

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÉTRICA

CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ANDREI BORDIGNON

**ESTUDO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
EVIDENCIANDO PROPOSTA DE MODULAÇÃO DE POTÊNCIA
DE FORNO ELÉTRICO EM UMA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2014

ANDREI BORDIGNON

**ESTUDO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
EVIDENCIANDO PROPOSTA DE MODULAÇÃO DE POTÊNCIA
DE FORNO ELÉTRICO EM UMA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Elétrica – DEPEL – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. M.Sc. César Augusto Portolann

Coorientadora: Jaqueline Sokolowski

PATO BRANCO

2014

TERMO DE APROVAÇÃO

O trabalho de diplomação intitulado **Estudo de Conservação de Energia Elétrica Evidenciando Proposta de Modulação de Potência de Forno Elétrico em uma Indústria Alimentícia** foi considerado **APROVADO** de acordo com a ata da banca examinadora N° 49 de 2014.

Fizeram parte da banca os professores:

César Augusto Portolann

Beatriz Fontana de Vargas

Hervê Stangler Irion

DEDICATÓRIA

Ao meu pai, Airton, minha mãe, Realda, e meu irmão, Caciano.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha família, que foram as pessoas a quem sempre dediquei os meus esforços, que sempre me apoiaram nas decisões certas e me travaram as erradas, que foram a base do meu caráter e mostraram-me o rumo da verdade e do bem.

Agradeço aos amigos que fiz nestes anos, os que passaram brevemente e os que ficarão, os que caminharam ao meu lado e os que acenaram na passagem, cada um mostrando o que possuíam em si e me ensinando um pouco do viver.

Agradeço sinceramente aos professores que demonstraram esforço e dedicação, e que por vezes, além do conhecimento, ensinaram lições e me prepararam para o futuro na profissão que eu escolhi.

Agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Pato Branco, por proporcionar as condições fundamentais e tão importantes a este curso de graduação e por ter sido nestes cinco anos a minha segunda casa.

Agradeço a empresa Biscoitos Karina e sua representante Jaqueline Sokolowski por possibilitar este trabalho e pela prontidão no auxílio quando foi necessário.

Por fim, agradeço ao meu professor orientador César Augusto Portolann, quem idealizou e promoveu este trabalho, além de ser um exemplo de vida e de profissional, com a serenidade que só a sabedoria proporciona.

EPÍGRAFE

“Porque cada um, independente das habilitações que tenha, ao menos uma vez na vida fez ou disse coisas muito acima da sua natureza e condição, e se a essas pessoas pudéssemos retirar do quotidiano pardo em que vão perdendo os contornos, ou elas a si próprias se retirassem de malhas e prisões, quantas mais maravilhas seriam capazes de obrar, que pedaços de conhecimento profundo poderiam comunicar, porque cada um de nós sabe infinitamente mais do que julga e cada um dos outros infinitamente mais do que neles aceitamos reconhecer.”

José Saramago

RESUMO

BORDIGNON, Andrei. Estudo de Conservação de Energia Elétrica Evidenciando Proposta de Modulação de Potência de Forno Elétrico em uma Indústria Alimentícia. 2014. 97 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

Este trabalho apresenta um estudo de conservação de energia elétrica realizado em uma indústria alimentícia, com foco no aumento da eficiência energética da instalação e conseqüente redução de custos. No texto são abordados os problemas identificados e são propostas ações a serem executadas pelos responsáveis, como correção do fator de potência, readequação do contrato de demanda e substituição de equipamentos ineficientes, entre outras. Além disso, é posta em discussão a instalação de um forno elétrico com modulação de potência para suprir uma futura expansão da produção, sendo realizado todo o dimensionamento do mesmo e dos componentes elétricos associados. Ainda é exposto um protótipo em pequena escala de um sistema de comando que se comprovou capaz de aplicar a modulação de potência em cargas resistivas.

Palavras-chave: Conservação de Energia Elétrica. Consumo de Energia Elétrica. Demanda de Potência. Curva de Carga. Fator de Carga. Modulação de Potência. Forno Elétrico.

ABSTRACT

BORDIGNON, Andrei. Electric Energy Conservation Study Evidencing Proposal for Electric Oven Power Modulation in a Food Industry. 2014. 97 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

This work presents an electric energy conservation study taken in a food industry, focusing on increasing the energy efficiency of the installation and consequently cost reduction. In the text, the problems identified are approached and actions are proposed to be taken by the responsible people, like power factor correction, power demand contract readjustment and inefficient equipment replacement, among others. Also, it is called into question the installation of an electric oven with power modulation to supply a future production expansion, with dimensioning adjustment of the oven and all the associated electrical components. It is still exposed on a small scale prototype of a command system which has proven to be able to apply the power modulation in resistive loads.

Keywords: Electric Energy Conservation. Electric Energy Consumption. Power Demand. Load Curve. Load Factor. Power Modulation. Electric Oven.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de Tarifação de Energia Elétrica.	21
Figura 2 - Preço Médio da Energia e Fator de Carga para um Consumidor do Subgrupo A4.	23
Figura 3 - Diagrama do Fator de Potência.	27
Figura 4 - Variação do Fator de Potência em Função do Carregamento do Motor. ...	28
Figura 5 - Pontos de Instalação de Capacitores.....	29
Figura 6 - Diagrama Unifilar da Entrada de Serviço.	44
Figura 7 - Componentes da Entrada de Serviço.	45
Figura 8 - Diagrama Geral da Instalação Após a Medição.....	45
Figura 9 - Diagrama Unifilar do Quadro Expedição 1.	46
Figura 10 - Diagrama Unifilar do Quadro Expedição 2.....	47
Figura 11 - Diagrama Unifilar do Quadro Produção.	48
Figura 12 - Forno Tipo Túnel.....	51
Figura 13 - Curva de Carga dos Meses de Julho, Agosto e Setembro de 2013.....	58
Figura 14 - Curva de Carga da Semana dos Dias 15 a 21 de Setembro de 2013. ...	59
Figura 15 - Curva de Carga do dia 16 de Setembro de 2013.....	59
Figura 16 - Curva de Carga do Dia 19 de Setembro de 2013.	60
Figura 17 - Gráfico do Fator de Potência para a Semana de 15 a 21 de Setembro de 2013.	61
Figura 18 - Gráfico do Fator de Potência para o dia 16 de Setembro de 2013.	61
Figura 19 - Gráfico do Fator de Potência para o Dia 19 de Setembro de 2013.	62
Figura 20 - Demanda Ativa e Reativa do Dia 16 de Setembro de 2013.....	63
Figura 21 - Demanda Ativa e Reativa do Dia 19 de Setembro de 2013.....	63
Figura 22 - Tela do Analisador de Energia no Momento do Fim das Medições.	64
Figura 23 - Potência Ativa Medida Durante a Semana dos Dias 04 à 10 de Dezembro de 2013.....	65
Figura 24 - Potência Reativa Medida Durante a Semana dos Dias 04 à 10 de Dezembro de 2013.....	65
Figura 25 - Fator de Potência Medido Durante a Semana dos Dias 04 à 10 de Dezembro de 2013.....	66

Figura 26 - Tensão e Corrente nas Fases do Barramento Geral do Quadro de Cargas da Produção.	67
Figura 27 - Perfil da Tensão na Fase AB.	68
Figura 28 - Perfil da Tensão na Fase BC.	68
Figura 29 - Perfil da Tensão na Fase CA.	68
Figura 30 - Curva de Carga Atual.....	76
Figura 31 - Curva de Carga Prevista.	77
Figura 32 - Topologias de Ligações para Modulação de Forno Elétrico.	83
Figura 33 - Diagramas de Força e Comando do Forno Elétrico.	85
Figura 34 - Diagramas de Força e Comando das Masseiras.	85
Figura 35 - Protótipo para Modulação de Potência em Cargas Resistivas.	91
Figura 36 - Protótipo Simulando o Forno em Funcionamento Pleno.....	92
Figura 37 - Protótipo Simulando o Forno com Potência Modulada.	92
Figura 38 - Protótipo Simulando o Forno com Potência Modulada e as Masseiras Acionadas.....	93
Figura 39 - Protótipo Simulando o Forno Desligado e as Masseiras Acionadas.	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos Consumidores de Acordo com a Tensão de Fornecimento.	21
Tabela 2 - Correção do Fator de Potência de Motores de Indução em Função da sua Potência Nominal.	30
Tabela 3 - Características Operacionais das Lâmpadas.	33
Tabela 4 - Características dos Reatores RTL Philips.	35
Tabela 5 - Coeficiente de Reflexão de Cores.	36
Tabela 6 - Fator de Perdas Luminosas.	36
Tabela 7 - Iluminância de Recintos.	37
Tabela 8 - Carga Específica Superficial - W/cm ²	39
Tabela 9 - Características das Ligas Cromel e Copel.	39
Tabela 10 - Propriedades dos Materiais.	40
Tabela 11 - Relação dos Inversores de Frequência instalados no Quadro Produção.	48
Tabela 12 - Relação da Carga Correspondente à Iluminação.	49
Tabela 13 - Relação de Cargas Secundárias.	49
Tabela 14 - Relação de Equipamentos da Linha de Produção.	50
Tabela 15 - Carga Instalada Total.	50
Tabela 16 - Histórico de Consumo e Demanda.	55
Tabela 17 - Histórico de Demanda Sub e Sobre Contratada.	56
Tabela 18 - Histórico de Faturamento (Parte 1).	56
Tabela 19 - Histórico de Faturamento (Parte 2).	57
Tabela 20 - Valores da Simulação das Faturas para o Ano de 2013.	79
Tabela 21 - Lógica de implementação do Sistema de Comando.	84

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo de Aplicação das Modalidades Tarifárias.....	22
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVO GERAL	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 ESTUDO DAS TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA	19
2.1.1 Definições e Conceitos.....	19
2.1.2 Classificação dos Consumidores e Modalidades Tarifárias	20
2.1.3 Fator de Carga	22
2.1.3 Influência do Fator de Carga.....	23
2.2 ACOMPANHAMENTO E ANÁLISE DE CONSUMO	25
2.3 FATOR DE POTÊNCIA.....	26
2.3.1 Correção do Fator de Potência	28
2.3.1.1 Correção do Fator de Potência de Motores de Indução.....	30
2.4 ILUMINAÇÃO	31
2.4.1 Conceitos Básicos.....	31
2.4.2 Lâmpadas Elétricas	32
2.4.3 Reatores.....	34
2.4.3.1 Reatores Eletromagnéticos	34
2.4.3.2 Reatores Eletrônicos	34
2.4.3.3 Perdas nos Reatores.....	34
2.4.4 Cálculo Luminotécnico	35
2.4.5 Medidas Para Conservação de Energia Elétrica na Iluminação.....	37
2.5 DIMENSIONAMENTO DE FORNOS ELÉTRICOS A RESISTÊNCIA	38
2.5.1 Fornos a Resistência.....	38
2.5.2 Dimensionamento de Fornos a Resistência de Aquecimento Indireto	40

3 SITUAÇÃO ORIGINAL DA INDÚSTRIA.....	43
3.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA E DA PLANTA	43
3.2 INSTALAÇÃO ELÉTRICA	44
3.2.1 Entrada de Energia	44
3.2.2 Quadros de Cargas da Expedição	46
3.2.3 Quadro de Cargas da Produção.....	47
3.2.4 Carga Instalada	49
3.3 FORNOS	50
3.4 SISTEMA DE PRODUÇÃO	51
3.4.1 Elaboração da Massa Básica	52
3.4.2 Moldagem dos Biscoitos e Bolachas	53
3.4.3 Cozimento dos Biscoitos nos Fornos	53
3.4.5 Resfriamento	53
3.4.6 Cobertura com Calda	54
3.4.7 Empacotamento	54
3.5 CONSUMO ELETROENERGÉTICO.....	54
3.5.1 Dados da COPEL.....	55
3.5.1.1 Histórico de Consumo e Demanda.....	55
3.5.1.2 Curvas de Carga da Instalação.....	57
3.5.1.3 Gráficos do Fator de Potência.....	60
3.5.1.4 Gráfico de Demanda Ativa e Reativa	62
3.5.2 Dados de Medição	64
3.5.2.1 Potência Ativa, Reativa e Fator de Potência	64
3.5.2.2 Tensão e Corrente nas Fases	66
4 PLANO DE AÇÕES PARA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	69
4.1 REDISTRIBUIÇÃO DE CARGAS.....	69
4.1.1 Cargas Secundárias	69

4.1.2 Cargas Principais	70
4.2 CARGAS SUPERDIMENSIONADAS	70
4.3 CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA	71
4.4 AUMENTO DA EFICIÊNCIA DA ILUMINAÇÃO	72
4.4.1 Novo Cálculo Luminotécnico e Substituição de Luminárias	72
4.4.1.1 Cálculo Luminotécnico do Barracão da Produção.....	72
4.4.1.1 Cálculo Luminotécnico do Barracão da Expedição	74
4.4.2 Substituição de Reatores Eletromagnéticos.....	75
4.4 ANÁLISE TARIFÁRIA E READEQUAÇÃO DO CONTRATO DE DEMANDA	76
4.4.1 Curva de Carga Atual e Curva de Carga Prevista	76
4.4.2 Modalidade Tarifária e Contrato de Demanda.....	78
5 PROPOSTA DE INSTALAÇÃO DE UM FORNO ELÉTRICO COM MODULAÇÃO DE POTÊNCIA	80
5.1 CÁLCULO DA POTÊNCIA EQUIVALENTE DE UM FORNO ELÉTRICO	80
5.2 MODULAÇÃO DE POTÊNCIA DE FORNO ELÉTRICO	82
5.2.1 Determinação da Técnica Ótima de Modulação de Potência.....	83
5.2.2 Sistema de Comando e Diagramas.....	84
5.3 DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES	86
5.3.1 Circuito Alimentador	86
5.3.2 Disjuntores	87
5.3.3 Contatores.....	87
5.3.4 Diodos de Potência	87
5.4 PROJEÇÃO DA CURVA DE CARGA E DO FATOR DE CARGA.....	88
6 PROTÓTIPO PARA MODULAÇÃO DE POTÊNCIA EM CARGAS RESISTIVAS..	90
6.1 MONTAGEM DO PROTÓTIPO	90
6.2 FUNCIONAMENTO E RESULTADOS OBTIDOS	91
7 CONCLUSÕES	94
REFERÊNCIAS.....	96

1 INTRODUÇÃO

Um dos mais importantes recursos para o desenvolvimento humano é a energia, sendo a energia elétrica uma das formas mais utilizadas. Deste modo é de fundamental importância integrá-la no contexto do desenvolvimento sustentável, visando a maior eficiência desde a geração até o uso final (REIS, 2011). Neste ponto, o consumo de energia elétrica (EE) no Brasil, nos próximos 10 anos, tem previsão de crescimento médio de 4,2% ao ano (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2012, p. 38), o que requer investimentos de grande porte em novas unidades de geração para garantir o suprimento e a operação adequada do sistema interligado nacional, principalmente nos períodos de maior demanda. De acordo com Alvarez (1998, p. 1), em comparação com os investimentos em geração e rede, “as alternativas que visam o uso racional e eficiente de energia elétrica apresentam, geralmente, custo e tempo de retorno de investimento pequenos”. Fica claro, portanto, que qualquer alternativa cujo resultado seja a redução de consumo e demanda deve ser estudada e colocada em prática, caso sua viabilidade técnico-econômica seja provada.

Os investimentos em conservação de energia elétrica na indústria trazem vantagens, como melhor aproveitamento da instalação e dos equipamentos elétricos, com reflexos na qualidade do produto, redução do consumo energético e consequente aumento da produção e, por fim, redução das despesas com eletricidade (COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, 2005).

A curva de carga diária de cada região apresenta uma crista no chamado horário de ponta, que é o “período composto por 3 (três) horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora considerando a curva de carga de seu sistema elétrico” (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2010), sendo este o horário crítico de fornecimento, visto que está localizado o maior consumo de EE, e para o qual o sistema deve estar dimensionado para suportar. Assim como as concessionárias e seu sistema elétrico, toda instalação elétrica industrial possui uma curva de carga típica diária, para um dia normal de funcionamento, que indica o perfil de consumo no período de 24 horas. A partir da curva de carga é possível determinar o fator de carga (FC) da instalação. O FC é um coeficiente que varia de 0 a 1 e indica como a unidade consumidora utiliza a energia elétrica que lhe é disponibilizada, pois mostra

a relação entre consumo de energia elétrica e demanda de potência, em determinado espaço de tempo (PANESI, 2006, p. 45).

Para as indústrias, consumir energia elétrica de forma eficiente, através do aumento do fator de carga, reduz a necessidade de investimentos em contratação de energia nova e expansão da instalação elétrica, tendo em vista o crescimento da demanda, o que permite a liberação de recursos para outros fins (PROCEL INDÚSTRIA; ELETROBRÁS; CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2009, p. 3). Além disso, para consumidores industriais, atendidos em alta tensão, “quanto maior for o fator de carga menor será o preço médio de energia elétrica” (COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, 2005, p. 136), isso porque é parte da fatura de EE uma parcela referente à demanda de potência, definida em contrato e baseada na demanda máxima da instalação.

Para conseguir um FC elevado e reduzir custos com energia elétrica, é usual distribuir da maneira mais homogênea possível ao longo do tempo as cargas da instalação, tendo em vista as possibilidades que o processo de produção oferece, o que evita picos elevados de demanda ao longo do dia. Porém, muitas indústrias não dão a devida atenção a este assunto, principalmente aquelas de pequeno a médio porte, onde faltam profissionais especializados e com conhecimento no assunto.

Os fornos elétricos são equipamentos de aquecimento que consomem quantidades expressivas de energia elétrica nas instalações industriais (COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, 2005), de onde vem o grande potencial de redução de demanda de pico. O aumento do fator de carga através da restrição de forno elétrico consiste em modular a potência entregue ao mesmo em horários seletivos, coincidentes com os picos da curva de carga da instalação. Para modulação da potência, é possível o uso de esquemas de ligação que reduzam automaticamente a tensão aplicada a cada banco de resistências, em horários seletivos. Um exemplo é a ligação Δ -Y, que reduz a potência drenada para um terço da nominal e pode ser construída com o uso de contadores e um circuito de comando para atuar nos períodos desejados (PORTOLANN; BORDIGNON, 2013).

Este trabalho visa realizar um estudo eletroenergético nas instalações da Karina Indústria de Alimentos Ltda, de modo a propor soluções para problemas de desperdício de energia e de baixo fator de carga, além de fazer uma proposta de utilização de um forno elétrico com modulação de potência, no intuito de minimizar

os custos com energia elétrica e viabilizar tecnicamente uma ampliação da produção prevista pela empresa.

1.1 OBJETIVO GERAL

Elaborar um estudo de conservação de energia elétrica na Karina Indústria de Alimentos Ltda, buscando a redução do consumo e o aumento do fator de carga, e propor a utilização de um forno elétrico com modulação de potência temporária em horários seletivos como alternativa para ampliação da produção.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar um estudo completo da instalação elétrica da indústria e identificar os potenciais de conservação de energia elétrica, propondo a solução ótima.

Elaborar um plano de aumento do fator de carga pela redistribuição das cargas não-críticas (passíveis de alteração no horário de funcionamento) ao longo do período de trabalho.

Propor e realizar um estudo técnico de modulação de potência de um forno elétrico a ser instalado futuramente para ampliação da produção, capaz de restringir a demanda nos horários de baixa carga no forno e maior consumo da instalação.

Determinar a técnica ótima de modulação de forno elétrico para aplicação na indústria com base no estudo realizado e projetar a sua instalação, dimensionando os componentes e construindo os diagramas de força e comando.

Montar em pequena escala um protótipo para modulação de potência de cargas, simulando a ação no forno elétrico, com os circuitos de força e comando projetados e comprovar o seu funcionamento.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em capítulos que diferem sobre o tema abordado, mas que vão em consonância com os objetivos deste trabalho, buscando abranger todo o conteúdo necessário sem deixar de ser específico e bem detalhado.

O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica do assunto, buscando abranger todos os campos de conhecimento necessários para a elaboração deste trabalho e servindo como base teórica ao leitor que deseja compreender melhor a natureza das informações que serão discutidas no decorrer do texto.

No capítulo 3 é feita a caracterização das instalações da Karina Indústria de Alimentos Ltda, inicialmente com a descrição da planta, ou seja, o ambiente físico da indústria. Em seguida é abordada a instalação elétrica existente, também são descritos os fornos instalados, bem como o sistema produtivo e por fim é retratado o panorama de consumo e demanda de energia elétrica.

Já no capítulo 4 são propostas medidas a serem adotadas pelos responsáveis da empresa buscando diminuir os desperdícios de energia elétrica e também reduzir custos com este insumo.

No capítulo 5 discute-se uma proposta para instalação de um forno elétrico com modulação de potência na indústria em questão, tendo em vista que a empresa pretende ampliar a sua produção e um novo forno se faz necessário, de onde a energia elétrica como fonte de calor é uma alternativa.

