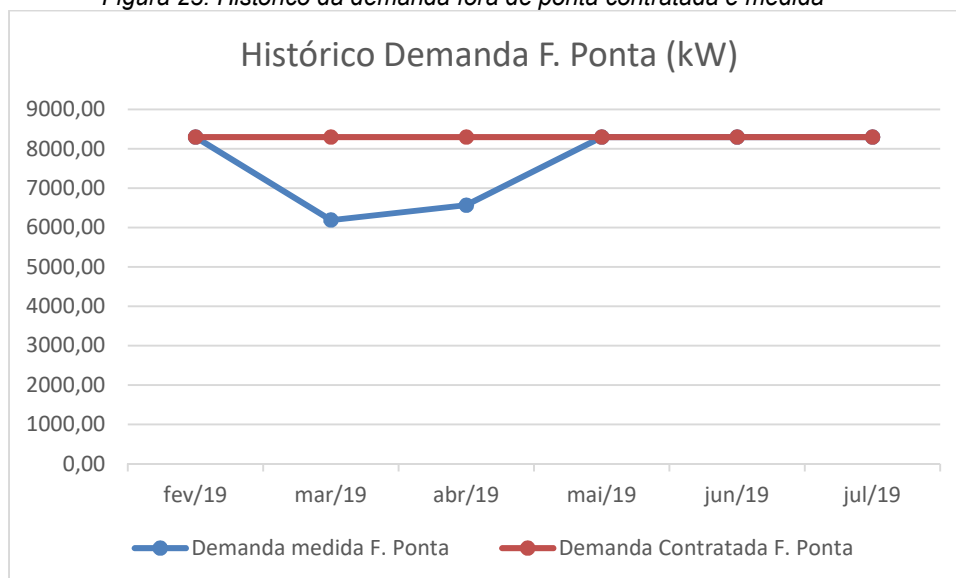
A demanda contratada está representada pelo gráfico da figura 22, pela linha superior vermelha, com valor de 8000kW e a demanda medida está representada pela linha azul.

A linha azul alcançou a linha vermelho, mas não a ultrapassou, indicando que não houve multa de ultrapassagem.

A figura 23 apresenta o histórico da demanda no período analisado fora do horário de ponta.



Figura 23: Histórico da demanda fora de ponta contratada e medida



Fonte: Autor

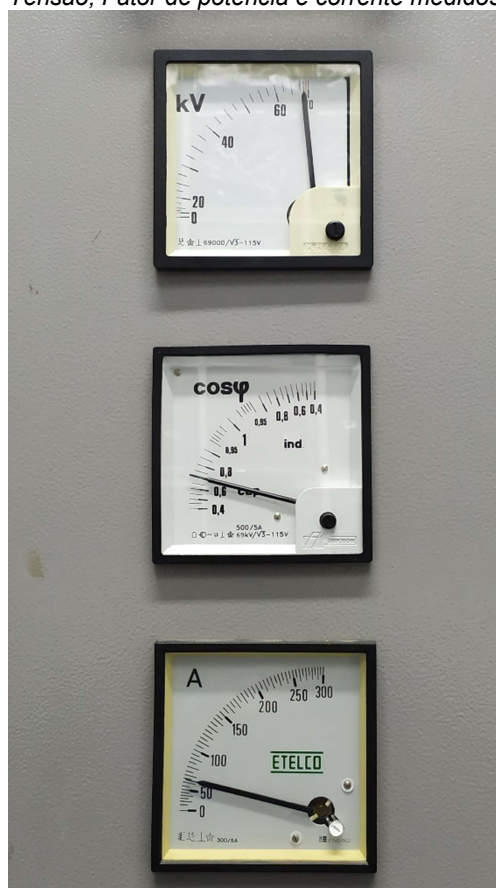
A demanda contratada no horário fora de ponta é 8300kW. Como mostrado nos gráficos das figuras 22 e 23, os meses de março e abril foram meses que a demanda medida ficou um pouco abaixo da demanda contratada, tanto para o horário de ponta como para o horário fora de ponta. Isso aconteceu neste período, por estratégia do negócio, várias máquinas ficaram desligadas nesses meses, devido ao baixo volume de produção que estava ocorrendo na planta.