O capítulo 6 tem o objetivo de validar os diagramas propostos para a modulação de potência de forno elétrico, os mesmos foram montados em bancada e testados, como um protótipo, o qual será apresentado neste capítulo.

Por fim, no capítulo 7 são apresentadas as conclusões obtidas no decorrer e ao final do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentada a revisão bibliográfica do assunto, buscando abranger todos os campos de conhecimento necessários para a elaboração deste trabalho e servindo como base teórica ao leitor que deseja compreender melhor a natureza das informações que serão discutidas no decorrer do texto.

2.1 ESTUDO DAS TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA

“A análise energética de qualquer instalação sempre começa com o estudo de tarifas de energia elétrica, porque essa é a forma de energia mais consumida atualmente pela maioria dos processos produtivos.” (PANESI, 2006, p. 41).

2.1.1 Definições e Conceitos

Panesi (2006) apresenta alguns conceitos que considera importantes:

Energia ativa: É a energia que realmente produz trabalho. Sua unidade é o quilowatt-hora (kWh).

Energia reativa: É a energia que não produz trabalho, está relacionada com os fluxos magnéticos dos equipamentos. Sua unidade é o kilovar-hora¹ (kvarh).

Energia aparente: É aquela que a concessionária realmente fornece para o consumidor em (kVAh).

Potência: É a quantidade de energia consumida na unidade de tempo. Sua unidade é o quilowatt (kW).

Demanda: É a potência média, medida em intervalos de quinze minutos.

Demanda contratada: Demanda acertada via contrato pelo consumidor e a concessionária.

¹ Onde Panesi (2006) diz kilovar-hora, entende-se quilovolt-ampère-reativo-hora.

Carga instalada: São todos os aparelhos instalados pela unidade consumidora que podem a qualquer momento utilizar energia elétrica da concessionária.

Fator de carga: Relação entre a demanda média e a demanda máxima num determinado período de tempo.

Fator de potência (FP): Relação entre energia ativa e energia reativa.

Tarifa de demanda: Valor da moeda corrente do kW de demanda em determinado segmento horo-sazonal².

Tarifa de consumo: Valor da moeda corrente, do kWh de energia utilizada em determinado segmento horo-sazonal.

Tarifa de ultrapassagem: Tarifa a ser aplicada ao valor da demanda registrada que superar o valor da demanda contratada, respeitada a tolerância.

Horário de ponta (HP): Período definido pela concessionária, composto por três horas consecutivas, compreendidas entre 17h e 22h, exceção feita a sábados, domingos e feriados. Nesse período o valor da tarifa é maior.

Horário fora de ponta (HFP): São as horas restantes do dia fora do horário de ponta. Nesse período o valor da tarifa é menor.

2.1.2 Classificação dos Consumidores e Modalidades Tarifárias

De acordo com a ANEEL (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2010), os consumidores são divididos em dois grupos, A e B, onde o grupo A é “unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, caracterizado pela tarifa binômia” e o grupo B “composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, caracterizado pela tarifa monômia”. Estes grupos são divididos em subgrupos, que podem ser visualizados na Tabela 1.

Por regulamentação, existem algumas modalidades tarifárias que podem ser aplicáveis aos consumidores, considerando as componentes de consumo de

² Onde Panesi (2006) diz segmento horo-sazonal, lê-se modalidade tarifária horária, pois a sazonalidade deixou de ser praticada depois da publicação da Resolução Normativa Nº 479 da ANEEL (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012).

energia elétrica e demanda de potência ativa (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012). Ao total são cinco modalidades, que podem ser visualizadas na Figura 1.

Tabela 1 - Classificação dos Consumidores de acordo com a Tensão de Fornecimento.

Grupo	Subgrupo	Tensão de Fornecimento	Classe
A	A1	≥ 230 kV	-
	A2	88 kV a 138 kV	-
	A3	69 kV	-
	A3a	30 kV a 44 kV	-
	A4	2,3 kV a 25 kV	-
	AS	$\leq 2,3$ kV	-
B	B1	$\leq 2,3$ kV	Residencial
	B2	$\leq 2,3$ kV	Rural
	B3	$\leq 2,3$ kV	Demais Classes
	B4	$\leq 2,3$ kV	Iluminação Pública

Fonte: Autoria Própria.

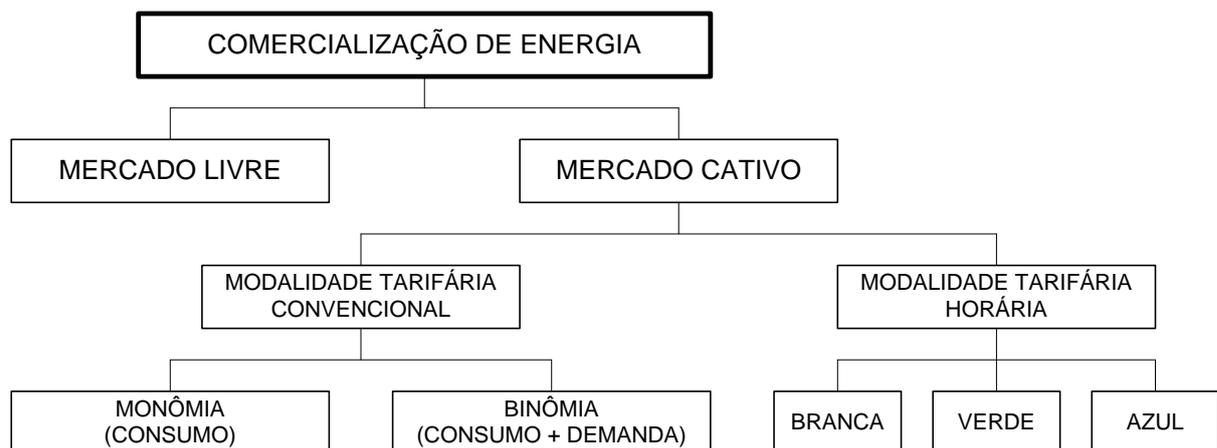


Figura 1 - Sistema de Tarifação de Energia Elétrica.

Fonte: Adaptado de (PANESI, 2006).

A modalidade tarifária convencional monômnia é aplicada aos consumidores do grupo B e é caracterizada por tarifas de consumo de energia elétrica, independentemente dos horários de consumo. A modalidade tarifária convencional binômnia é aplicada ao grupo A, com tarifas de consumo de energia elétrica e demanda de potência, independentemente das horas de utilização do dia. A modalidade tarifária horária branca é aplicada às unidades de consumo do grupo B, exceto o subgrupo B4 e as subclasses Baixa Renda do subgrupo B1, e emprega tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com os horários de utilização. Já a modalidade tarifária horária verde é aplicada aos consumidores do grupo A, com tarifas de consumo de energia elétrica correspondentes aos horários de uso e tarifa única de demanda de potência. E a modalidade tarifária horária azul

aplica-se às unidades do grupo A, com tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2012). Um resumo disso pode ser visto na.

Quadro 1 - Resumo de Aplicação das Modalidades Tarifárias.

Modalidade Tarifária	Grupo e Subgrupos de Aplicação
Convencional Monômia	B
Convencional Binômia	A
Horária Branca	B1, B2, B3
Horária Verde	A
Horária Azul	A

Fonte: Aatoria Própria.

2.1.3 Fator de Carga

Como mencionado anteriormente, segundo Panesi (2006), o Fator de Carga (FC) é um coeficiente que varia de 0 a 1 e indica como a unidade consumidora utiliza a energia elétrica que lhe é disponibilizada, pois mostra a relação entre consumo de energia elétrica e demanda de potência, em determinado espaço de tempo. Um fator de carga muito baixo indica que, por ligar vários aparelhos ao mesmo tempo durante um curto período, houve uma concentração de consumo de energia elétrica.

Para calcular o fator de carga mensal, são utilizados os dados de consumo total e demanda máxima, e 730, que é o número de horas médio de um mês, estipulado por convenção, e equacionado como a seguir:

$$FC_m = \frac{\text{Consumo Total (kWh)}}{730(h) \times \text{Demanda Máxima (kW)}}$$

onde FC_m é o fator de carga mensal.

Se for considerado que o consumo total mensal dividido por 730 é a demanda média neste espaço de tempo, podemos substituir na equação anterior e estender o conceito de fator de carga para qualquer intervalo de tempo, como abaixo.

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

Quando o consumidor estiver enquadrado nas tarifas horárias, é possível calcular um fator de carga para o horário de ponta e outro para o fora de ponta, segundo Panesi (2006):

$$FC (\text{ponta}) = \frac{\text{Consumo Ponta (kWh)}}{66(h) \times \text{Demanda Ponta (kW)}}$$

$$FC (\text{fora de ponta}) = \frac{\text{Consumo Fora de Ponta (kWh)}}{664(h) \times \text{Demanda Fora de Ponta (kW)}}$$

2.1.3 Influência do Fator de Carga

Para consumidores do grupo A, que possuem tarifa binômica, “quanto maior for o fator de carga menor será o preço médio de energia elétrica” (COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, 2005, p. 136). Este comportamento pode ser melhor visualizado na Figura 2, que relaciona o preço médio pago por kWh de energia elétrica para um consumidor do subgrupo A4.

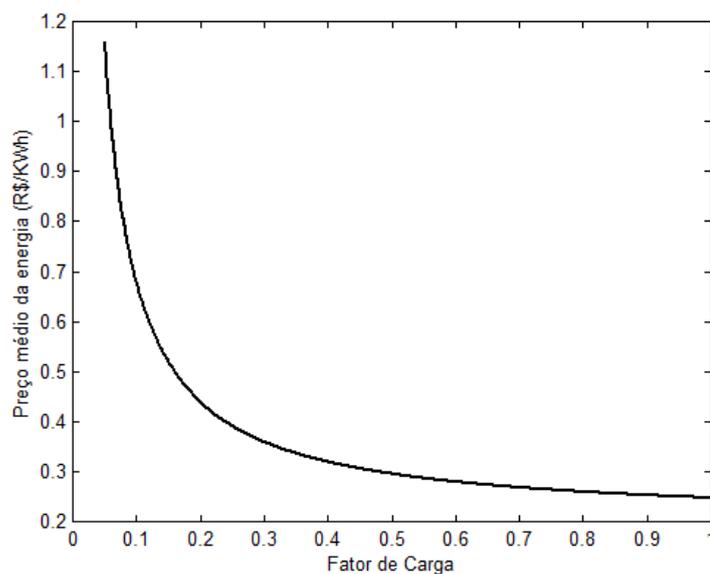


Figura 2 - Preço Médio da Energia e Fator de Carga para um Consumidor do Subgrupo A4.
 Fonte: PORTOLANN e BORDIGNON (2013).

Como citado, o que causa baixo fator de carga é a concentração de cargas em alguns períodos, de onde podem ser relacionados alguns fatores que conduzem a isso (COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, 2005):

- Equipamentos de grande potência, operando a plena carga somente algumas horas do período de utilização, funcionando com carga reduzida ou sendo desligados nos demais períodos;
- Cargas de grande porte ligadas simultaneamente;
- Curtos-circuitos e fugas de corrente;
- Falta de programação para utilização de energia.

A melhoria do fator de carga, além de diminuir as despesas com energia consumida, conduz a um melhor aproveitamento e um aumento da vida útil de toda a instalação elétrica, inclusive de motores e equipamentos, e a uma otimização dos investimentos nas instalações. (COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, 2005, p. 136).

O aumento do fator de carga pode acontecer com medidas que, na maioria das vezes, não requerem investimentos, sendo algumas relacionadas a seguir (COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, 2005):

- Selecione e re programe os equipamentos e sistemas que possam operar fora do horário de maior demanda da instalação, fazendo um cronograma de utilização de seus equipamentos elétricos, anotando a capacidade e o regime de trabalho de cada um, através de seus horários de funcionamento.
- Evite partidas simultâneas de motores que iniciem operação com carga;
- Diminua, sempre que possível, a operação simultânea dos equipamentos;
- Verifique se a manutenção e a proteção da instalação elétrica e dos equipamentos são adequadas, de modo a se evitar a ocorrência de curtos-circuitos e fugas de corrente.

2.2 ACOMPANHAMENTO E ANÁLISE DE CONSUMO

“As contas de energia elétrica expedidas pela concessionária fornecem informações importantes sobre o uso de energia elétrica da instalação sob análise, consistindo de uma fonte de dados relativamente confiável e de fácil acesso.” (ALVAREZ, 1998).

Segundo Panesi (2006), a fatura de energia elétrica deve ser um dos primeiros aspectos a serem analisados para o uso racional de energia elétrica em uma instalação industrial, onde alguns pontos devem ser verificados, como o pagamento de multas por excesso de reativos, ultrapassagem de demanda ou demandas registradas muito abaixo do valor acertado em contrato.

O acompanhamento do consumo de eletricidade visa conhecer em detalhes as despesas com esse insumo, identificar sua evolução ao longo do tempo e também ações que possam minimizar os custos com esse item. Também é importante que as faturas sejam analisadas pelas áreas técnicas da empresa, como a manutenção e a produção, e não somente pelas áreas administrativas. Para que a análise resulte em significativas reduções de despesas, é necessário haver um bom conhecimento sobre a legislação que regulamenta o fornecimento de energia elétrica, que estabelece modalidades tarifárias, parâmetros de contrato, grandezas que são medidas e utilizadas no faturamento e o relacionamento concessionária-consumidor (COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, 2005).

De forma a garantir um bom gerenciamento ao longo do tempo do consumo de eletricidade, COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (2005, p. 9) diz que “é importante o estabelecimento de índices que indiquem a quantidade de energia necessária para cada produto manufaturado pela empresa”, como kWh por quilograma ou unidade de produto produzida, de onde é possível calcular o gasto energético unitário equivalente e também a parcela do custo de produção unitário referente à energia elétrica.

2.3 FATOR DE POTÊNCIA

Determinados equipamentos, tais como motores elétricos, fornos a arco, transformadores, etc., necessitam para sua operação, de uma quantidade de potência reativa, que pode ser suprida por diversas fontes ligadas ao sistema elétrico, funcionando individualmente ou simultaneamente. Estas fontes são: geradores; motores síncronos; capacitores. (FILHO, 2001, p. 148).

Buscando evitar que grandes quantidades de energia reativa seja transportada por grandes distâncias através das linhas de transmissão até a carga consumidora, é necessário que sejam instaladas nas proximidades dos terminais de carga as referidas fontes de energia reativa, o que leva a menores perdas na transmissão referentes a esse bloco de energia (FILHO, 2001).

Também de acordo com Filho (2001), há duas diferentes parcelas de energia reativa, a indutiva e a capacitiva. A energia reativa indutiva é gerada por aparelhos normalmente dotados de bobinas, como motores de indução, reatores e transformadores, de onde provém o fator de potência indutivo. Já a energia reativa capacitiva pode ser gerada por capacitores ou motores síncronos superexcitados, onde o fator de potência é dito capacitivo. Em uma planta industrial, os equipamentos são na maioria geradores parciais de energia reativa indutiva, responsável pela formação do campo magnético dos mesmos, sendo que para evitar o transporte desta energia pelo sistema e reduzir perdas Joule, pode ser feita a compensação de reativos localmente, pela operação de um motor síncrono superexcitado, ou, mais viável economicamente, com a instalação de capacitores de potência.

O FP pode ser definido como a relação entre a componente ativa e o valor total da potência, chamado de potência aparente, como na equação abaixo:

$$FP = \frac{P_{ativa}}{P_{aparente}} = \frac{P}{S}$$

O fator de potência também pode ser definido como o cosseno do ângulo formado entre a potência ativa e a aparente ($\cos \varphi$):

$$FP = \cos \varphi$$

Estas relações podem ser mais bem compreendidas pela análise da Figura 3, que relaciona graficamente a Potência Ativa (P), a Potência Reativa (Q) e a Potência Aparente (S).

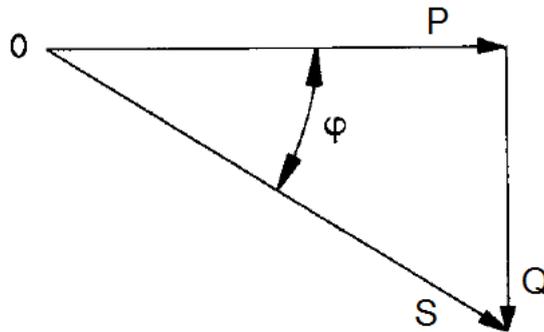


Figura 3 - Diagrama do Fator de Potência.
 Fonte: Adaptado de FILHO (2001).

Também da Figura 3, através dos lados do triângulo retângulo, é possível escrever a equação a seguir, que relaciona as três potências:

$$P_{aparente} = \sqrt{P_{ativa}^2 + P_{reativa}^2} \quad \text{ou} \quad S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

As principais causas para o baixo fator de potência são (COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, 2005):

- Motores operando em vazio;
- Motores superdimensionados;
- Transformadores operando em vazio ou com pequenas cargas;
- Transformadores superdimensionados;
- Nível de tensão acima da nominal;
- Lâmpadas de descarga;
- Grande quantidade de motores de pequena potência.

A Figura 4 ilustra o comportamento do fator de potência em função do carregamento de um motor.

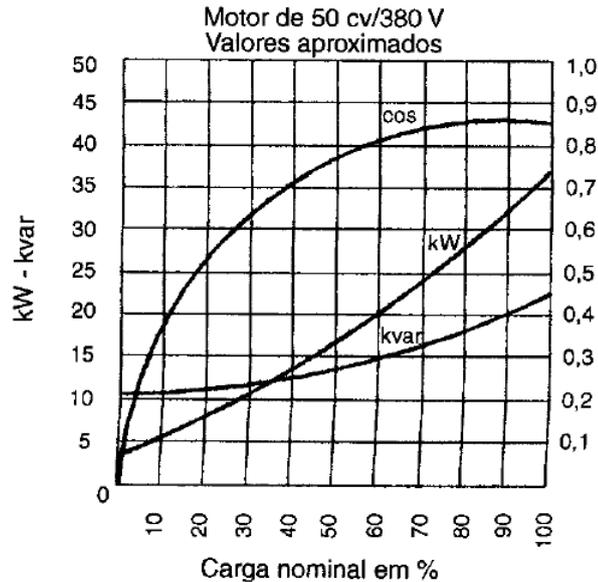


Figura 4 - Variação do Fator de Potência em Função do Carregamento do Motor.
Fonte: FILHO (2001).

2.3.1 Correção do Fator de Potência

A correção do fator de potência deverá ser cuidadosamente analisada e não resolvida de forma simplista, já que isto pode levar a uma solução técnica e economicamente não satisfatória. É preciso critério e experiência para efetuar uma adequada correção, lembrando que cada caso deve ser estudado especificamente e que soluções imediatas podem não ser as mais convenientes. De modo geral, quando se pretende corrigir o fator de potência de uma instalação surge o problema preliminar de se determinar qual o melhor método a ser adotado. Independentemente do método a ser adotado, o fator de potência ideal, tanto para consumidores como para a concessionária, seria o valor unitário (1,0), que significa inexistência da energia reativa no circuito. Entretanto, esta condição nem sempre é conveniente e, geralmente, não se justifica economicamente. A correção efetuada até o valor de 0,95 é considerada suficiente. (COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, 2005).

Uma das formas de correção do fator de potência mais utilizadas é a correção por capacitores estáticos, devido à praticidade de aplicação. Porém a instalação dos capacitores pode ser feita em pontos distintos: a) junto as grandes cargas indutivas (motores, transformadores, etc.); b) no barramento geral de Baixa-Tensão (BT); c) na extremidade dos circuitos alimentadores; d) na entrada de energia em Alta-Tensão (AT). (COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, 2005).

A Figura 5 ilustra os pontos de instalação dos capacitores.

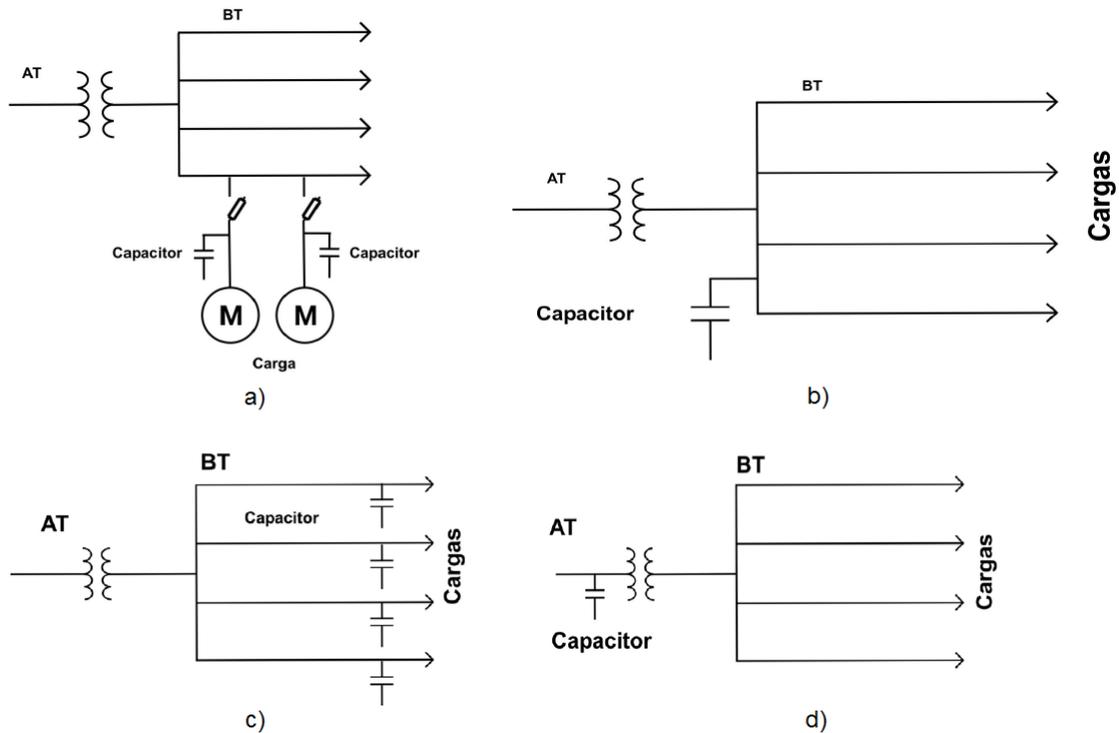


Figura 5 - Pontos de Instalação de Capacitores.
Fonte: COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (2005).

A correção individual das grandes cargas, representada pela Figura 5.a é uma das mais utilizadas, pois aproveita as mesmas chaves de comando existentes, além de a corrente reativa circular somente entre o capacitor e a carga, aliviando os circuitos alimentadores, barramentos e transformadores. A correção no barramento, da Figura 5.b, possui a vantagem de ser mais econômica, pois leva em conta a diversidade dos circuitos alimentadores e a potência reativa total torna-se menor que para a opção anterior, mas requer uma chave que permita o desligamento dos capacitores ao fim das atividades. Já a alternativa da Figura 5.c é uma solução intermediária entre as apresentadas, geralmente utilizada quando há elevado número de cargas pequenas conectadas aos alimentadores. Por fim, a correção do FP no lado de alta tensão, da Figura 5.d, é a menos utilizada, devido ao nível de isolamento dos componentes de comando e proteção, e só possui vantagem econômica em grandes unidades consumidoras, pois o preço por kvar dos capacitores é menor. (COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, 2005).

2.3.1.1 Correção do Fator de Potência de Motores de Indução

Mesmo a plena carga, o FP de motores de indução não ultrapassa 0,90, sendo recomendada, para redução de perdas Joule, a aplicação de bancos de capacitores para motores com potência nominal igual ou superior a 1HP, sendo a forma mais adequada a instalação de capacitores em seus terminais, como na Figura 5.a. A tabela relaciona as máximas potências recomendadas de capacitores em função das potências nominais dos motores de indução (COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, 2005).

Tabela 2 - Correção do Fator de Potência de Motores de Indução em Função da sua Potência Nominal.

Potência do Motor (HP)	Velocidade Síncrona do Motor (r.p.m.) e Número de Pólos											
	3600		1800		1200		900		720		600	
	2		4		6		8		10		12	
	Kvar (1)	%I (2)	kvar	%I	kvar	%I	kvar	%I	kvar	%I	kvar	%I
3	1,5	14	1,5	15	1,5	20	2	27	2,5	35	3,5	41
5	2	12	2	13	2	17	3	25	4	32	4,5	37
7,5	2,5	11	2,5	12	3	15	4	22	5,5	30	6	34
10	3	10	3	11	3,5	14	5	21	6,5	27	7,5	31
15	4	9	4	10	5	13	6,5	18	8	23	9,5	27
20	5	9	5	10	6,5	12	7,5	16	9	21	12	25
25	6	9	6	10	7,5	11	9	15	11	20	14	23
30	7	8	7	9	9	11	10	14	12	18	16	22
40	9	8	9	9	11	10	12	13	15	16	20	20
50	12	8	11	9	13	10	15	12	19	15	24	19
60	14	8	14	8	15	10	18	11	22	15	27	19
75	17	8	16	8	18	10	21	10	26	14	32,5	18
100	22	8	21	8	25	9	27	10	32,5	13	40	17
125	27	8	26	8	30	9	32,5	10	40	13	47,5	16
150	32,5	8	30	8	35	9	37,5	10	47,5	12	52,5	15
200	40	8	37,5	8	42,5	9	47,5	10	60	12	65	14
250	50	8	45	7	52,5	8	57,5	9	70	11	77,5	13
300	57,5	8	52,5	7	60	8	65	9	80	11	87,5	12
350	65	8	60	7	67,5	8	75	9	87,5	10	95	11
400	70	8	65	6	75	8	85	9	95	10	105	11
450	75	8	67,5	6	80	8	92,5	9	100	9	110	11
500	77,5	8	72,5	6	82,5	8	97,5	9	107,5	9	115	10

Fonte: COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (2005).

Notas:

(1) Máxima potência capacitiva recomendada.

(2) Redução percentual da corrente de linha, após a instalação dos capacitores recomendados.

2.4 ILUMINAÇÃO

De acordo com FILHO (2010, p. 31), “a iluminação é responsável atualmente por cerca de 17% do toda energia consumida no Brasil. No setor industrial a participação do consumo da iluminação é de 2%”. Também, “os recintos industriais devem ser suficientemente iluminados para se obter o melhor rendimento possível nas tarefas a executar”. O autor defende ainda a adoção de alguns pontos que considera fundamentais em um bom projeto de iluminação:

- Nível de iluminamento suficiente para cada atividade específica;
- Distribuição espacial da luz sobre o ambiente;
- Escolha da cor da luz e seu respectivo rendimento;
- Escolha apropriada dos aparelhos de iluminação;
- Tipo de execução das paredes e pisos;
- Iluminação de acesso.

2.4.1 Conceitos Básicos

Alguns conceitos básicos serão apresentados para melhor entendimento, de forma resumida, segundo Filho (2010):

Iluminância: É conhecida como o nível de iluminamento, com unidade de medida em lux, correspondendo ao fluxo luminoso por unidade de área que incide sobre uma superfície, definido pela equação a seguir:

$$E = \frac{F}{S} (lux)$$

onde F é o fluxo luminoso (em lumens) e S é a área da superfície iluminada (em m²).

Fluxo Luminoso: É a potência de radiação emitida por uma fonte luminosa em todas as direções do espaço. Sua unidade é o lúmen.

Eficiência Luminosa: É a relação entre o fluxo luminoso emitido por uma fonte luminosa e a potência em watts consumida por esta, pela seguinte expressão:

$$\eta = \frac{\psi}{P_c} \text{ (lúmens/W)}$$

onde ψ é o fluxo luminoso emitido (em lúmens) e P_c é a potência consumida (em W).

Intensidade Luminosa: “É a potência de radiação visível que uma determinada fonte de luz emite numa direção especificada”, dada em candela (cd), determinada pela equação:

$$I = \frac{d\psi}{d\beta} \text{ (cd)}$$

onde β é um ângulo sólido em torno da direção especificada, tendendo a zero.

Luminância: Pode ser “entendida como a medida da sensação de claridade provocada por uma fonte de luz ou superfície iluminada e avaliada pelo cérebro”, em candela por metro quadrado (cd/m²), determinada da seguinte forma:

$$L = \frac{I}{S \times \cos \alpha} \text{ (cd/m}^2\text{)}$$

onde S é a superfície iluminada (em m²), α o ângulo entre a superfície iluminada e a vertical (em graus) e I é a intensidade luminosa (em cd).

2.4.2 Lâmpadas Elétricas

Há no mercado diversos tipos de lâmpadas para utilização nos mais variados espaços e com características específicas, como potência, fluxo luminoso, eficiência luminosa, vida útil, etc. Serão mostrados os tipos mais aplicados em projetos industriais, bem como suas características, na Tabela 3, cabendo ao projetista avaliar o tipo de lâmpada mais adequado.

Tabela 3 - Características Operacionais das Lâmpadas.

Características das Lâmpadas						
Tipo de Lâmpada	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lúmens)	Eficiência Luminosa Média (lm/watt)	Vida Média (horas)	Vantagem	Desvantagem
Incandescente comum	40	470	12	1.000	Iluminação geral e localizada de interiores. Tamanho reduzido e custo baixo.	Baixa eficiência luminosa e, por isso, custo elevado; alta produção de calor, vida média curta.
	60	780	13			
	100	1.480	15			
	150	2.360	16			
Mista	160	3.000	19	6.000	Substituem lâmpadas incandescentes normais de elevada potência. Pequeno volume. Boa vida média.	Custo elevado; demora 5 minutos para atingir 80% do fluxo luminoso.
	250	5.500	22			
	500	13.500	27			
Vapor de mercúrio	80	3.500	44	15.000	Boa eficiência luminosa, pequeno volume, longa vida média.	Custo elevado, que pode ser amortizado durante o uso; demora de 4 a 5 minutos para conseguir a emissão luminosa máxima.
	125	6.000	48			
	250	12.600	50			
	400	22.000	55			
	700	35.000	58			
Fluorescente comum	15	850	57	7.500	Ótima eficiência luminosa e baixo custo de funcionamento.	Custo elevado de instalação.
	20	1.200	53			
	30	2.000	69			
	40	3.000	69			
Fluorescente H.O.	60	3.850	64	10.000	Boa reprodução de cores. Boa vida média.	
	85	5.900	69			
	110	8.300	76			
Fluorescente econômica	16	1.020	64	7.500		
	32	2.500	78			
Fluorescente compacta	5	250	50	5.000		
	7	400	57			
	9	600	67			
	11	900	62			
	13	900	69			
	15	1.100	70			
	20	1.200	72			
	23	1.400	74			
Vapor de sódio a alta pressão	50	3.000	60	18.000	Ótima eficiência luminosa, longa vida útil, baixo custo de funcionamento, dimensões reduzidas, razoável rendimento cromático (luz de coloração branco-dourada).	Custo elevado que é amortizado com o uso. Demora em torno de 5 minutos para a lâmpada atingir 90% do fluxo luminoso total.
	70	5.500	79			
	150	12.500	83			
	250	26.000	104			
	400	47.500	119			
Vapor metálico	400	28.500	98	24.000	Ótima eficiência luminosa, longa vida útil.	Custo elevado que é amortizado com o uso.
	1.000	90.000				
	2.000	182.000				

Fonte: FILHO (2010, p. 38).

2.4.3 Reatores

Como diz PANESI (2006), reatores “são equipamentos auxiliares necessários para o acendimento das lâmpadas de descarga” e são encontrados dois tipos à venda, que são os eletromagnéticos e os eletrônicos.

Eles são responsáveis pela estabilização da corrente a um nível adequado de acordo com a especificação da lâmpada, sendo apresentados com uma reatância em série com o circuito da lâmpada (FILHO, 2010).

2.4.3.1 Reatores Eletromagnéticos

Possuem fabricação simples, são compostos de um núcleo laminado de aço especial e de um enrolamento com fio de cobre esmaltado, montado em uma caixa de aço chamada carcaça. Podem ter ainda um capacitor ligado em paralelo para elevar o fator de potência, o que faz a diferenciação entre reatores eletromagnéticos de baixo ou alto fator de potência (FILHO, 2010).

2.4.3.2 Reatores Eletrônicos

“São constituídos por capacitores e indutores para alta frequência de 20 a 50 kHz. Operando nessas condições, proporciona maior fluxo luminoso com menor potência de consumo, sendo mais eficientes do que os eletromagnéticos.” (PANESI, 2006).

2.4.3.3 Perdas nos Reatores

O principal fator que causa perdas de energia nos reatores eletromagnéticos é o efeito Joule, devendo ser considerado no cálculo de carga, ficando na ordem de 10 a 15% da potência da lâmpada. Já os reatores eletrônicos possuem perda de energia muito baixa. (PANESI, 2006). FILHO (2010, p. 41) fornece uma tabela com características técnicas de reatores eletromagnéticos da marca Philips, onde podem ser observadas as perdas dos reatores, na Tabela 4.

Tabela 4 - Características dos Reatores RTL Philips.

Reatores Duplos				
Lâmpada	Tensão	Corrente	Fator de Potência	Perdas (W)
2x40	118	0,87	0,90	21,9
2x40 - 4x20	220	0,44	0,90	18,3
2x20	220	0,33	0,90	19,5
2x40	115	0,95	0,90	22,5
2x40	125	0,88	0,90	20,4
2x40	220	0,51	0,90	24,1
2x65	220	0,71	0,90	23,3
2x110	220	1,20	0,90	32,0

Fonte: Adaptado de FILHO (2010, p. 41).

2.4.4 Cálculo Luminotécnico

O cálculo luminotécnico correto contribui para a utilização adequada da energia elétrica e de acordo com PANESI (2006, p. 70), pode ser realizado pelo método das eficiências³, por meio de alguns passos, que serão mostrados a seguir:

1º Passo – Caracterizar o ambiente com as seguintes informações:

- Dimensões do recinto (comprimento, largura e pé direito);
- Altura da montagem da luminária e do plano de trabalho;
- Cor de teto, paredes e piso;
- Tipo de atividade exercida no ambiente;
- Determinar a iluminância necessária para a atividade.

2º Passo – Determinação do Índice do recinto (K), que relaciona as dimensões do mesmo, pela expressão:

$$K = \frac{c \times l}{h \times (c + l)}$$

onde c é o comprimento (em m), l a largura (em m) e h a altura entre a luminária e o plano de trabalho (em m).

³ Onde Panesi diz método das eficiências, lê-se método dos lumens. Houve alterações na NBR 5413 que trata do cálculo luminotécnico, mas não serão contempladas neste trabalho.

3º Passo – Determinar o fator de utilização (FU), que depende do tipo da luminária e geralmente é fornecido pelo fabricante, em função índice do recinto e das refletâncias do teto e das paredes. A Tabela 5 relaciona a refletância percentual com as possíveis cores das paredes e do teto.

Tabela 5 - Coeficiente de Reflexão de Cores.

Cores	Refletância (%)
Branco	70 a 80
Creme claro	70 a 80
Amarelo claro	55 a 65
Rosa	45 a 50
Verde claro	45 a 50
Azul celeste	45 a 50
Cinza claro	45 a 50
Bege	23 a 35
Amarelo escuro	23 a 35
Marrom claro	23 a 35
Laranja	20 a 25
Vermelho	20 a 35
Cinza médio	20 a 35
Verde escuro	10 a 15
Azul escuro	10 a 15
Cinza escuro	10 a 15
Azul marinho	5 a 10
Preto	5 a 10

Fonte: PANESI (2006).

4º Passo – Determinar o Fator de Perdas Luminosas (FPL) devido ao acúmulo de poeira na luminária dado pelo ambiente, que resulta em perda do fluxo luminoso, pelos valores da Tabela 6.

Tabela 6 - Fator de Perdas Luminosas.

Ambiente	Período de Manutenção		
	2500h	5000h	7500h
Limpo	0,95	0,91	0,88
Normal	0,91	0,85	0,80
Sujo	0,8	0,66	0,57

Fonte: PANESI (2006).

5º Passo – Identificar a iluminância média (E_m) recomendada para o tipo de atividade, baseado na Tabela 7.

Tabela 7 - Iluminância de Recintos.

Tipo de Atividade	E (Mín.)	E (Méd.)	E (Máx.)
Recinto para trabalhos não contínuos e de transição	100 lux	150 lux	200 lux
Trabalho com tarefas visuais limitadas	200 lux	300 lux	500 lux
Trabalhos visuais normais	300 lux	500 lux	750 lux
Recinto para trabalhos com visualização de detalhes	750 lux	1000 lux	1500 lux
Residências	90 lux	100 lux	150 lux
Lojas	500 lux	700 lux	1000 lux

Fonte: Adaptado de PANESI (2006).

6º Passo – Definição do número de luminárias necessárias, de acordo com a equação:

$$N = \frac{E_m \times A}{n \times \psi \times FU \times FPL}$$

onde E é a iluminância média (em lux), A é a área do recinto (em m²), n é a quantidade de lâmpadas por luminária, ψ é o fluxo luminoso da lâmpada (em lúmens), FU é o fator de utilização e FPL é o fator de perdas luminosas.

2.4.5 Medidas Para Conservação de Energia Elétrica na Iluminação

A substituição de lâmpadas por outras de maior eficiência luminosa é uma possibilidade que deve ser sempre estudada, sem alterar as condições de iluminação adequada à atividade praticada no local, sendo que as maiores possibilidades consistem no uso de lâmpadas de vapor na iluminação de grandes áreas, como galpões e depósitos (COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, 2005).

Também de acordo com COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (2005), algumas medidas práticas podem ser importantes para conservação de energia:

- Usar lâmpadas adequadas para o tipo de ambiente;
- Ligar a luz elétrica somente onde não existir iluminação natural suficiente para o desenvolvimento das atividades;

- Instruir os empregados a desligarem as lâmpadas de dependências desocupadas, salvo aquelas que contribuem para a segurança;
- Reduzir a carga de iluminação nas áreas de circulação, garagem, depósitos, etc., observando sempre as medidas de segurança;
- Manter limpas as luminárias. A sujeira reduz o fluxo luminoso, exigindo maior número de lâmpadas acesas;
- Instalar interruptores, objetivando facilitar as operações liga/desliga, conforme a necessidade do local;
- Utilizar-se de telhas transparentes para aproveitamento da iluminação natural;
- Dividir os circuitos de iluminação, de tal forma a utilizá-los parcialmente sem prejudicar o conforto;
- Percorrer os diversos setores da indústria, a fim de verificar se há luminárias desnecessárias ou com excesso de iluminação.

2.5 DIMENSIONAMENTO DE FORNOS ELÉTRICOS A RESISTÊNCIA

2.5.1 Fornos a Resistência

Como diz Filho (2001, p. 306), fornos a resistência “são assim denominados aqueles que utilizam o calor gerado por perdas Joule numa resistência elétrica que é atravessada por uma corrente de intensidade em geral elevada”.

Fornos a resistência podem ser de dois diferentes tipos, de aquecimento direto, onde o material a ser aquecido é atravessado pela mesma corrente elétrica do circuito, e aquecimento indireto, onde o material é contido em uma câmara isolada termicamente e o calor é transferido da resistência elétrica por condução, convecção e irradiação (FILHO, 2001).

Os fornos elétricos a resistência de aquecimento indireto são os mais comuns, podendo ser utilizados em diversas aplicações e também no cozimento de produtos alimentícios. Alguns materiais utilizados como resistência elétrica são:

Nicromo V (80% Ni – 20% Cr), Cromax (30% Ni – 20% Cr – 50% Fe), Kantal (Cr, Al, Co, Fe), etc., na forma de fios ou fitas dispostos em espiral. A ligação das resistências pode ser feita em circuitos monofásicos ou trifásicos, onde nesta última a configuração em triângulo resulta em menor quantidade de fio resistor (FILHO, 2001, p. 307).

Um dado importante na escolha da seção da resistência é a carga específica superficial, que representa a maior taxa de transferência de potência cedida por unidade de superfície. Sua unidade é dada, em geral, em W/cm². É necessário, no entanto, avaliar para cada projeto a carga específica superficial, já que as seções de pequenas dimensões das resistências elétricas custam menos, porém têm durabilidade reduzida, quando comparadas com as resistências de maior seção, que apresentam custos significativamente maiores. Nas aplicações industriais, a carga específica superficial dos fios resistores é escolhida na faixa de 0,5 a 4,5 W/cm². (FILHO, 2001).

A carga específica superficial de algumas ligas de uso comum é apresentada pela Tabela 8.

Tabela 8 - Carga Específica Superficial - W/cm².

Tipo de Liga	Temperatura do Forno (°C)						
	600	700	800	900	1000	1100	1200
80% Ni - 20% Cr	5,0	3,2	2,2	1,5	1,1	0,9	-
30% Ni - 20% Cr - 50% Fe	4,6	3,0	2,0	1,4	1,0	0,8	-
20% Cr - 5% Al	8,0	5,8	4,3	3,1	2,2	1,3	0,8
Cr-Al-Co-Fe	3,9	3,5	3,0	2,4	1,5	-	-

Fonte: Filho (2001, p. 307).

A Tabela 9 fornece a resistência ôhmica das ligas Cromel (80% Ni e 20% Cr) e Copel (55% Cu e 45% Ni).

Tabela 9 - Características das Ligas Cromel e Copel.