#### 2.4.1 ANÁLISE DO FATOR DE POTÊNCIA

Conforme a legislação em vigor, o valor de referência do fator de potência é de 0,92. Caso este valor esteja abaixo do permitido haverá cobranças de multas de reativos excedentes. Nos gráficos das figuras 19 e 20, vistos anteriormente, foram apresentados os valores de reativos excedentes para o horário na ponta e fora da ponta.

O valor médio em reativos excedentes no horário na ponta foi de 13320,00 kW. Com o valor da tarifa taxada em 0,3884530, este valor equivale a 5174,20 reais pagos por mês. Já para o horário fora de ponta, os reativos excedentes ficaram em 118020,00 kW, resultando ao equivalente de 45845,22 reais pagos em multas mensalmente. Na figura 24 a seguir é mostrado o fator de potência da fábrica. A fábrica está com um fator de potência equivalente a 0,7, resultando em constantes multas mês a mês.

Figure 24: Tensão, Fator de potência e corrente medidos na entrada



Fonte: Autor

Para que não haja mais multas, o ideal seria dimensionar um banco de capacitor para que esse fator de potência chegasse a um valor entre 0,92-0,95.

## 2.5 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Para o sistema de iluminação foi levantado apenas as cargas do salão de injeção plástica.

Nesta etapa foram identificadas as lâmpadas utilizadas e suas potências. Na tabela 4 abaixo é apresentado o tipo de lâmpada e quantidade utilizada neste salão.

Tabela 4: Quantidade de lâmpadas  
Tipos e Quantidades de Luminária

Sistema	Tipo de Luminária	Salão de Injeção
Fluorescente	4x28W	576

Fonte: Autor

Conforme apresentado na tabela 4 o sistema de iluminação do setor de Injeção Plástica é composto por luminárias com 4 lâmpadas de 28W cada uma, tipo T5. O salão contém um total 144 luminárias, um total de 576 lâmpadas. O modelo de lâmpada utilizado é Philips TL5 28W/865.

O salão de Injeção Plástica é um dos maiores setores que há na fábrica, por isso ele foi escolhido para se fazer o levantamento do sistema de iluminação.

Na figura abaixo 25, segue uma foto do salão que foi realizado a atividade.

*Figure 25: Salão de Injeção Plástica*



*Fonte: Autor*

## **2.6 ANÁLISE ECONÔMICA DE PROJETOS**

Permite avaliar se as implementações propostas terão o retorno e a viabilidade sob o enfoque econômico-financeiro. Os principais métodos serão mostrados a seguir.

### **2.6.1 TEMPO DE RETORNO**

O método de tempo de retorno (*payback*) é utilizado para determinar quanto tempo é necessário para que o investimento inicial seja totalmente recuperado. Sua principal desvantagem é a de não considerar o valor do dinheiro no tempo, ou seja, não descontar os valores futuros do fluxo de caixa, sendo simplesmente um período de tempo máximo aceitável, determinado subjetivamente, através das entradas de caixa no momento em que ocorrem e quando o fluxo alcança o ponto de equilíbrio (as entradas se igualam ao investimento).

### **2.6.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)**

Esta é considerada uma sofisticada técnica de análise de orçamento de capital, exatamente por considerar o valor do dinheiro no tempo. Utilizando-se esta técnica, tanto as entradas como as saídas de caixa são traduzidas para valores monetários atuais. Dessa forma, podem ser comparadas ao investimento inicial, que está automaticamente expresso em termos monetários atuais.

Este tipo de técnica desconta os fluxos de caixa da empresa a uma taxa especificada. Esta taxa é frequentemente chamada de taxa de desconto, custo de oportunidade ou custo de capital, e refere-se ao retorno mínimo que deve ser obtido por um projeto, de forma a manter inalterado o valor de mercado da empresa.

O critério usado para a aceitação ou não de determinado projeto é a seguinte: se o VPL for maior que zero, aceita-se o projeto; se o VPL for menor que zero, rejeita-se o projeto.