Diâmetro do Fio (mm)	Resistência (Ohm/m)		Diâmetro do Fio (mm)	Resistência (Ohm/m)	
	80% Ni-20% Cr	55% Cu-45% Ni		80% Ni-20% Cr	55% Cu-45% Ni
10,404	0,01269	0,005742	0,64260	3,3368	1,5092
8,255	0,02017	0,009121	0,51050	5,2791	2,3886
6,553	0,03205	0,014502	0,40380	8,4322	3,8158
5,182	0,05124	0,022467	0,32000	13,4190	6,0764
4,115	0,08136	0,036747	0,25400	21,3300	9,6461
3,251	0,13025	0,058861	0,20320	33,3350	15,0600
2,591	0,20506	0,092850	0,16000	53,7100	24,3120
2,057	0,32515	0,146990	0,21700	85,3060	38,5840
1,626	0,52102	0,235570	0,11430	105,3200	47,6400
1,295	0,82020	0,370750	0,10160	133,2100	60,2720
1,016	1,33210	0,602720	0,08900	174,2200	78,7400
0,813	2,08340	0,941650	0,07870	221,7900	100,4000

Fonte: Filho (2001, p. 307).

A Tabela 10 mostra as propriedades de alguns materiais, entre elas a resistividade.

Tabela 10 - Propriedades dos Materiais

Material	Composição	Resistividade Ω - mm ² /m	Ponto de Fusão (°C)	Resistência à Tração (kg/mm ²)
Nicromo	Ni-Fe-Cr	1,1221	1.350	66,79
Nicromo V	Ni-Cr	1,0806	1.400	70,31
Cromax	Fe-Ni-Cr	0,9975	1.380	49,22
Nirex	Ni-Cr-Fe	0,9809	1.395	56,25
Nilvar	Fe-Ni	0,8046	1.425	49,22
Bronze comercial	Cu-Zn	0,0415	1.040	26,01
Ni puro	Ni	0,0997	1.450	42,18
Platina	Pt	0,1060	1.773	34,00
Aço	Fe	0,0999	1.535	35,15
Zinco	Zn	0,0592	419	15,47
Molibdênio	Mo	0,0569	2.625	70,31
Tungstênio	W	0,0552	3.410	344,52
Alumínio	Al	0,0267	660	24,61
Ouro	Au	0,0242	1.063	27,00
Cobre	Cu	0,0172	1.083	24,61
Prata	Ag	0,0163	960	-

Fonte: Filho (2001, p. 307).

2.5.2 Dimensionamento de Fornos a Resistência de Aquecimento Indireto

Conforme Filho (2001), são necessárias as seguintes etapas para o dimensionamento de um forno elétrico de aquecimento indireto:

1ª Etapa – Potência desejada do forno

A potência do forno depende do material a ser aquecido e do tempo que se deseja atingir a condição de operação, onde a equação a seguir fornece a potência do forno de acordo com a quantidade de energia necessária para a operação, sendo uma função da carga de trabalho:

$$P_f = \frac{E \times P_m}{\eta \times T} \text{ (kW)}$$

onde P_f é a potência do forno (em kW), η é o rendimento do forno (varia entre 0,6 e 0,8), T é o tempo desejado para o material atingir a temperatura desejada (em

horas), P_m é o peso do material (em t) e E é a energia consumida no processo desejado (em kWh/t).

2ª Etapa – Determinação do diâmetro do fio resistor

A equação abaixo é utilizada para determinar um diâmetro aproximado do fio resistor, sendo necessário utilizar o diâmetro comercial mais próximo do calculado, mostrado na Tabela 9.

$$D_f = 34,4 \times \sqrt[3]{\frac{\rho}{P_t} \times \left(\frac{P_{ff}}{N_p \times V}\right)^2} \quad (mm)$$

onde D_f é o diâmetro do fio resistor (em mm), ρ é a resistividade do material do fio resistor (em $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$), P_t é a carga específica superficial do resistor (em W/cm^2), V é a tensão de suprimento (em V), P_{ff} é a potência por fase do forno (em kW) e N_p é o número de circuitos resistores em paralelo.

3ª Etapa – Determinação do comprimento do fio resistor

O comprimento do fio resistor é calculado pela equação seguinte, necessitando conhecer a resistência desejada do fio resistor.

$$L_f = \frac{R_r}{R_{\Omega/m}} \quad (m)$$

onde L_f é o comprimento do fio resistor (em m), R_r é a resistência do fio resistor (em Ω) e $R_{\Omega/m}$ é a resistência, por unidade, do fio resistor (em Ω/m).

Uma maneira de determinar a energia necessária por unidade de massa para aquecer um objeto a determinada temperatura é através do calor específico do material, que segundo Halliday e Resnick (2009, p. 191) é a “capacidade térmica por unidade de massa”, que significa quanto calor o objeto é capaz de absorver para uma mudança de temperatura ΔT . A equação seguinte ilustra o que foi dito:

$$E = c \times \Delta T = c \times (T_f - T_i) \quad (kWh/t)$$

onde c é o calor específico do objeto (em kWh/t.°C), ΔT é a variação de temperatura (em °C), T_f é a temperatura final e T_i é a temperatura inicial do objeto (em °C).

Com a potência do forno calcula-se a resistência do fio necessária para determinar o comprimento do mesmo, da seguinte forma, descrita por Filho (2001), para resistências ligadas em triângulo, onde calcula-se em sequência a potência por fase, a corrente de linha, a corrente de fase, a resistência de fase, o comprimento do fio por fase e o comprimento total do fio resistor:

$$P_{ff} = \frac{P_f}{3}$$

$$I_1 = \frac{P_f}{\sqrt{3} \times V}$$

$$I_f = \frac{I_1}{\sqrt{3}}$$

$$R_f = \frac{1000 \times P_{ff}}{I_f^2}$$

$$L_f = \frac{R_f}{R_{\Omega/m}}$$

$$L_t = 3 \times L_f$$

onde P_{ff} é a potência dissipada por fase (em kW), P_f é a potência do forno (em kW), I_1 é a corrente de linha (em A), V é a tensão de linha (em kV), I_f é a corrente de fase (em A), R_f é a resistência do fio resistor por fase (em Ω), L_f é o comprimento do resistor por fase (em m), $R_{\Omega/m}$ é a resistência do fio por metro (em Ω/m) e L_t é o comprimento total de fio resistor utilizado (em m).

3 SITUAÇÃO ORIGINAL DA INDÚSTRIA

Neste capítulo será feita a caracterização das instalações da Karina Indústria de Alimentos Ltda, inicialmente com a descrição da planta, ou seja, o ambiente físico da indústria, em seguida será abordada a instalação elétrica existente, também serão descritos os fornos instalados, bem como o sistema produtivo e por fim um panorama de consumo e demanda de energia elétrica atuais.

3.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA E DA PLANTA

A Karina Indústria de Alimentos Ltda, com nome de fantasia de Biscoitos Karina, está localizada na rodovia BR 158, Km 521, número 10820, no bairro Planalto, na cidade de Pato Branco – PR e tem como atividade econômica principal a fabricação de biscoitos e bolachas. A empresa está em atividade desde novembro de 2007 e conta atualmente com 47 colaboradores trabalhando em turno único e possui uma produção mensal média de 68.000 quilogramas de bolachas e biscoitos diversos.

A planta possui 2.945,85 m² de área construída, dividida em dois barracões, um para a produção e outro para estoque, expedição, administração, recepção e outras dependências, como uma sala para entrada e medição de energia, oficina e instalação de alguns equipamentos. O barracão da produção possui 1.179,15 m² no térreo, onde está presente quase toda a linha de produção e 441,70 m² em um segundo andar, onde são preparadas as massas básicas, como será descrito adiante. Já o outro barracão, chamado barracão da expedição, possui 1.325,00 m², sendo a maior área utilizada na estocagem dos produtos. A sala de medição, assim chamada, possui 50m² de área e faz parte da área total do barracão da expedição. Na parte lateral externa do barracão da produção há uma cobertura utilizada para armazenamento de lenha e abrigo da caldeira do forno a lenha.

3.2 INSTALAÇÃO ELÉTRICA

A indústria é atendida em média tensão, na classe A4, correspondente a 13,8kV e possui medição em baixa tensão. A instalação elétrica em questão não possui diagrama unifilar, ou não está em posse da administração, de forma que os diagramas que serão apresentados no texto vêm de inspeções feitas no local. A seguir são apresentados os principais pontos de estudo neste contexto.

3.2.1 Entrada de Energia

A conexão elétrica da instalação da indústria é feita com a concessionária de energia elétrica COPEL através da rede primária de distribuição em 13,8 kV, no “sistema neutro isolado, aterrado por Reator ou Transformador de Aterramento para proteção contra faltas fase-terra, sendo permitida a ligação de transformadores de distribuição monofásico entre fases e de trifásicos em triângulo” (COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, 2011, p. 56), através de um ramal de ligação aéreo com chaves-fusível na derivação e conectado à um transformador de 112,5 KVA com para-raios embutidos. Do secundário do transformador os condutores são ligados à caixa de medição por meio de eletrodutos e após a medição há um disjuntor trifásico para proteção geral da instalação.

A Figura 6 mostra o diagrama unifilar da entrada de serviço com ramal de ligação aéreo e medição em baixa tensão.

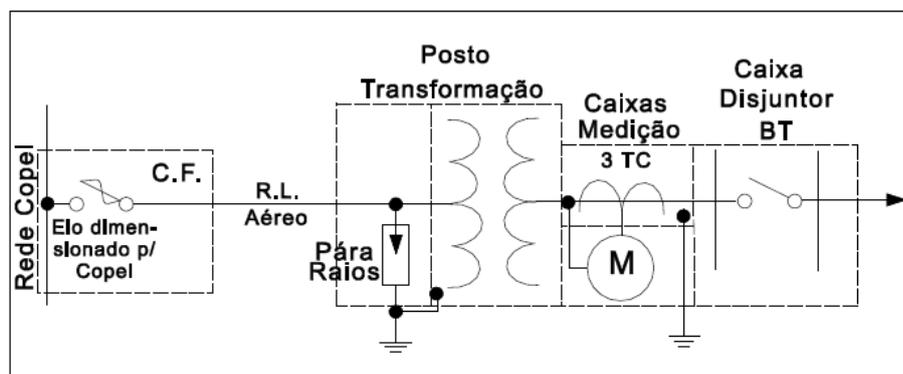


Figura 6 - Diagrama Unifilar da Entrada de Serviço.
Fonte: COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (2011, p. 64).

A Figura 7 ilustra os componentes que fazem parte da entrada de serviço, bem como a topologia da ligação aérea utilizada.

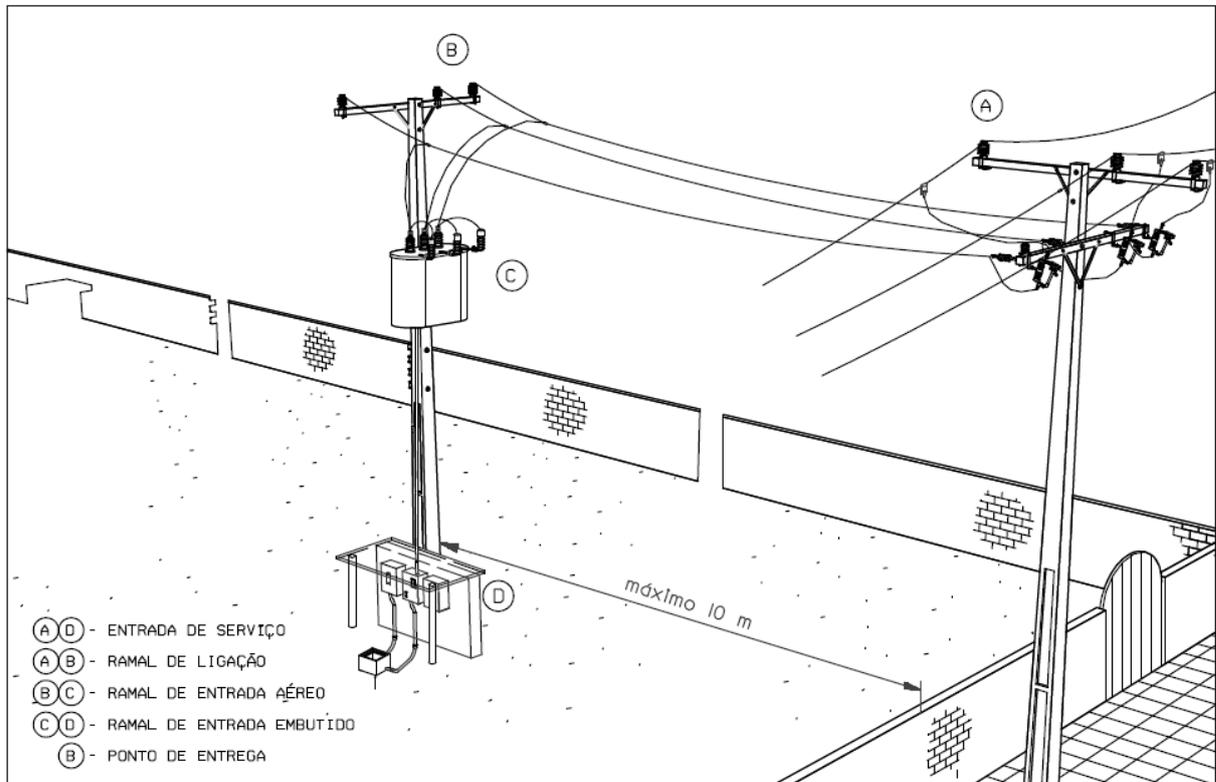


Figura 7 - Componentes da Entrada de Serviço.
Fonte: COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (2011, p. 59).

A partir do disjuntor geral, na sala de medição, são derivados os circuitos principais que alimentam três quadros de cargas, dois localizados no barracão da expedição e um no barracão da produção, de acordo com a Figura 8.

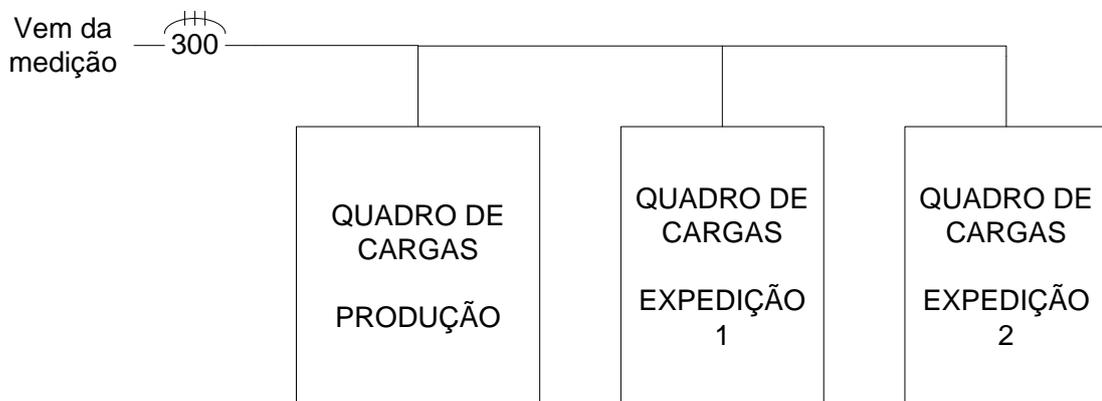


Figura 8 - Diagrama Geral da Instalação Após a Medição.
Fonte: Autoria Própria.

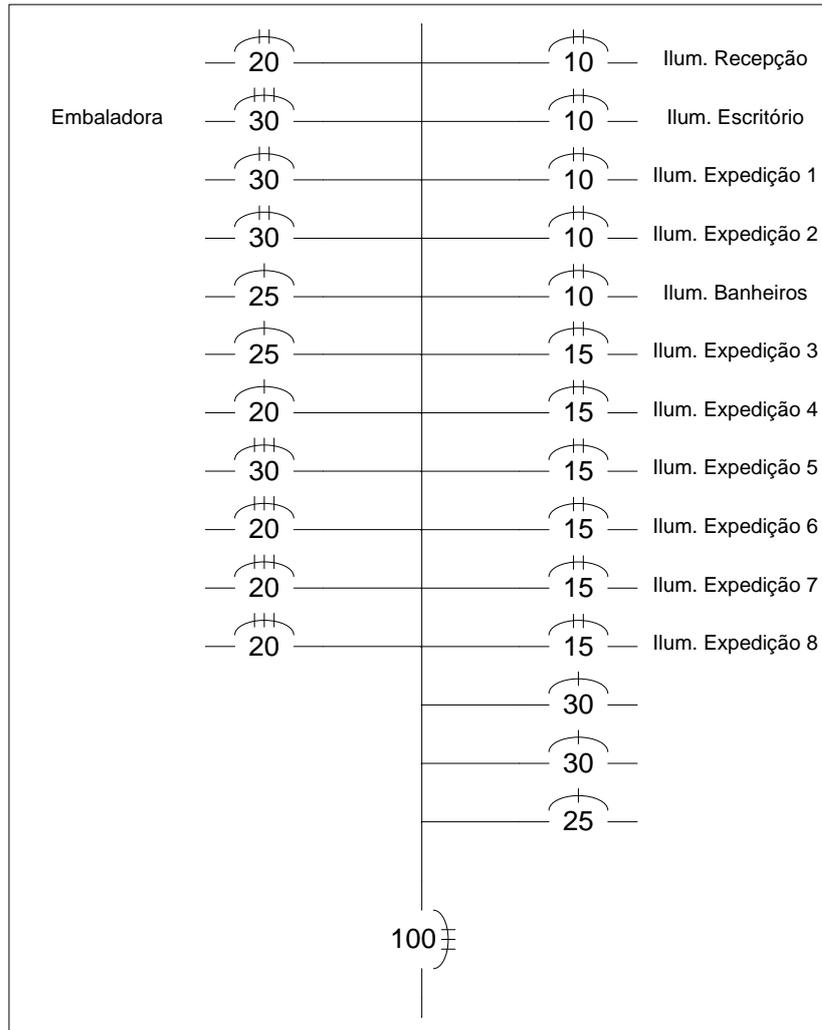


Figura 10 - Diagrama Unifilar do Quadro Expedição 2.
Fonte: Autoria Própria.

3.2.3 Quadro de Cargas da Produção

O maior e principal quadro de cargas instalado na indústria é o quadro localizado no barracão da produção, chamado de Quadro Produção, de onde são acionados todos os motores das esteiras, desde o início, onde é feito o molde dos biscoitos, passando pelo forno, até a esteira de resfriamento, processo que será abrangido mais detalhadamente no decorrer do texto. Estes motores requerem controle de velocidade, o que é feito através do uso de inversores de frequência instalados no quadro de cargas em questão. Ao total são 15 inversores, cujas marcas, modelos e potências são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Relação dos Inversores de Frequência instalados no Quadro Produção.

Inversor	Marca	Modelo	Potência (kW)
1	Schneider	ATV312HD15M3	15
2	Telemecanique	ALTIVAR 28	4
3	Schneider	ATV312HU30M3	3
4	Schneider	ATV312HU22M3	2,2
5	Schneider	ATV312HU22M3	2,2
6	Schneider	ATV312HU15M3	1,5
7	Schneider	ATV312HU40M3	4
8	Schneider	ATV312HO75M2	0,75
9	Telemecanique	ALTIVAR 11HV41M2A	2,2
10	Telemecanique	ALTIVAR 11HV41M2A	2,2
11	Telemecanique	ALTIVAR 11HV41M2A	2,2
12	Schneider	ATV12HU15M2	1,5
13	Schneider	ATV12HU15M2	1,5
14	Schneider	ATV12HU15M2	1,5
15	Telemecanique	ALTIVAR 28	4

Fonte: Aatoria Própria.

A Figura 11 mostra o diagrama unifilar do Quadro Produção, feito a partir da observação do mesmo, o qual é composto por um barramento principal protegido por um disjuntor de 175A, chaves manuais, inversores, disjuntores e contatores⁴.

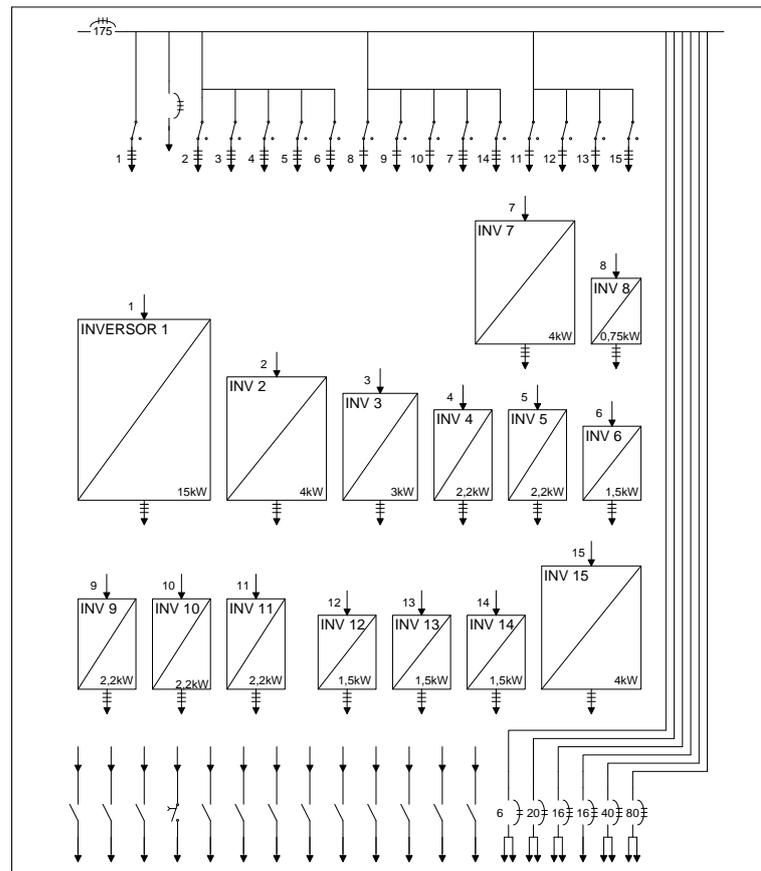


Figura 11 - Diagrama Unifilar do Quadro Produção.

Fonte: Aatoria Própria.

⁴ Não foi possível determinar as ligações dos contatores.

3.2.4 Carga Instalada

Uma das primeiras atividades realizadas foi o levantamento completo das cargas presentes na instalação da fábrica de biscoitos, que apresentou-se bem diversificada. Foram encontrados alguns equipamentos secundários usados em uma pequena oficina de consertos, os equipamentos do setor de produção, compreendendo misturadores de massa básica (masseiras), esteiras de moldagem (moldadeiras), esteiras dos fornos e de resfriamento, máquina de empacotamento (embaladora), ainda toda a iluminação interna e externa e equipamentos de escritório.

A relação completa de cargas será apresentada em três tabelas, uma exclusiva para a iluminação, a Tabela 12, uma para as cargas secundárias, não relacionadas diretamente com a linha de produção, a Tabela 13, e outra para as cargas incluídas na linha de produção, a Tabela 14.

Tabela 12 - Relação da Carga Correspondente à Iluminação.

Setor	Número de Luminárias	Potência (W)	Total (W)
Administração	2	2x110	440
Recepção e Sala de Reuniões	5	2x110	1100
Refeitório	1	2x110	220
Banheiros	2	2x40	160
Expedição	30	2x110	6600
Produção (Parte Inicial)	5	400	2000
Produção (Parte Final)	14	400	5600
Produção (2º Andar)	7	2x110	1860
Área Externa	4	2x40	160
Outdoor	7	400	2800
Outdoor	2	400	800
Total	79	-	21580

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 13 - Relação de Cargas Secundárias.

Equipamento	Quantidade	Potência (cv)	Potência (W)	Total (W)
Compressor de Ar	1	7,5	5520	5520
Furadeira	1	3/4	552	552
Esmeril	1	1/2	368	368
Elevador	1	5	3680	3680
Moedor de Bolachas (reaproveitamento)	1	3	2208	2208
Computadores	5	-	400	2000
Impressora	1	-	400	400
Equipamentos de Cozinha	-	-	5000	5000
Total	-	-	-	19728

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 14 - Relação de Equipamentos da Linha de Produção.

Equipamento	Número de Motores	Potência (cv)	Potência (W)	Total (W)
Masseira 1	2	10	7360	29440
Masseira 2	2	30	22080	22080
Tombador da Masseira 1	2	15	11040	1104
Esteira do Molde 1	1	1,5	1104	6624
Esteira do Forno 1 (Gás)	3	3	2208	1472
Circuladores de Ar do Forno 1	2	1	736	2944
		3	2208	
Esteira de Resfriamento 1	2	1	736	2944
		3	2208	
Esteira do Molde 2	3	3	2208	6624
Esteira do Forno 2 (Lenha)	1	3	2208	2208
Circuladores de Ar do Forno 2	1	2	1472	1472
Esteira de Resfriamento 2	1	2	1472	1472
Máquina de Cobertura	1	1/2	368	368
Embaladora	-	-	2500	2500
Total	21	-	-	81252

Fonte: Autoria Própria.

Sendo assim, a carga instalada total é o somatório de todas as cargas, que pode ser calculada pela simples soma da potência total de cada grupo de cargas, onde por facilidade é mostrada na Tabela 15.

Tabela 15 - Carga Instalada Total.

Tipos de Cargas	Potência (W)
Iluminação	21580
Cargas Secundárias	19728
Cargas da Linha de Produção	81252
Total	122560

Fonte: Autoria Própria.

3.3 FORNOS

Na Karina Indústria de Alimentos Ltda, existem dois fornos instalados, um a lenha, de menor porte, e outro à gás, de maior porte. Ambos os fornos são do tipo túnel, semelhante ao forno da Figura 12, com queimador e ventilador para circulação de ar na região central e estão associados em linha com as esteiras da parte de moldagem (antes dos fornos) e de resfriamento (depois dos fornos).

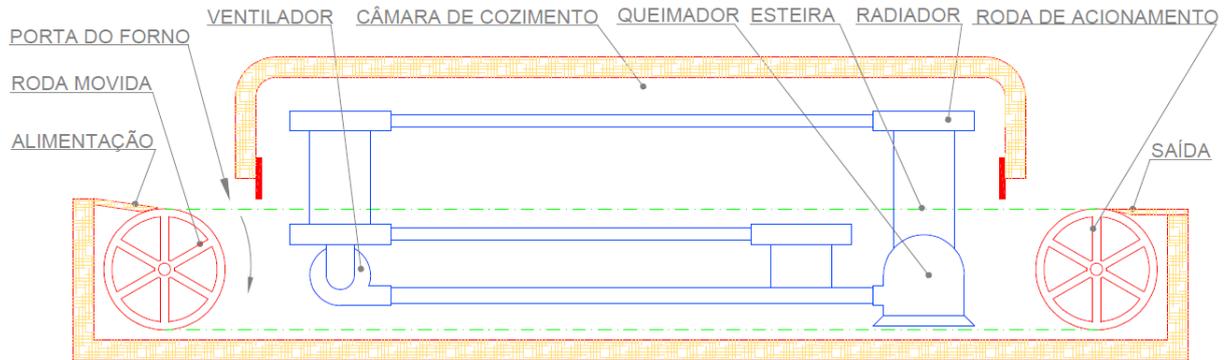


Figura 12 - Forno Tipo Túnel.
 Fonte: Carzino (2006 apud Matz, 1960, p. 32).

O forno a gás possui as dimensões internas de 29,00 m de comprimento, 0,94 m de largura e 0,56 m de altura, onde passam dutos do radiador, para melhor distribuição de calor, e a esteira que carrega os biscoitos. A temperatura de referência para assar os biscoitos é de 250°C, regulada por um controlador de vazão de gás na entrada do queimador. O tempo cronometrado de permanência dos biscoitos no interior do forno, do momento de entrada dos biscoitos até sua saída, é de aproximadamente 6 minutos e a massa total de biscoitos que se mantém no interior do forno é de 34,6Kg, obtida pela pesagem de um metro corrido de biscoitos na esteira, que foi de 1,193Kg, e multiplicada pelo comprimento do forno, de 29m. A pesagem foi realizada antes da entrada do forno e após a saída dos biscoitos, onde a diferença de peso dos biscoitos crus e cozidos foi de poucas gramas.

3.4 SISTEMA DE PRODUÇÃO

Para a fabricação de biscoitos, são necessárias várias etapas desde a mistura de ingredientes até o empacotamento. Independentemente do tipo de biscoito fabricado, as etapas de produção são praticamente similares, com poucos detalhes diferentes, o que mais tem influência em um ciclo de trabalho é a demanda de produto no mercado, determinando o ritmo de produção e o acionamento simultâneo dos dois fornos ou não. Visando melhor entendimento, o processo produtivo será dividido nas etapas apresentadas na sequência.

Relativo à dinâmica de trabalho dos colaboradores existe diferença nos horários de trabalho de alguns deles, o que têm influência no consumo de energia

da instalação. Sintetizando as informações repassadas pela empresa, dois funcionários iniciam a jornada às 04:30h para pôr em funcionamento os fornos (gás e/ou lenha, de acordo com a programação), devido à inércia térmica dos mesmos, ligando também algumas luminárias neste horário e iniciando a preparação das massas básicas, separando os ingredientes, etc. Às 6:00h ocorre o acionamento das máquinas que misturam os ingredientes, como será descrito à seguir, e às 7:00h acontece a chegada de mais funcionários e as linhas começam a produzir.

3.4.1 Elaboração da Massa Básica

Esta etapa é realizada no 2º andar do barracão da produção e consiste na dosagem e pesagem dos ingredientes e conseqüente mistura dos mesmos nas máquinas chamadas masseiras. As masseiras são equipamentos acionados por motores elétricos de porte considerável, sendo os maiores motores da instalação, e apresentam um reservatório com pás giratórias onde os ingredientes são misturados dando origem à massa básica.

Ao total são três equipamentos, o principal, chamado de masseira 1, apresenta um motor de 10cv e um de 30cv, sendo responsável por alimentar a linha de produção do forno a gás. Os outros dois equipamentos são iguais e formam um conjunto, chamado masseira 2, e são responsáveis por alimentar a linha do forno a lenha ou do forno a gás, contendo um motor de 15cv cada. Os equipamentos da masseira 2 trabalham alternadamente, ou seja, enquanto um está ligado, misturando os ingredientes, o outro parado para que os funcionários adicionem os ingredientes no reservatório.

De acordo com a demanda de produção, uma ou duas linhas são acionadas, sendo que quando há somente uma em trabalho, apenas a masseira 2 é utilizada, pois é de mais fácil uso e consegue suprir qualquer linha. Já quando há o uso simultâneo das duas linhas, as duas masseiras são acionadas, a 1 para o forno a gás e a 2 para o forno a lenha.

Das masseiras a massa é colocada em uma espécie de funil, com rolos que puxam a massa e a fazem descer em um escorregador até um reservatório na moldadeira, na parte térrea do barracão da produção.

3.4.2 Moldagem dos Biscoitos e Bolachas

Nesta etapa, para cada linha, há uma máquina relativamente complexa, chamada moldadeira, que por meio de esteiras, rolos lisos e de molde, transformam a massa em biscoitos ou bolachas, de diferentes formatos, de acordo com o rolo de molde instalado, que vão pela esteira até a entrada do respectivo forno, onde são transferidos para a esteira do forno. A moldadeira possui vários motores elétricos com controle de velocidade acionados por inversores de frequência e controlados pelos operadores através de potenciômetros, visando regular a velocidade da produção e assegurar o formato ideal dos biscoitos, não ficando espichados nem encolhidos. Os motores existentes nestas máquinas estão relacionados na Tabela 14 deste capítulo.

3.4.3 Cozimento dos Biscoitos nos Fornos

Aqui, em cada linha, simplesmente os biscoitos passam pelo interior do forno, via esteira, para que sejam assados. O tempo em que cada biscoitos passa dentro do forno e a temperatura a qual é submetido varia de acordo com o ritmo de produção, sendo que a produção mais lenta ou mais rápida não tem interferência na qualidade do produto. Em um ritmo normal, a temperatura do forno a gás é em média de 250°C e o tempo de permanência dos biscoitos no interior do forno é de 6 minutos, como citado anteriormente.

3.4.5 Resfriamento

Após o cozimento, os biscoitos seguem por uma esteira expostos à temperatura ambiente para resfriamento. Ao fim da esteira são armazenados em grandes caixas ou sacos (chamados Bags) para terminarem de esfriar e aguardar a etapa de acréscimo de cobertura ou empacotamento.

3.4.6 Cobertura com Calda

Esta etapa é realizada somente em alguns tipos de biscoitos, onde é inserida uma cobertura de chocolate preto ou branco, através de uma máquina onde os biscoitos passam, recebendo calda e saindo para manuseio dos operadores, para desgrudar os biscoitos enquanto a calda seca. Em seguida os biscoitos são novamente armazenados para aguardar a etapa de empacotamento.

3.4.7 Empacotamento

Na última etapa da produção, os biscoitos já frios são despejados em uma esteira que compõe uma máquina de empacotamento, chamada embaladora, que faz a dosagem e pesagem automática de biscoitos em cada pacote e encaminha-os para uma balança de precisão. Na balança os funcionários fazem a verificação do peso dos pacotes e os colocam manualmente em caixas de papelão, de onde seguirão para o barracão da expedição, para estocagem e seguinte expedição.

3.5 CONSUMO ELETROENERGÉTICO

De modo a se obter dados de consumo de energia elétrica ativa e reativa, demanda de potência e faturamento, de forma numérica e gráfica, foi realizado o acesso à página destinada ao consumidor, no site da COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (COPEL). Também foram realizadas medidas através do analisador de energia de propriedade da UTFPR, o aparelho FLUKE[®] 435, que foi instalado no barramento geral do quadro da produção. Os dados obtidos são apresentados no decorrer deste capítulo.

3.5.1 Dados da COPEL

3.5.1.1 Histórico de Consumo e Demanda

A COPEL, para a unidade consumidora em questão, disponibiliza dados de no máximo dois anos em seu sistema, onde as tabelas que serão mostradas iniciam no mês de Janeiro de 2012. A Tabela 16 mostra o histórico de consumo e demanda neste período, onde se percebe que houve uma alteração no contrato de demanda em março de 2012, não havendo modificações desde então.

Tabela 16 - Histórico de Consumo e Demanda.

Mês	Consumo (kWh)		Demanda Contratada (kW)	Demanda Registrada (kW)
	Ponta	F Ponta	Total	Total
01/2012	260,00	3.959,00	30,00	35,81
02/2012	710,00	6.751,00	30,00	36,21
03/2012	700,00	5.847,00	40,00	36,21
04/2012	697,00	6.116,00	40,00	35,62
05/2012	598,00	6.699,00	40,00	35,42
06/2012	502,00	6.639,00	40,00	36,40
07/2012	439,00	5.703,00	40,00	33,65
08/2012	351,00	5.777,00	40,00	36,21
09/2012	284,00	6.441,00	40,00	34,63
10/2012	409,00	6.499,00	40,00	35,81
11/2012	579,00	7.211,00	40,00	39,36
12/2012	474,00	7.037,00	40,00	38,76
01/2013	268,00	4.844,00	40,00	36,40
02/2013	391,00	7.069,00	40,00	36,40
03/2013	954,00	8.298,00	40,00	51,95
04/2013	1.215,00	8.228,00	40,00	54,12
05/2013	376,00	7.265,00	40,00	52,93
06/2013	436,00	8.511,00	40,00	51,56
07/2013	887,00	8.339,00	40,00	56,08
08/2013	651,00	9.511,00	40,00	54,12
09/2013	713,00	8.617,00	40,00	51,16
10/2013	467,00	8.130,00	40,00	54,12
11/2013	265,00	7.123,00	40,00	44,87
12/2013	213,00	5.347,00	40,00	37,58

Fonte: COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (2013).

A Tabela 17 relaciona a demanda contratada e a medida, informando se está subcontratada, normal ou sobrecontratada, além de informar a modalidade tarifária aplicada e o nível de tensão da unidade consumidora. A Tabela 18 e a Tabela 19 mostram o histórico de faturamento de energia elétrica da empresa, de forma detalhada, em reais. Observe que há pagamento de demanda de ultrapassagem e demanda reativa, elevando o valor da fatura de energia elétrica.

Tabela 17 - Histórico de Demanda Sub e Sobre Contratada.

Mês	Demanda			Características			
	Contratada (kW)	Medida (KW)	Status	Modalidade Tarifária	Nível de Tensão	Possui EAT	Possui Sazonalidade
01/2012	30,00	35,81	Sub	Verde	A4	Não	Não
02/2012	30,00	36,21	Sub	Verde	A4	Não	Não
03/2012	40,00	36,21	Normal	Verde	A4	Não	Não
04/2012	40,00	35,62	Sobre	Verde	A4	Não	Não
05/2012	40,00	35,42	Sobre	Verde	A4	Não	Não
06/2012	40,00	36,40	Normal	Verde	A4	Não	Não
07/2012	40,00	33,65	Sobre	Verde	A4	Não	Não
08/2012	40,00	36,21	Normal	Verde	A4	Não	Não
09/2012	40,00	34,63	Sobre	Verde	A4	Não	Não
10/2012	40,00	35,81	Sobre	Verde	A4	Não	Não
11/2012	40,00	39,36	Normal	Verde	A4	Não	Não
12/2012	40,00	38,76	Normal	Verde	A4	Não	Não
01/2013	40,00	36,40	Normal	Verde	A4	Não	Não
02/2013	40,00	36,40	Normal	Verde	A4	Não	Não
03/2013	40,00	51,95	Sub	Verde	A4	Não	Não
04/2013	40,00	54,12	Sub	Verde	A4	Não	Não
05/2013	40,00	52,93	Sub	Verde	A4	Não	Não
06/2013	40,00	51,56	Sub	Verde	A4	Não	Não
07/2013	40,00	56,08	Sub	Verde	A4	Não	Não
08/2013	40,00	54,12	Sub	Verde	A4	Não	Não
09/2013	40,00	51,16	Sub	Verde	A4	Não	Não
10/2013	40,00	54,12	Sub	Verde	A4	Não	Não
11/2013	40,00	44,87	Sub	Verde	A4	Não	Não
12/2013	40,00	37,58	Normal	Verde	A4	Não	Não

Fonte: COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (2013).

Tabela 18 - Histórico de Faturamento (Parte 1).

Mês	Consumo (R\$)			Demanda (R\$)	Ultrapassagem (R\$)	Demanda Reativa (R\$)		
	Total	Ponta	F Ponta	Total	Total	Total	Ponta	F Ponta
01/2012	791,68	263,12	528,56	323,72	105,04	12,02		12,02
02/2012	1.619,86	718,54	901,32	327,33	112,27	15,83	0,11	15,72
03/2012	1.489,05	708,42	780,63	327,33	-	21,04	0,11	20,93
04/2012	1.521,92	705,38	816,54	322,00	-	25,31	0,11	25,20
05/2012	1.593,18	617,68	975,50	320,19	-	24,28		24,28
06/2012	1.485,29	518,52	966,77	361,60	-	20,23		20,23
07/2012	1.293,26	358,60	934,66	266,66	-	21,27	0,54	20,73
08/2012	1.234,47	284,27	950,20	263,60	-	21,10	0,95	20,15
09/2012	1.289,41	230,00	1.059,41	263,60	-	25,18	1,36	23,82
10/2012	1.400,19	331,24	1.068,95	263,60	-	30,90	1,22	29,68
11/2012	1.654,99	468,93	1.186,06	263,60	-	21,64		21,64
12/2012	1.541,33	383,89	1.157,44	263,60	-	20,14	0,13	20,01
01/2013	1.013,78	217,05	796,73	263,60	-	7,21		7,21
02/2013	1.214,73	258,22	956,51	206,82	-	9,93		9,93
03/2013	1.739,13	624,96	1.114,17	265,98	122,36	31,97	3,63	28,34
04/2013	1.900,72	795,95	1.104,77	277,09	144,58	43,51	5,64	37,87
05/2013	1.221,77	246,31	975,46	271,00	132,40	21,56	0,62	20,94
06/2013	1.428,38	285,62	1.142,76	263,98	118,37	19,68	0,62	19,06
07/2013	1.832,24	591,66	1.240,58	305,93	175,44	25,48	1,24	24,24
08/2013	1.864,25	435,04	1.429,21	297,11	155,03	49,08	2,09	46,99
09/2013	1.771,34	476,47	1.294,87	280,86	122,53	27,26	1,11	26,15
10/2013	1.533,76	312,08	1.221,68	297,11	155,03	27,26	0,97	26,29
11/2013	1.247,45	177,09	1.070,36	246,33	53,47	18,18	-	18,18
12/2013	945,81	142,33	803,48	219,60	-	6,71	-	6,71

Fonte: COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (2013).

Tabela 19 - Histórico de Faturamento (Parte 2).

Mês	Total da Energia (R\$)	PIS/Cofins (R\$)	ICMS (R\$)	Outros Lançamentos (R\$)	Total da Conta (R\$)
01/2012	1.232,46	125,49	554,61	82,47	1.995,03
02/2012	2.075,29	211,26	933,91	41,31	3.261,77
03/2012	1.837,42	187,03	826,85	39,01	2.890,31
04/2012	1.869,23	190,30	841,17	39,01	2.939,71
05/2012	1.937,65	197,23	871,98	-2.898,40	108,46
06/2012	1.867,12	189,03	825,59	41,31	2.923,05
07/2012	1.581,19	159,61	692,49	39,01	2.472,30
08/2012	1.519,17	153,87	672,39	39,01	2.384,44
09/2012	1.578,19	159,52	694,30	39,01	2.471,02
10/2012	1.694,69	171,64	750,22	39,01	2.655,56
11/2012	1.940,23	197,37	871,26	41,31	3.050,17
12/2012	1.825,07	185,53	817,64	41,31	2.869,55
01/2013	1.284,59	117,12	562,21	39,01	2.002,93
02/2013	1.431,48	119,74	625,54	41,31	2.218,07
03/2013	2.159,44	181,30	956,07	-1.907,57	1.389,24
04/2013	2.365,90	198,67	1.047,50	112,67	3.724,74
05/2013	1.646,73	138,25	729,08	41,31	2.555,37
06/2013	1.830,41	134,36	802,50	41,31	2.808,58
07/2013	2.339,09	158,28	1.020,03	41,31	3.558,71
08/2013	2.365,47	160,08	1.031,54	123,37	3.680,46
09/2013	2.201,99	148,99	960,25	41,31	3.352,54
10/2013	2.013,16	136,20	877,90	135,74	3.163,00
11/2013	1.565,43	105,92	682,66	113,32	2.467,33
12/2013	1.172,12	79,04	505,35	39,01	1.795,52

Fonte: COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (2013).