### **2.6.3 TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)**

É a taxa de juros para a qual as receitas de um projeto tornam-se iguais aos reembolsos ou ainda, tornando nulo o Valor Líquido Presente do projeto.

A TIR também pode ser interpretada como sendo a taxa de remuneração do capital investido.

### 3 PROPOSTAS

Nesta etapa serão propostas ações para melhorar o uso de energia e equipamentos.

#### 3.1 PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Foi conversado com a equipe de manutenção predial da fábrica, e os principais problemas que foram levantados referentes a bombas de resfriamento, chillers e compressoras foi a falta de manutenção preventiva nestes equipamentos. A equipe só atua quando há alguma falha em alguns destes sistemas.

Referentes aos compressores há falhas de perdas de vazamentos de ar e queda por pressão. Tubulações que circulam o ar com vazamentos e filtros de ar sujos o que ocasiona perda de pressão.

Em torres de resfriamento o maior problema é a incrustação, que é o acúmulo de material nas superfícies de troca de calor, isso é um problema grave e pode afetar a eficiência dos equipamentos.

Chillers antigos também são um dos problemas hoje, uma das propostas é a substituição dos chillers antigos por chillers novos de mesmas potências e bem mais eficientes.

A criação de um plano de manutenção preventiva iria reduzir bastantes as perdas que hoje ocorrem nesses sistemas, porque os equipamentos iriam sempre estar em condições mais próximas as que eles eram quando saíram de fábrica.

Abaixo na tabela 5, segue um modelo proposto de manutenção preventiva a ser seguido.

*Tabela 5: Modelo Plano de Manutenção Preventiva*

Plano de Manutenção Preventiva		
Equipamento		
Chiller		
Item	Serviços	Freq.
1	Limpeza Geral. Incluindo compressores.	mensal
2	Eliminar ruídos e vibrações ou programar corretiva.	mensal
3	Verificar/completar nível de óleo.	mensal
4	Check dos registros hidráulicos	mensal
5	Verificar ventiladores	mensal
6	Efetuar limpeza	mensal
7	Check vazamentos água/óleo.	mensal

<b>Plano de Manutenção Preventiva</b>		
8	Check botoeiras, lâmpadas, disjuntores, fusíveis etc.	mensal
9	Reaperto dos contatos elétricos dos componentes	mensal
10	Limpar condensadores e ventiladores	anual
<b>Equipamento</b>		
<b>Fan Coil</b>		
<b>Item</b>	<b>Serviços</b>	<b>Freq.</b>
1	Efetuar limpeza geral da casa de máquinas e equipamentos.	mensal
2	Limpar ou substituir filtros de ar.	mensal
3	Limpar dreno e bandeja de condensação.	mensal
4	Eliminar ponto de corrosão(tratar com primer e pintar).	mensal
5	Verificar correias do ventilador, substituindo quando necessário.	mensal
6	Eliminar vazamento de água gelada nos registros, válvulas etc.	mensal
7	Registrar pressão entrada/saída de água gelada.	mensal
8	Verificar botoeiras, disjuntores, lâmpadas, fusíveis etc.	mensal
9	Efetuar limpeza.	mensal
10	Limpar Serpentina.	anual
11	Reaperto dos contatos elétricos.	mensal
<b>Equipamento</b>		
<b>Compressores</b>		
<b>Item</b>	<b>Serviços</b>	<b>Freq.</b>
1	Nível de óleo motor	mensal
2	Conexão das mangueiras (fixação)	mensal
3	Vazamento nas mangueiras	mensal
3	Ruidos	mensal
4	Reaperto contatos elétricos	mensal
5	Linha de serviço	mensal
6	Substituição de Filtros	mensal
7	Registro de saída de ar	mensal
8	Estado geral das mangueiras	mensal
9	Emissão de gases / ventilação do ambiente	semestral
<b>Equipamento</b>		
<b>Bombas de Vácuo</b>		
<b>Item</b>	<b>Serviços</b>	<b>Freq.</b>
1	Check nível de óleo	mensal
2	Substituição de filtros	mensal
3	Substituição das palhetas	semestral
4	Check vazamentos de ar	mensal
5	Check ruídos	mensal
6	Check vazamentos de óleo	mensal
7	Reaperto contatos elétricos	mensal