3.5.1.2 Curvas de Carga da Instalação.

Também no site da COPEL, é possível visualizar gráficos de demanda de potência, chamados de curvas de carga, que informam a demanda máxima a cada 15 minutos, durante um período de até dois anos. O intuito da observação das curvas de carga é identificar possíveis picos de demanda, bem como seu causador, para que possam ser tomadas medidas de minimização da demanda de pico. A seguir serão mostradas curvas que variam de meses de observação até alguns dias específicos, buscando identificar um padrão de demanda para ser melhor estudado.

A Figura 13 compreende a demanda da instalação nos meses de julho, agosto e setembro de 2013, onde já é possível identificar algumas características do funcionamento da indústria, como o período de trabalho de cinco dias semanais (cinco dias de demanda alta e dois dias de demanda baixa), em turno único (demanda concentrada em um determinado período) e também maior ou menor produção em determinados dias. Outra característica que pode ser observada é um pico acentuado de demanda em alguns dias, além da demanda contratada, que chega a aproximadamente 56kW no período apresentado.

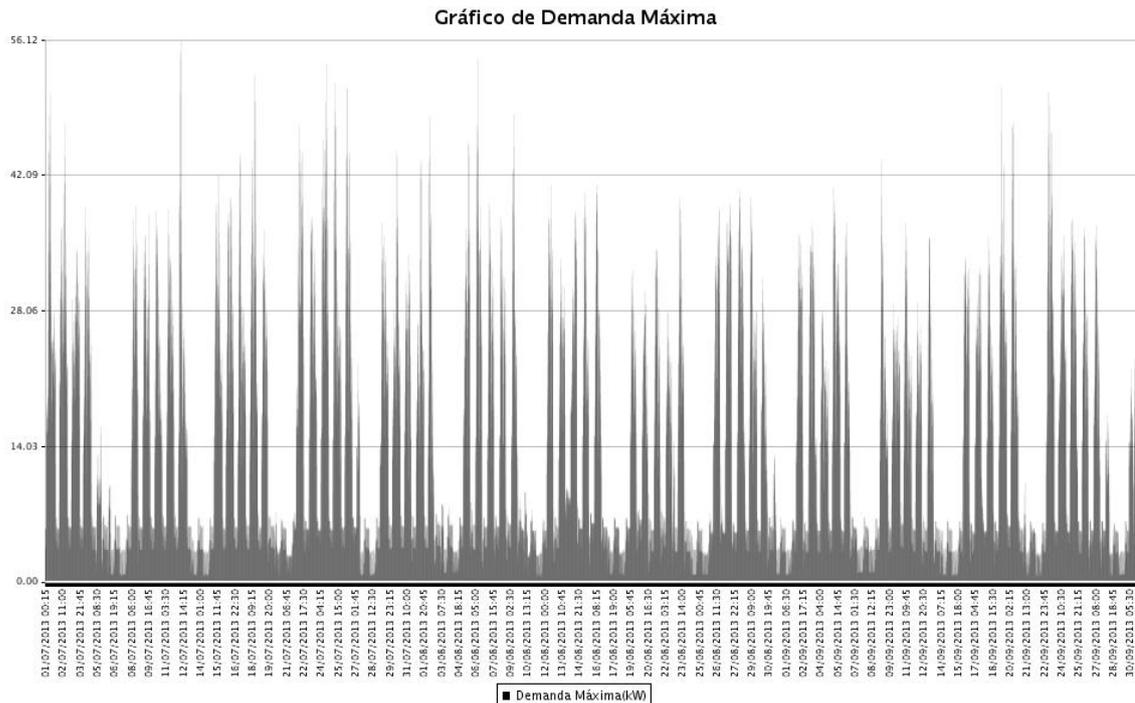


Figura 13 - Curva de Carga dos Meses de Julho, Agosto e Setembro de 2013.
Fonte: COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (2013).

A Figura 14 caracteriza, para melhor visualização, a semana dos dias 15 a 21 de setembro. Em dois dias ocorreu um pico acentuado de demanda, chegando a aproximadamente 51kW, isso indica a presença de pelo menos um elemento consumidor utilizado em dias de alta produção. Foi descrito no item 3.4.1 deste trabalho, que a masseira 1, com 1 motor de 10cv e um motor de 30cv, é acionada somente quando ocorre o uso das duas linhas de produção, a do forno a lenha e do forno a gás, uma vez que nas outras ocasiões a masseira 2 é suficiente e de mais fácil utilização. Sendo assim tem-se a evidência do elemento causador dos picos de demanda identificados.

A Figura 15 e a Figura 16 mostram a curva de carga para os dias 16 e 19 de setembro de 2013, respectivamente, de onde é possível visualizar cada período de um dia de trabalho. Claramente existe uma componente permanente, variando aproximadamente entre 4 a 6 kW, e que provavelmente seja oriunda de iluminação noturna e uma carga intermitente. Ainda nota-se um perfil crescente de consumo, iniciando às 04:30h com o acionamento dos fornos, conforme dito anteriormente, um degrau de carga às 06:00h, na preparação da massa básica, um aumento de consumo às 07:00h, quando as linhas de produção são acionadas, e finalmente às 08:00h o nível mais alto de consumo. Também é identificada uma redução do

consumo por volta das 12:00h, devido ao horário de almoço, voltando posteriormente ao ritmo normal até o fim da jornada de trabalho. Na Figura 16 é bem visível um pico de demanda chegando aos 51kW às 10:30h, que como dito, provavelmente é oriundo do uso da masseira 1.

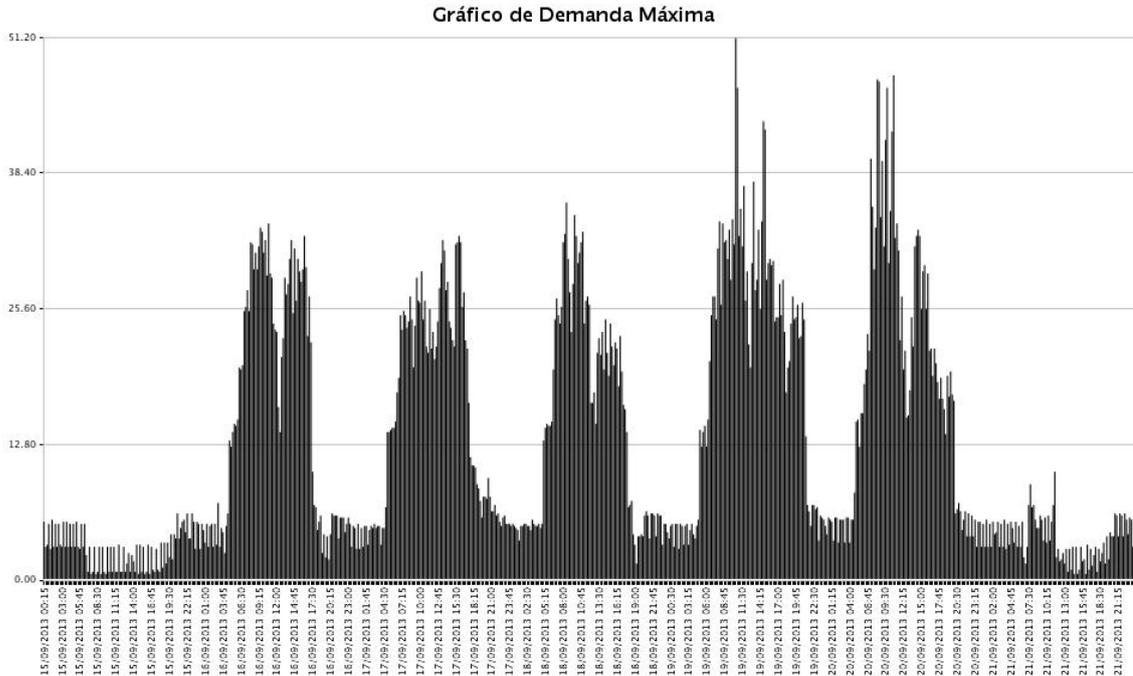


Figura 14 - Curva de Carga da Semana dos Dias 15 a 21 de Setembro de 2013. Fonte: COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (2013).

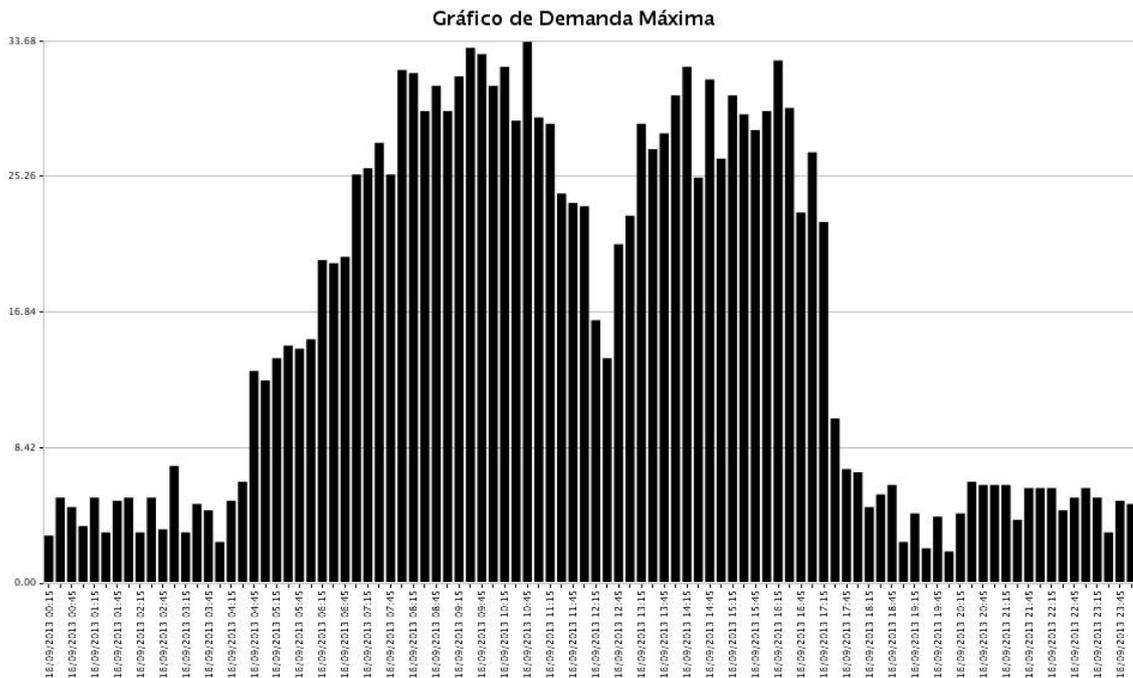


Figura 15 - Curva de Carga do dia 16 de Setembro de 2013. Fonte: COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (2013).

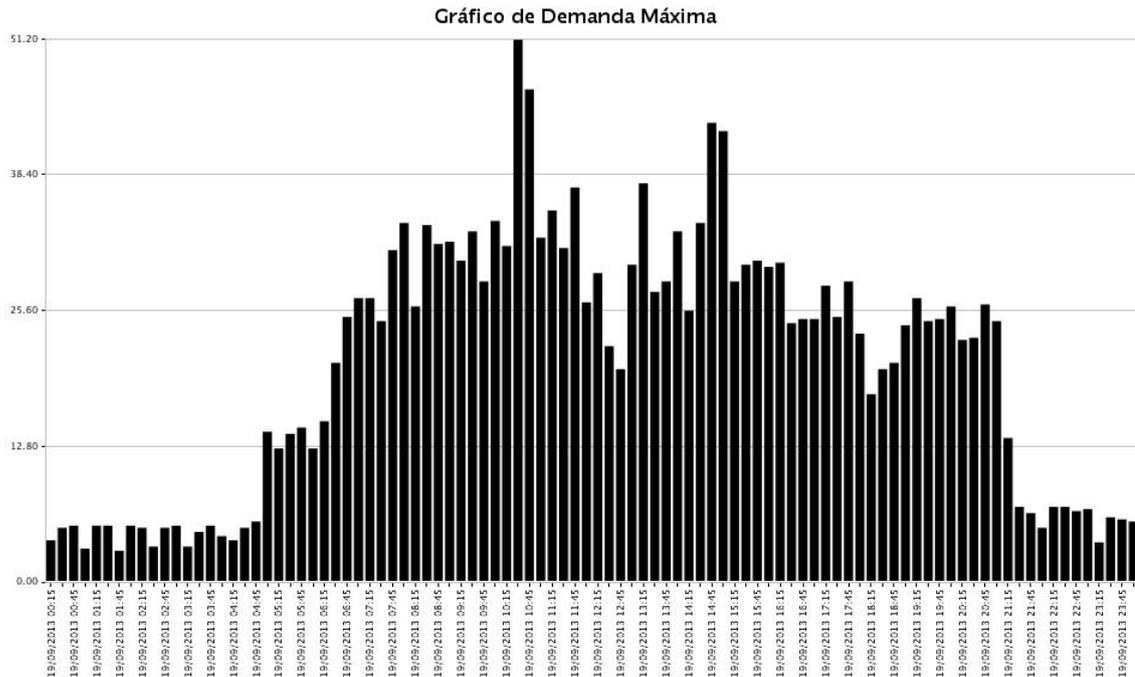


Figura 16 - Curva de Carga do Dia 19 de Setembro de 2013.
Fonte: COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (2013).

3.5.1.3 Gráficos do Fator de Potência

Ainda é possível visualizar no site da COPEL os gráficos do Fator de Potência da instalação (FP), com o mesmo intervalo de amostragem, de 15 minutos. Nestes gráficos podem-se visualizar os momentos em que o FP fica abaixo de 0,92 indutivo ou capacitivo, que é o mínimo exigido sem que ocorra a cobrança de multas por excesso de demanda reativa. A Figura 17 apresenta o fator de potência para a semana dos dias 15 a 21 de setembro de 2013, de onde se vê que em todo dia de trabalho ocorre excesso de demanda reativa, pois o FP fica abaixo de 0,92 indutivo, chegando a atingir 0,8 em alguns horários. Estes números indicam a necessidade de correção do fator de potência da instalação, seja de forma localizada ou geral, de acordo com a alternativa que se mostrar mais viável.

A Figura 18 apresenta o fator de potência para o dia 16 e a Figura 19 para o dia 19 do mesmo mês.

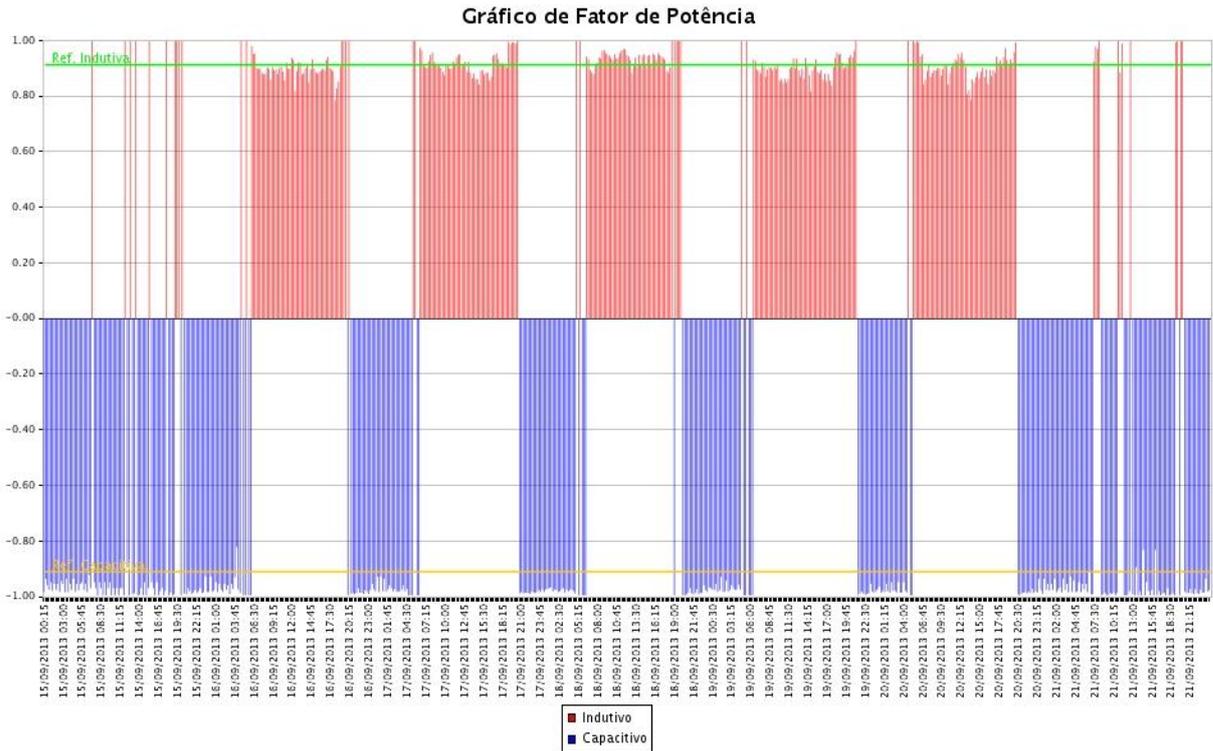


Figura 17 - Gráfico do Fator de Potência para a Semana de 15 a 21 de Setembro de 2013.
 Fonte: COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (2013).

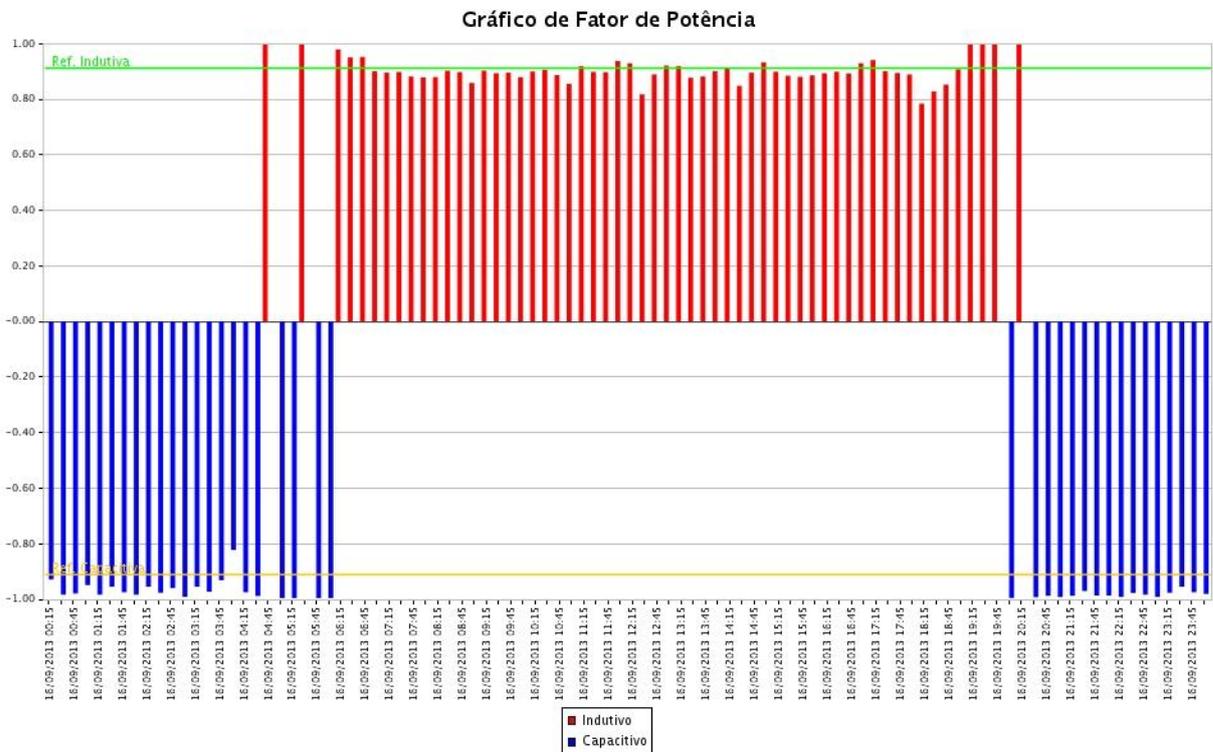


Figura 18 - Gráfico do Fator de Potência para o dia 16 de Setembro de 2013.
 Fonte: COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (2013).