*Fonte: 1Autor*

### 3.2 CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA DOS QUADROS

Para correção do fator de potência dos quadros, foram adotadas algumas medidas. Os quadros que juntos equivalem ao maior consumo de potência da fábrica. De acordo com os dados levantados de potência ativa, reativa e aparente de cada quadro, foi possível calcular o fator de potência de cada um. Em seguida foi calculado qual seria o banco de capacitor utilizado para corrigir esse fator de potência de modo que o fator de potência equivalesse a 0,92.

- QG – 3C

$$P = 777kW$$

$$Q_i = 474kVAr$$

$$S = 882kVA$$

$$FP = \frac{P}{S} = 0,88$$

Para um fator de potência de 0,92:

$$S = \frac{P}{0,92}$$

$$S = 844,56 kVA$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$Q_o = 330,98 kVar$$

$$Q_{cap} = Q_i - Q_o = 143 kVAr$$

- QG – 4B

$$P = 587kW$$

$$Q_i = 369kVAr$$

$$S = 693kVA$$

$$FP = \frac{P}{S} = 0,84$$

Para um fator de potência de 0,92:

$$S = \frac{P}{0,92}$$

$$S = 638 \text{ kVA}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$Q_o = 244,94 \text{ kVar}$$

$$Q_{cap} = Q_i - Q_o = 125 \text{ kVar}$$

- QG – 4A

$$P = 513 \text{ kW}$$

$$Q_i = 394 \text{ kVar}$$

$$S = 647 \text{ kVA}$$

$$FP = \frac{P}{S} = 0,79$$

Para um fator de potência de 0,92:

$$S = \frac{P}{0,92}$$

$$S = 557,6 \text{ kVA}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$Q_o = 218,51 \text{ kVar}$$

$$Q_{cap} = Q_i - Q_o = 175,49 \text{ kVar}$$

- QG – 2B

$$P = 405 \text{ kW}$$

$$Q_i = 244 \text{ kVar}$$

$$S = 473 \text{ kVA}$$

$$FP = \frac{P}{S} = 0,85$$



Para um fator de potência de 0,92:

$$S = \frac{P}{0,92}$$

$$S = 440,2 \text{ kVA}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$Q_o = 172,48 \text{ kVar}$$

$$Q_{cap} = Q_i - Q_o = 71,51 \text{ kVar}$$

- QG – 5B

$$P = 388 \text{ kW}$$

$$Q_i = 128 \text{ kVar}$$

$$S = 408 \text{ kVA}$$

$$FP = \frac{P}{S} = 0,95$$

- QG – 3A

$$P = 314 \text{ kW}$$

$$Q_i = 125 \text{ kVar}$$

$$S = 338 \text{ kVA}$$

$$FP = \frac{P}{S} = 0,93$$

- QG – 1B

$$P = 290 \text{ kW}$$

$$Q_i = 156 \text{ kVar}$$

$$S = 330 \text{ kVA}$$

$$FP = \frac{P}{S} = 0,87$$

Para um fator de potência de 0,92:

$$S = \frac{P}{0,92}$$

$$S = 315,2 \text{ kVA}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$Q_o = 123,49 \text{ kVar}$$

$$Q_{cap} = Q_i - Q_o = 32,51 \text{ kVar}$$

- QG – 2A

$$P = 231 \text{ kW}$$

$$Q_i = 92 \text{ kVar}$$

$$S = 249 \text{ kVA}$$

$$FP = \frac{P}{S} = 0,93$$

O fator de potência dos quadros 5B, 3A e 2A já estão dentro do valor permitido, assim não é necessário o cálculo de um banco de capacitor para estes.

Abaixo segue a tabela 5 que demonstra um orçamento de banco de capacitores para os quadros que são necessários corrigir o fator de potência.

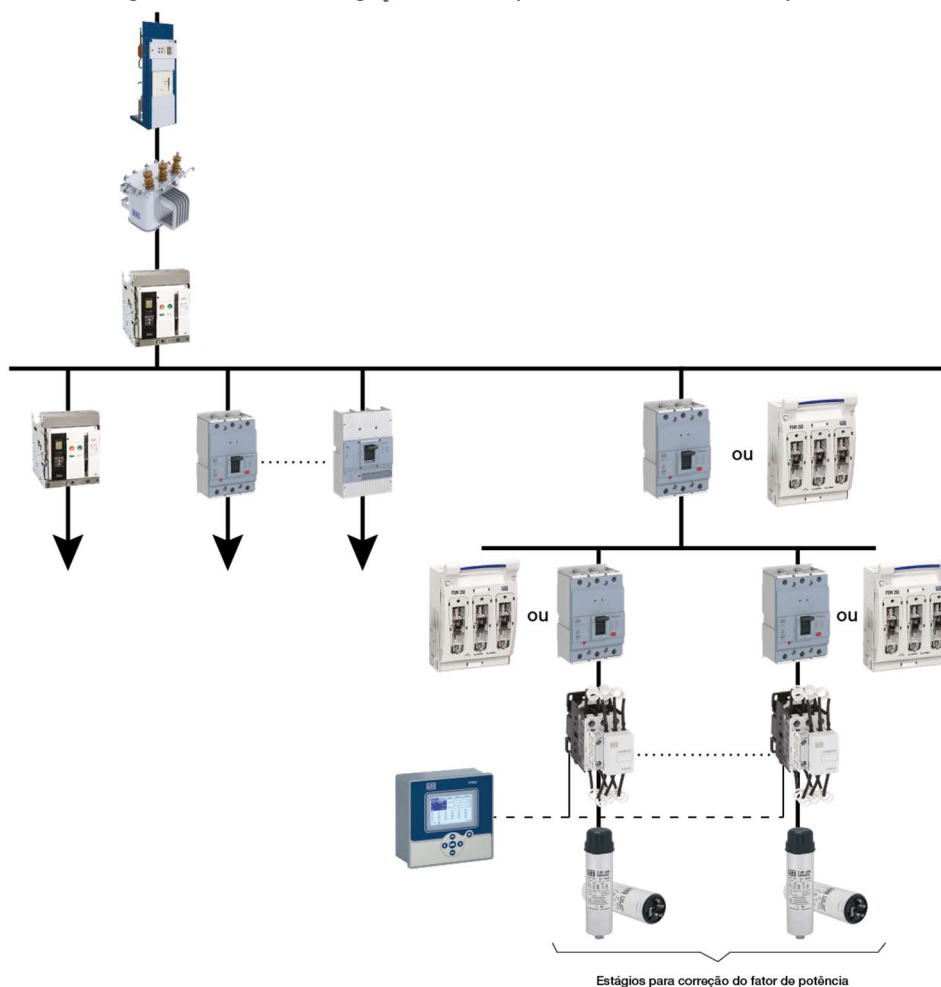
Tabela 6: Orçamento banco de capacitores

Quadro	Qcap	Banco de Capacitor	Estágios	Preço Máximo (R\$)	Total (R\$)
QG - 3C	143 kVar	50 kVar	3	20000,00	
QG - 4B	125 kVar	35 kVar	4	15000,00	
QG - 4A	175,49 kVar	40 kVar	4	25000,00	
QG - 2B	71,51 kVar	25 kVar	3	10000,00	
QG - 1B	32,51 kVar	35 kVar	1	5000,00	
Total					75000,00

Fonte: Autor

Na figura 26 a seguir o circuito demonstra a ligação dos componentes do banco de capacitor desejado, dependendo da quantidade de estágios.

Figura 10: Circuito de ligação dos componentes do banco de capacitor.



Fonte: WEG

Considerando que os gastos em média com excedentes reativos são equivalentes ao valor de R\$ 50000,00 mensalmente e o valor total de custo dos transformadores seria R\$75000. Os valores dos bancos de capacitores foram levantados a partir de pesquisas realizadas na internet. O *payback* desta ação ocorreria em 1,5 meses, como mostrado na tabela 6 abaixo.