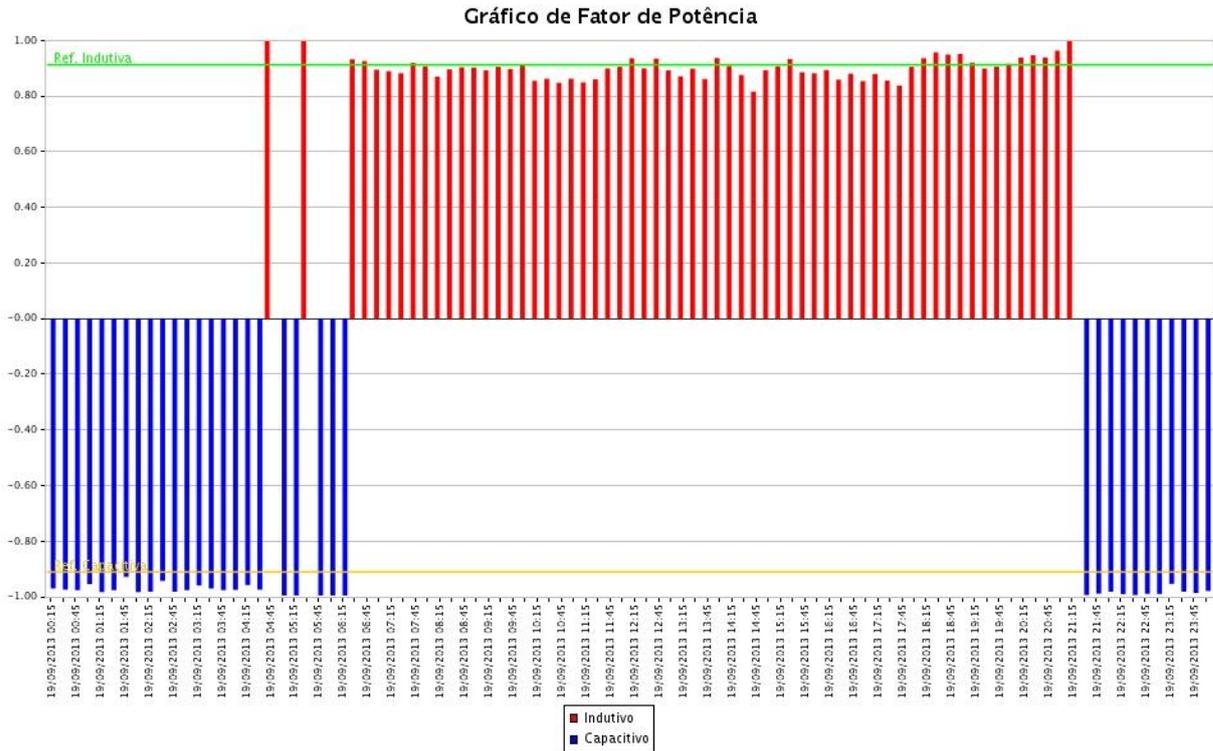


Figura 19 - Gráfico do Fator de Potência para o Dia 19 de Setembro de 2013.
Fonte: COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (2013).

3.5.1.4 Gráfico de Demanda Ativa e Reativa

Para complementar a caracterização do consumo total de energia elétrica da instalação, visto pela concessionária, também foram retirados do site da COPEL gráficos que mostram ao mesmo tempo a demanda ativa e reativa da instalação, embora os valores possam ser calculados a partir dos gráficos já apresentados. Para tal foram escolhidos os dias 16 e 19 de setembro de 2013, apresentados na Figura 20 e na Figura 21 a seguir, respectivamente.

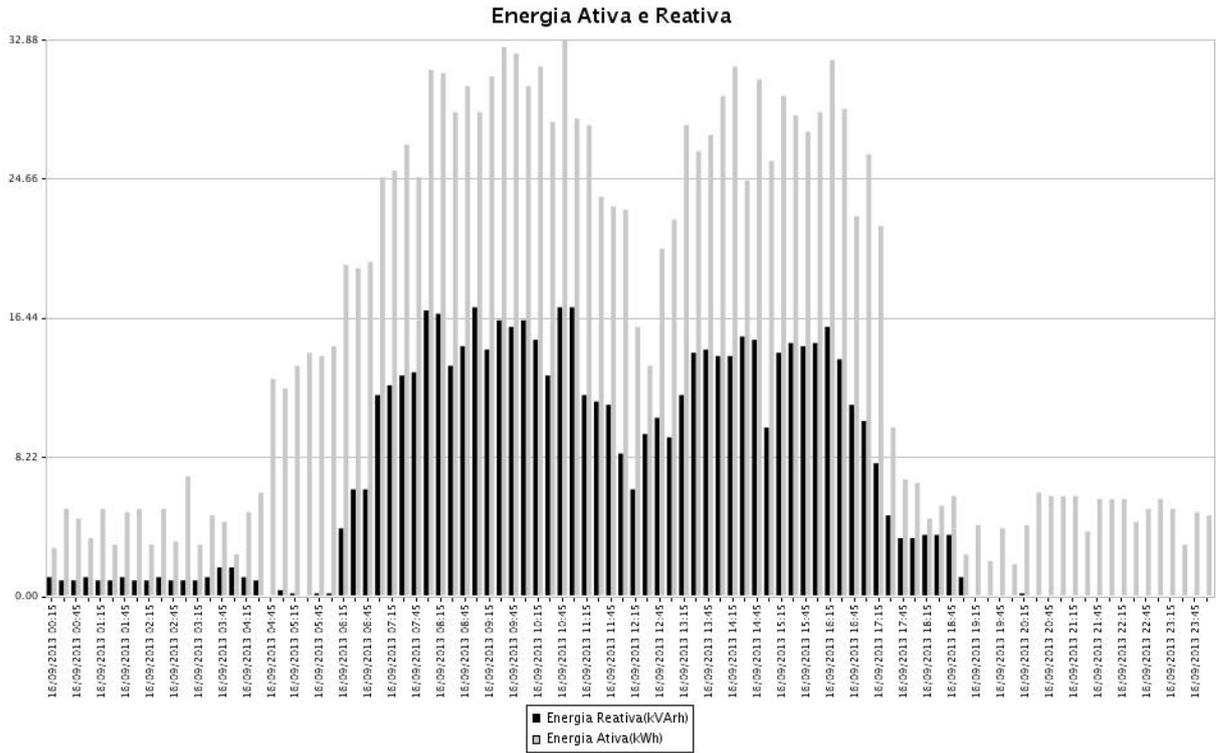


Figura 20 - Demanda Ativa e Reativa do Dia 16 de Setembro de 2013.
Fonte: COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (2013).

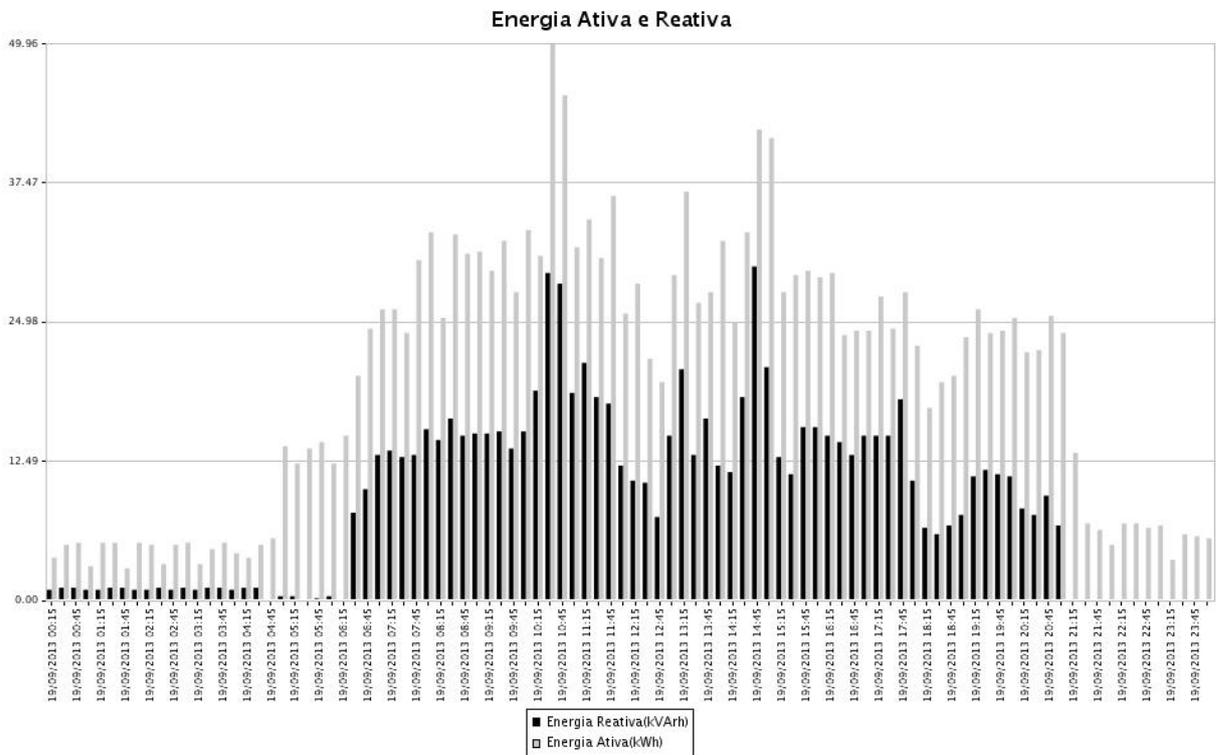


Figura 21 - Demanda Ativa e Reativa do Dia 19 de Setembro de 2013.
Fonte: COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (2013).

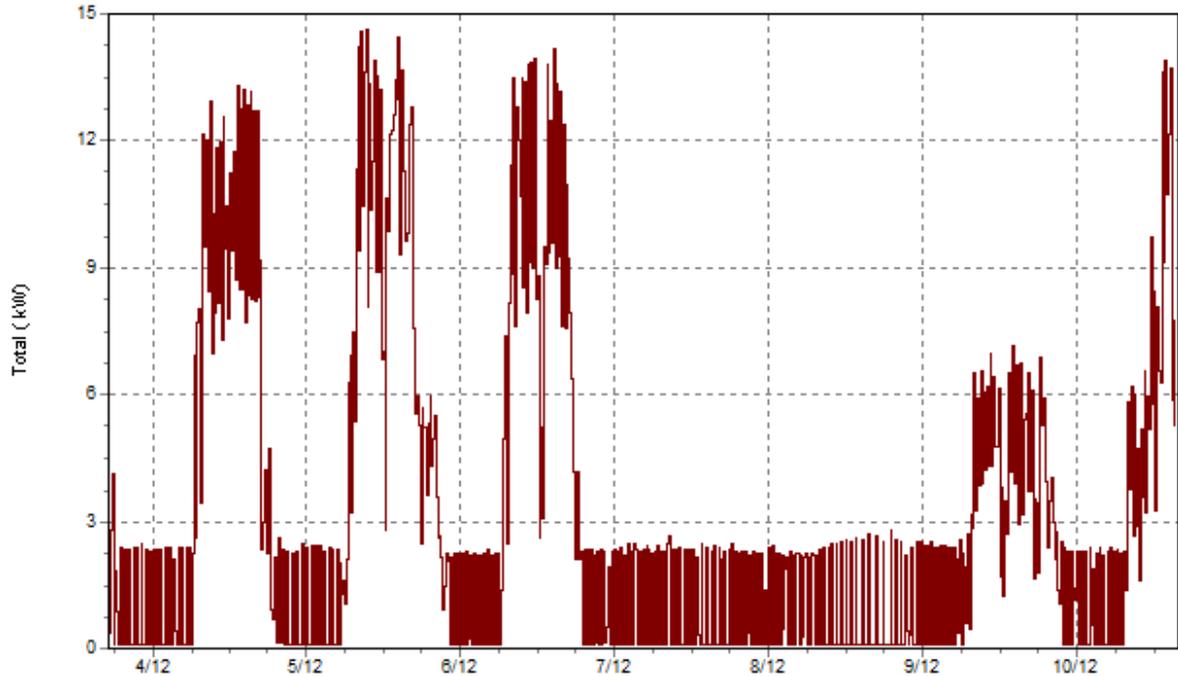


Figura 23 - Potência Ativa Medida Durante a Semana dos Dias 04 à 10 de Dezembro de 2013.
Fonte: Autoria Própria.

A Figura 24 mostra a curva de potência reativa, para o mesmo período de tempo da curva anterior, onde se vê um pico significativo em relação a potência ativa, de aproximadamente 9,5kvar indutivo, o que evidencia a necessidade de correção do fator de potência neste ponto da instalação.

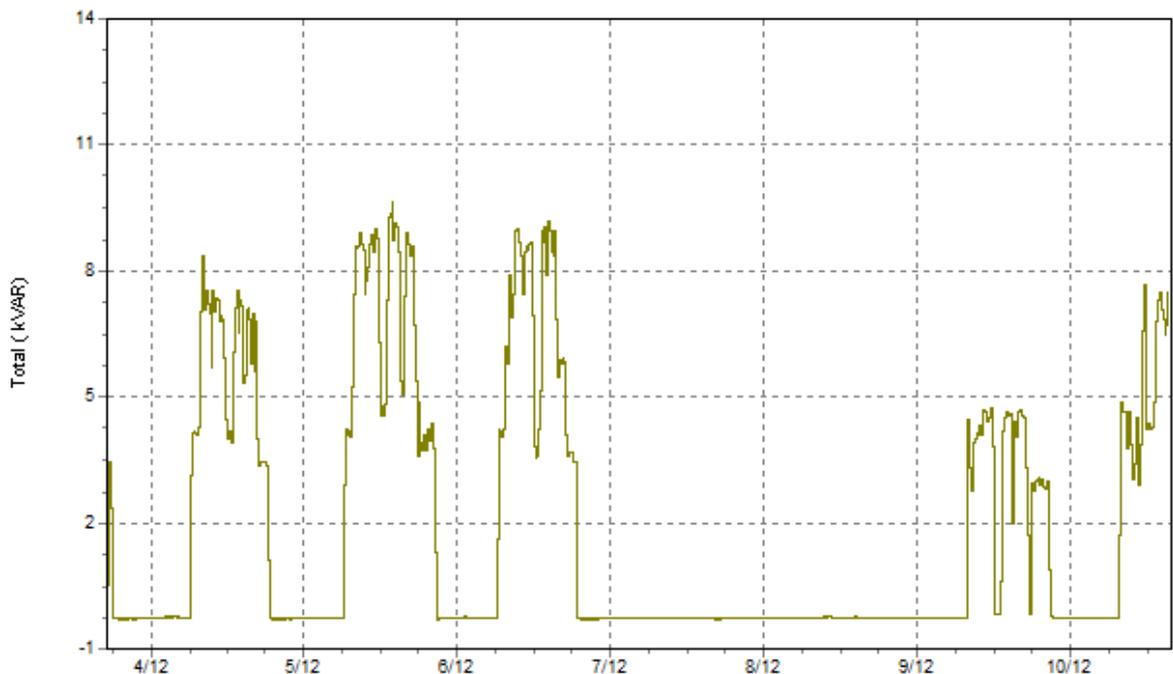


Figura 24 - Potência Reativa Medida Durante a Semana dos Dias 04 à 10 de Dezembro de 2013.
Fonte: Autoria Própria.

A Figura 25 mostra a curva do fator de potência para a semana em questão. Nota-se que o FP fica praticamente todo o tempo menor que 0,8, muito abaixo de 0,92, que é o mínimo exigido pela concessionária para não haver cobrança de reativos excedentes. Mas vale lembrar que esta não é a curva de fator de potência observada pela concessionária, pois é local do quadro de cargas da produção. Para a curva de FP da instalação vide Figura 17.

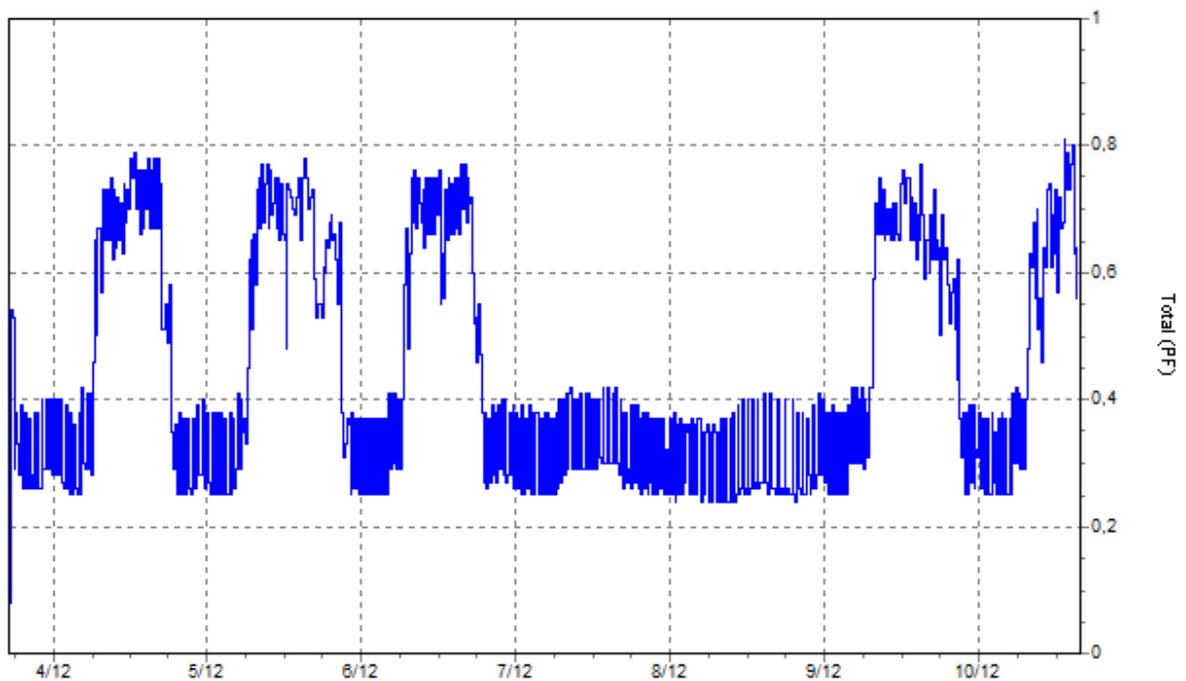


Figura 25 - Fator de Potência Medido Durante a Semana dos Dias 04 à 10 de Dezembro de 2013.
Fonte: Autoria Própria.

3.5.2.2 Tensão e Corrente nas Fases

Também resultante das medidas obtidas com o analisador de energia, tem-se os gráficos de tensão e corrente nas fases, que pode ser visto na Figura 26, onde apresenta um perfil de tensão praticamente constante, com pequenas variações, e a corrente acompanhando o regime de trabalho da indústria. Não são perceptíveis variações de tensão em concordância com os picos de corrente, o que indica não haver perdas Joules significativas devido a queda de tensão no circuito alimentador do quadro. As pequenas variações identificadas podem ser atribuídas a flutuações de tensão na rede da concessionária.

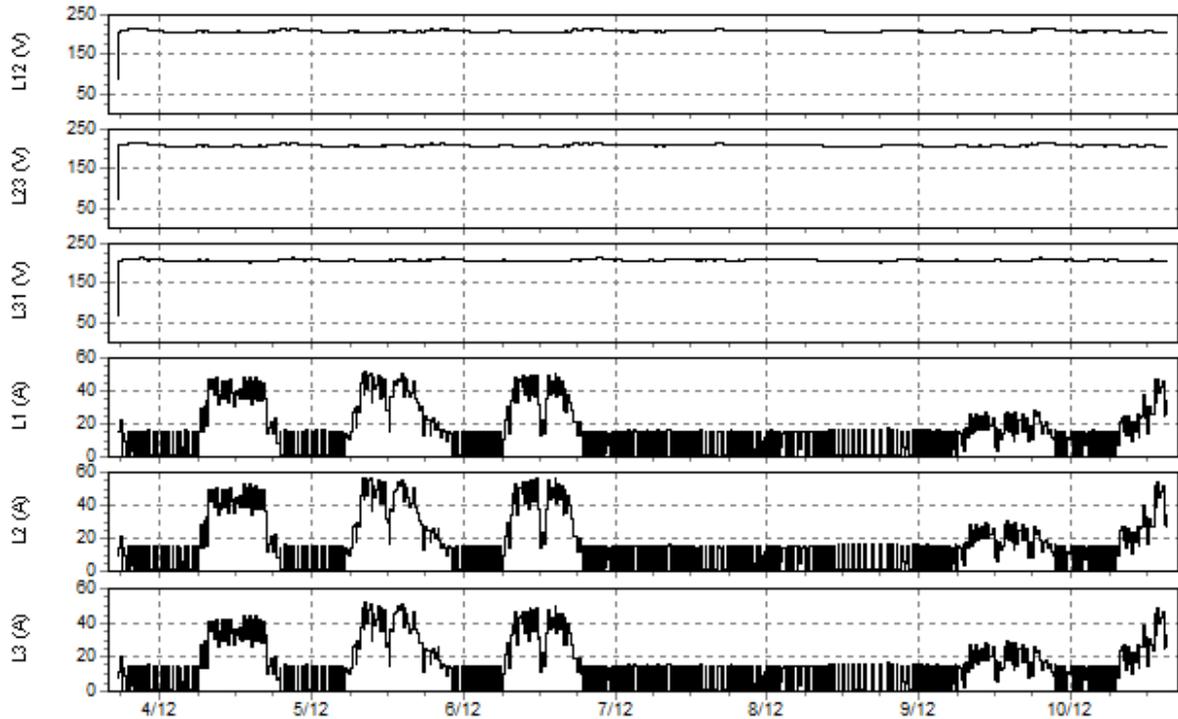


Figura 26 - Tensão e Corrente nas Fases do Barramento Geral do Quadro de Cargas da Produção.