Tabela 7: Tempo de retorno

Tempo de Retorno	
Item	Média mensal
Investimento	R\$ 75.000,00
Multa (média mensal)	R\$ 50.000,00
Tempo retorno (meses)	1,5

Fonte: Autor

Com a instalação dos bancos de capacitores para correção do fator de potência, seriam economizados em média mensalmente 125000kWh que são cobrados de reativos excedentes. Anualmente essa economia seria de 1500MWh.

A tabela 7, mostra os resultados econômicos em relação ao projeto de instalação de banco de capacitores.

*Tabela 8: Resultados Econômicos da Instalação de Banco de Capacitores*

VPL do projeto	R\$ 1.747.409,61
Taxa Interna de Retorno (TIR)	800%

*Fonte: Autor*

O alto valor positivo de VPL mostra a alta viabilidade de implementação do projeto de banco de capacitores e também é altamente atrativo considerando o TIR a 800%.

### 3.3 SUBSTITUIÇÃO DAS LÂMPADAS DO SALÃO DE INJEÇÃO PLÁSTICA

O projeto consiste na substituição das luminárias com quatro lâmpadas fluorescentes de 28W cada, para luminárias com duas lâmpadas de 54W cada. A lâmpada de 54W, possui quase o dobro de luminância das lâmpadas de 28W. Na tabela 8 abaixo, é apresentado o comparativo entre os dois modelos de lâmpadas.

*Tabela 9: Comparativo iluminação Salão de Injeção Plástica*

#### **Comparativo Iluminação Salão de Injeção Plástica**

	<b>Antes</b>	<b>Depois</b>
Equipamento	Fluorescente	Fluorescente eco
Vida Útil	20000h	40000h
Quantidade	144	144
Potência por luminária (W)	112	108
Potência Instalada (W)	16128	15552
Consumo/ano (MWh)	141,28	136,23
Economia de energia/ano (MWh)		5,05
Economia/ano (R\$)		2020,00

*Fonte: Autor*

Esta ação possibilitará uma economia de 5,05MWh/ano. Na tabela 9 a seguir, são apresentados os detalhes da especificação dessa proposta.

Tabela 10: Orçamento do Projeto

<b>Orçamento do Projeto</b>			
<b>Item</b>	<b>Preço máximo (R\$)</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Total (R\$)</b>
Lâmpada fluorescente eco	50	288	R\$ 14.400,00
Luminária	80	18	R\$ 1.440,00
Mão de Obra	30	18	R\$ 540,00
Total			R\$ 16.380,00

Fonte: Autor

O custo total desta substituição está orçado em R\$ 16380,00. Com o preço médio do kWh a R\$0,40, será proporcionado uma economia de R\$2020,00 ao ano, e o *payback* simples dessa ação será em 97 meses.

O resultados econômicos são mostrados na tabela 10 abaixo.

Tabela 11: Resultados Econômicos

VPL do projeto	-R\$ 7.109,21
Taxa Interna de Retorno (TIR)	-3%

Fonte: Autor

O VPL do projeto é negativo o que indica a inviabilidade do projeto de substituição das lâmpadas somente no setor de injeção plástica. Devido ao baixo custo de economia anual que seria de R\$2020,00. O ideal é refazer o projeto incluindo todas as lâmpadas presentes na companhia, por lâmpadas LED que são mais eficientes e tem maior vida útil, o que geraria uma economia anual maior.

Para a avaliação econômica foram calculadas em planilhas Excel os valores de VPL do projeto e TIR.

## CONCLUSÕES

Para desenvolver este projeto de pesquisa, foram estudados conceitos de eficiência energética, correção de fator de potência, banco de capacitores, iluminação, tarifação de energia elétrica, entre outros. Assim, estes conceitos ajudaram no enriquecimento do trabalho e no conhecimento adquirido ao longo da realização da pesquisa.

A grande dificuldade deste trabalho, foi devido à dimensão da empresa, que é constituída por seis prédios. Gerando uma grande demanda de tempo para o levantamento das cargas.

A pesquisa analisou o perfil de consumo de energia elétrica da empresa e propôs ações visando a redução do consumo de energia e o aumento da eficiência energética através do levantamento de campo e análises das tarifas de energia. Um dos grandes problemas da companhia está no consumo de reativos excedentes, em média são cobrados R\$50000,00 em multas nas tarifas de energia da empresa.

Por fim, foi proposto para a fábrica um plano de manutenção preventiva para equipamentos como chillers, bombas e compressores de ar visando o melhor uso desses equipamentos para que trabalhem de maneira mais eficiente.

Foram dimensionados banco de capacitores para corrigir o fator de potência da fábrica e assim, diminuir e até mesmo eliminar as cobranças de reativos excedentes nas faturas de energia. Com a instalação dos bancos de capacitores, a economia anual chegaria 1500MWh.

As propostas para melhoria do sistema de iluminação do salão de injeção plástica visando a economia de energia, no momento não demonstraram viabilidade econômica devido ao baixo retorno anual e também ao valores obtidos de VPL e TIR que foram calculados desse projeto.

O ideal seria no futuro realizar um novo projeto de iluminação abrangendo toda a fábrica. Assim como, realizar análise do fator de potência após a instalação dos bancos de capacitores para comprovar os resultados obtidos e o acompanhamento das quebras, após implementação do plano de manutenção preventiva, para comprovar a diminuição de equipamentos danificados.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. NBR ISO/CIE 8995-1. Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior. Rio de Janeiro-RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – Resolução 456 de 29 de novembro de 2000. Estabelece, de forma atualizada e consolidada, as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica.

BRASIL. Plano Nacional de Eficiência Energética - Premissas e Diretrizes Básicas. Brasília-DF: MME - Ministério de Minas e Energia, 2011.

ENERGIA, BRASIL. M. D. M. Plano Nacional de Eficiência Energética. [s.n.], 2011.

Energia no Brasil e no mundo, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA.  
[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par1\\_cap2.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap2.pdf)

Eficiência Energética e Sistemas de Ar Comprimido, Revista Papel, dezembro 2014.  
[http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1420478786\\_a2dd358da7856c67c584954cdd8d2aa2\\_1390723217.pdf](http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1420478786_a2dd358da7856c67c584954cdd8d2aa2_1390723217.pdf)

EPE, ENERGÉTICA E. P. Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica. Rio de Janeiro, 2015.

MARQUES, Milton C. S. et al. Eficiência Energética - Teoria e Prática. 1ª ed. Itajubá, MG: [s.n.], 2007.

MONTEIRO, M.A.G.; ROCHA, C.A. Eficiência energética em sistemas de ar comprimido - Manual Prático. Rio de Janeiro: Eletrobras; Procel, 2005.

Motores Elétricos. WEG. <http://www.weg.net>

OSRAM – Lâmpadas <https://www.osram.com.br/cb/>

PROCEL, Programa N. C. E. E, Manual de Tarifação de Energia Elétrica. [s.n], 2011.

PROCEL, Programa N. C. E. E, Manual de Iluminação. [s.n], 2011

PROCEL, Energia elétrica: conceito, qualidade e tarifação: guia básico / Eletrobrás [et al.]. Brasília : IEL/NC, 2008.

PROGRAMA PROCEL <http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2014/procel-industria.pdf>

REGIS DA ROCHA MOTTA, Engenharia econ mica e finanças – Rio de Janeiro : Elsevier, 2009.

SANTOS, António J. C. – A Iluminação nos Edifícios: Uma Abordagem no Contexto da Sustentabilidade e Eficiência Energética, in proceedings of 1º Congresso da Luz. Inovação e Evolução. Lisboa, 18 Maio 2007.

SULLIVAN, William G, Ingeniería Económica Degarmo, Pearson Educación, México, 2004

TONIM, G. A gestão de energia elétrica na indústria – Seu suprimento e uso eficiente. 2009. Dissertação. Sistemas de Potência, Departamento de Engenharia de Energia e Automação elétricas, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.