Fonte: Autoria Própria.

Na Figura 27, Figura 28 e Figura 29 encontram-se os registros estatísticos de tensão nas fases do barramento geral do quadro de cargas em questão, onde é observado um perfil de tensão em torno de 208,8V para a fase AB, 209,3 para a fase BC e 207,7 para a fase CA. Este dado mostra um desvio de mais de 10V em relação a tensão nominal de 220V, chegando a aproximadamente 5%, porém ainda se mantém dentro da faixa de tensão de atendimento adequada, de acordo com AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (2012, p. 30), no módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST).

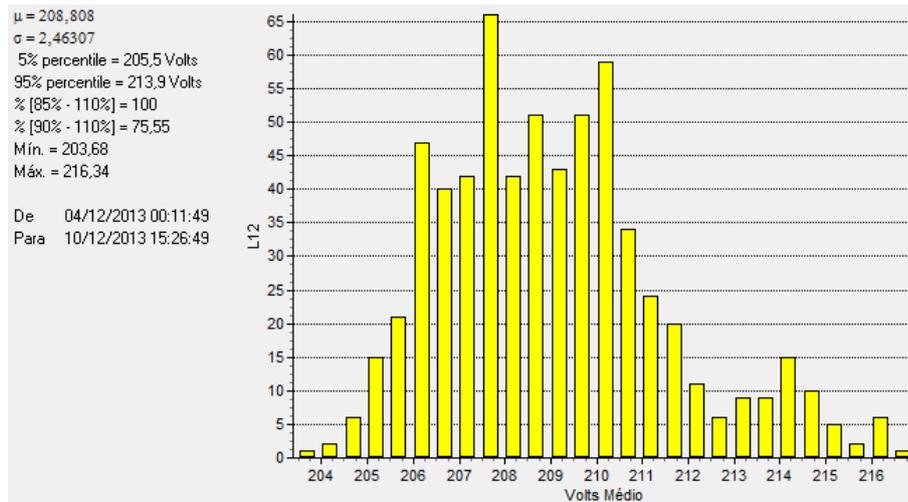


Figura 27 - Perfil da Tensão na Fase AB.
Fonte: Autoria Própria.

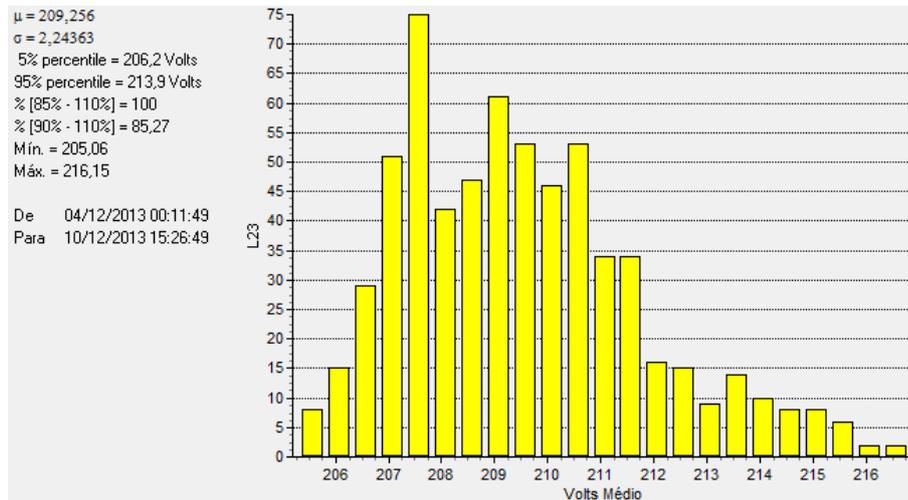


Figura 28 - Perfil da Tensão na Fase BC.
Fonte: Autoria Própria.

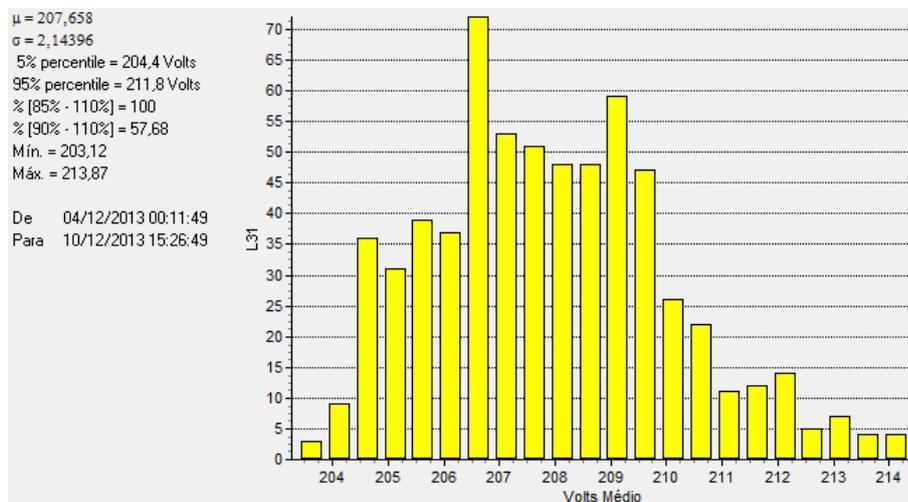


Figura 29 - Perfil da Tensão na Fase CA.
Fonte: Autoria Própria.

4 PLANO DE AÇÕES PARA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Neste capítulo serão propostas medidas a serem adotadas pelos responsáveis da empresa buscando diminuir os desperdícios de energia elétrica e também reduzir custos com este insumo. A viabilidade econômica da adoção de cada medida fica a cargo da empresa, porém as condições técnicas para tal são apresentadas no texto e devem ser seguidas.

4.1 REDISTRIBUIÇÃO DE CARGAS

4.1.1 Cargas Secundárias

Como foi visto na Tabela 13 do Capítulo 3, existem algumas cargas que são de importância secundária, podendo ser nomeadas de cargas não-críticas, como um compressor de ar, ferramentas, um moedor de bolachas, um elevador utilizado para transporte dos ingredientes ao segundo andar do barracão da produção e demais equipamentos de escritório e cozinha. Estas cargas não são relacionadas diretamente com a linha de produção, embora algumas tenham funcionamento permanente, como os equipamentos de escritório e o compressor. As demais cargas devem ser utilizadas em horários alternativos, onde não exista um grande consumo de energia por parte da instalação ou em concordância com o não funcionamento de alguma carga significativa, como as maseiras.

Uma maneira para que isso ocorra é utilizar o elevador para abastecimento de matéria prima no andar superior somente quando as maseiras estiverem desligadas, o que é possível, visto que os funcionários que realizam estes trabalhos são os mesmos. Da mesma forma deve ser o procedimento com o moedor de bolachas que fica no andar superior, utilizado para reaproveitamento de bolachas fora dos padrões em matéria prima. Já as ferramentas, como a furadeira e o esmeril, são pouco potentes, o que permite o uso livre sempre que necessário, pois não têm importância significativa no que diz respeito à demanda de energia.

4.1.2 Cargas Principais

Podendo ser chamadas de cargas críticas, pois estão em direta relação com o processo contínuo de fabricação de bolachas e biscoitos, as cargas principais, relacionadas na Tabela 14 do Capítulo 3, possuem funcionamento permanente, com exceção das masseiras, que possuem funcionamento intermitente. É neste ponto que pode ser feita uma das alterações mais significativas, pois são equipamentos de grande porte e concentram uma grande demanda de potência quando acionados. Apesar de serem equipamentos essenciais, é necessário que haja o uso escalonado entre a masseira 1 e a masseira 2, pois como vimos nos gráficos de demanda obtidos pelo site da concessionária de energia e por considerações já feitas no texto, as duas masseiras trabalhando juntas são responsáveis por um pico de demanda em alguns dias de cada mês e conseqüentemente a ultrapassagem da demanda contratada, resultando em multas na fatura de energia.

Isso deve ser repassado aos funcionários responsáveis e levado em consideração na programação de trabalho da fábrica, buscando garantir a produção com o uso de apenas um forno por vez, porém se isso não for possível, assegurar o uso de somente uma das duas masseiras por vez, alternando a operação de uma e outra.

4.2 CARGAS SUPERDIMENSIONADAS

É notável que há uma diferença significativa entre a carga instalada e a demanda de potência da instalação. Considerando apenas os equipamentos de maior porte, que são as masseiras, os motores instalados podem estar superdimensionados. Uma medida feita em um dos motores de 15cv (11040W) da masseira 1 indicou uma corrente de linha de 13,7A, com a masseira funcionando com carga, de onde é feito o cálculo da potência consumida a seguir, considerando a tensão aproximada de 207V e as fases balanceadas, conforme medidas no quadro de cargas da produção:

$$S_{3\phi} = \sqrt{3}V_L I_L = \sqrt{3} * 207 * 13,7 = 4911,92VA$$

onde $S_{3\phi}$ é a potência aparente trifásica (em VA), V_L é a tensão de linha (em V) e I_L é a corrente de linha (em A).

Isso demonstra a clara sobra de potência dos motores da masseira 1, o que proporcionou um custo de aquisição da máquina mais alto e têm como principal efeito o baixo fator de potência, conforme relaciona a Figura 4.

Sendo assim seria possível a substituição dos motores instalados por motores menores, onde motores de 7,5cv (5520W) já seriam suficientes, porém esta medida é difícil de ser executada, precisando de adaptação nas máquinas e proporcionando gastos desnecessários, considerando que o problema do baixo fator de potência pode ser contornado pela instalação de bancos de capacitores, o que será discutido no próximo item.

Não foram realizadas medidas na masseira 1 devido a dificuldade de encontrá-la em uso.

4.3 CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

As técnicas de correção do fator de potência foram vistas e sintetizadas pela Figura 5 e as medições realizadas mostram uma concentração de demanda de energia reativa no quadro de cargas da produção, até o montante de aproximadamente 9,5kvar, conforme a Figura 24, porém não houve no período de medição o acionamento da masseira 1, indicando que este valor pode ser ainda maior. Levando em consideração que só há a cobrança de excesso de reativos quando o FP fica abaixo de 0,92 indutivo, a instalação de um banco de capacitores automático capaz de suprir a demanda reativa medida já garante a manutenção do FP nos padrões para uma demanda de reativos ainda maior, além do que no ponto de medição da concessionária o FP é mais elevado, devido à contribuição das cargas de alto fator de potência, como a iluminação.

Sintetizando, sugere-se a instalação de um banco de capacitores trifásico de aproximadamente 9,5kvar no barramento geral do quadro de cargas da

produção, com atuação através de um controlador automático de fator de potência, facilmente encontrado em empresas especializadas.

4.4 AUMENTO DA EFICIÊNCIA DA ILUMINAÇÃO

Buscando aumentar a eficiência na iluminação dos ambientes da indústria, algumas medidas podem ser adotadas e serão detalhadas no decorrer do texto.

4.4.1 Novo Cálculo Luminotécnico e Substituição de Luminárias

O cálculo luminotécnico será realizado para os ambientes de maior extensão, que são os barracões da produção (somente andar inferior) e o barracão da expedição, buscando verificar se o sistema de iluminação existente é apropriado ou não.

4.4.1.1 Cálculo Luminotécnico do Barracão da Produção

O cálculo seguirá o procedimento apresentado no item 2.4.4 deste trabalho.

1º Passo – Caracterização do ambiente:

- O barracão da produção possui 1179,15m² (20m de largura e 60m de comprimento, sendo descontada a área do elevador), com um pé direito de aproximadamente 8 metros na maior parte, e de aproximadamente 4m nos 441,70m² sob o segundo andar;
- As luminárias são montadas a 4 metros de altura, nas paredes e penduradas no teto, e o plano de trabalho é a 1,2 metros do chão em sua maioria;
- As paredes são brancas, o chão e o teto cinzas;

- A atividade exercida requer trabalho visual limitado, correspondendo a uma iluminância média de 300 lux;
- Existe iluminação natural através de material transparente no teto e na parte superior lateral do barracão.

2º Passo – Determinação do índice do recinto:

$$k = \frac{c \times l}{h \times (c + l)} = \frac{1179,15}{2,8 \times (60 + 20)} = 5,26$$

3º Passo – Determinação do Fator de Utilização (FU):

As lâmpadas utilizadas são do tipo HQI-T 400W/D, de multivapor metálico da marca OSRAM[®], que possuem um fator de utilização igual a 0,60 (OSRAM, p. 9).

4º Passo – Fator de Perdas Luminosas (FPL):

Devido ao ambiente limpo e considerando um período de manutenção de 7500h, de acordo com a Tabela 6, o FPL é igual a 0,88.

5º Passo – Iluminância Média (E_m):

Para atividades com trabalho visual limitado, a Iluminância Média é de 300 lux, de acordo com a Tabela 7.

6º Passo – Número de Luminárias (N):

$$N = \frac{E_m \times A}{n \times \psi \times FU \times FPL} = \frac{300 \times 1179,15}{1 \times 34000 \times 0,60 \times 0,88} \cong 20$$

Como visto na Tabela 12, o número de luminárias instaladas no barracão da produção é igual a 19, ficando muito próximo do valor de 20 luminárias obtido pelo cálculo luminotécnico realizado, o que não indica necessidade de alteração na instalação da iluminação, sendo validado o projeto original.

4.4.1.1 Cálculo Luminotécnico do Barracão da Expedição

1º Passo – Caracterização do ambiente:

- O barracão da produção possui 1325,00² (25m de largura e 53m de comprimento), com um pé direito de aproximadamente 6 metros;
- As luminárias são montadas a 4 metros de altura, e o plano de trabalho é variável;
- As paredes são marrons (tijolo a vista), o chão e o teto cinzas;
- A atividade exercida é de trabalhos não contínuos e de transição, correspondendo a uma iluminância média de 150 lux.

2º Passo – Determinação do índice do recinto:

$$k = \frac{c \times l}{h \times (c + l)} = \frac{1325}{4 \times (25 + 53)} = 4,25$$

3º Passo – Determinação do Fator de Utilização (FU):

As lâmpadas utilizadas são do tipo F96T12/D/HO, fluorescentes da marca PHILIPS®, que possuem um fator de utilização igual a 0,40 (LUMISOFT).

4º Passo – Fator de Perdas Luminosas (FPL):

Devido ao ambiente limpo e considerando um período de manutenção de 7500h, de acordo com a Tabela 6, o FPL é igual a 0,88.

5º Passo – Iluminância Média (E_m):

Para atividades com trabalho visual normal, a Iluminância Média é de 150 lux, de acordo com a Tabela 7.

6º Passo – Número de Luminárias (N):

$$N = \frac{E_m \times A}{n \times \psi \times FU \times FPL} = \frac{150 \times 1325}{2 \times 7800 \times 0,40 \times 0,88} \cong 36$$

Como visto na Tabela 12, o número de luminárias instaladas no barracão da produção é igual a 38, contando as dependências da administração, recepção, sala de reuniões e refeitório. O número de luminárias obtido é semelhante, e levando em consideração que é requerido um nível maior de iluminação nos ambientes de escritório, o número de 36 luminárias obtido está de acordo com sistema de iluminação existente, não necessitando alterações na instalação da iluminação.

4.4.2 Substituição de Reatores Eletromagnéticos

Os reatores eletromagnéticos apresentam perdas significativas, em torno de 10 a 15% da energia consumida pelas lâmpadas, conforme discutido anteriormente, e a substituição dos mesmos por reatores eletrônicos oferece um bom potencial de redução no consumo de energia.

Por exemplo, de acordo com a Tabela 4, para reatores da marca Philips® de 2x110W as perdas são de 32W. Em um conjunto de 38 lâmpadas no barracão da expedição, as perdas podem chegar a 1216W se todas estiverem em funcionamento, o que representa aproximadamente 214kWh de energia perdida em 22 dias de um mês com 8 horas de funcionamento diárias. Este valor pode ser menor devido ao menor número de lâmpadas costumeiramente acesas no barracão, mas ainda assim é um valor alto.

Já no barracão da produção o total da iluminação é de 9460W e os aproximadamente 15% de potência perdida representa 1419W, o que gera um montante de aproximadamente 250kWh em um mês.

Somando ainda a iluminação externa, 3600W, com um regime de trabalho de 12 horas por dia, 30 dias por mês e representa 194kWh de perdas, chegamos a um total de 658kWh, se as lâmpadas respeitarem os regimes de funcionamento utilizados nos cálculos.

Mesmo com um menor número de lâmpadas ligadas em cada ambiente, o valor obtido continuaria alto, sendo que a indicação de substituição dos reatores eletromagnéticos por reatores eletrônicos é válida, onde os custos do investimento se diluirão ao longo dos anos e a empresa estará colaborando com o aumento da eficiência energética na fabricação de seus produtos.

4.4 ANÁLISE TARIFÁRIA E READEQUAÇÃO DO CONTRATO DE DEMANDA

Este é um item importante que deve ser tratado com cuidado, sendo que a escolha da tarifa adequada e do contrato de demanda correto pode resultar em economia direta na fatura de energia.

Antes de serem especificados valores de contrato e modalidades tarifárias, será feita uma projeção da curva de carga da indústria após a adoção das medidas propostas.

4.4.1 Curva de Carga Atual e Curva de Carga Prevista

Como parâmetro para a curva de carga atual, faz-se necessário considerar um dia em que houve o uso das duas maseiras e o consequente pico de demanda, podendo ser representada pelo dia 19 de Setembro de 2013, que novamente será exposto aqui na Figura 30.

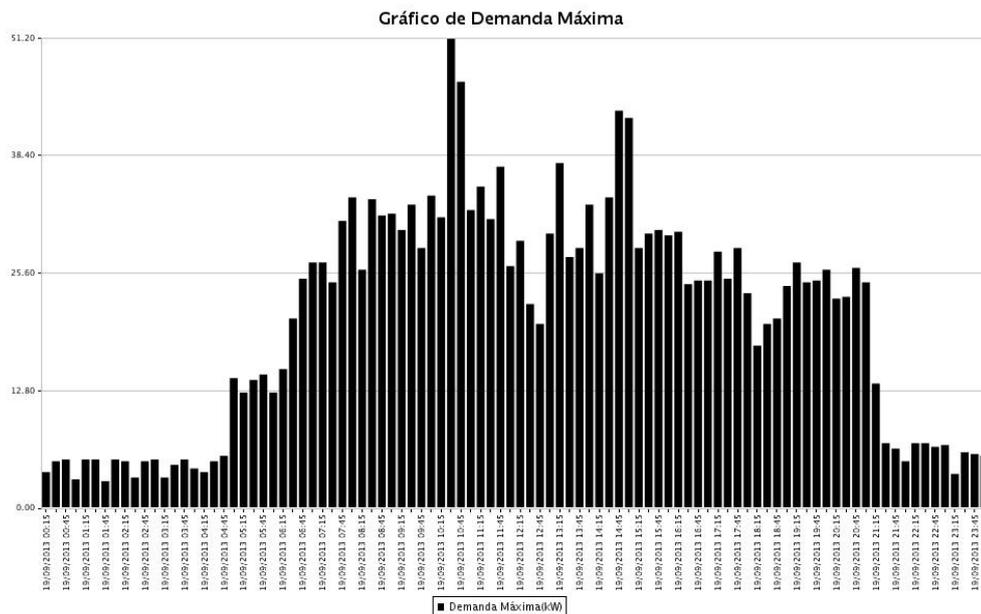


Figura 30 - Curva de Carga Atual.
Fonte: COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (2013).

Neste caso, para o dia 19, o fator de carga é calculado através da demanda média e demanda máxima. A demanda média é calculada somando todos

os intervalos de amostragem de potência disponíveis no site da concessionária e dividindo pelo número de intervalos. A maneira mais prática de se fazer isso é copiar os dados para um programa matemático e realizar o somatório, de onde foi obtida a demanda média de 20,46kW e a demanda máxima observada de 51,17kW. Assim o fator de carga atual é calculado da seguinte forma:

$$FC_{atual} = \frac{20,46}{51,17} = 0,3998$$

Através da adoção das medidas em relação as masseiras o pico de demanda será eliminado, e com a substituição dos reatores eletromagnéticos uma parcela de pelo menos 1kW de potência será eliminada durante o dia (se cerca de metade das lâmpadas instaladas forem ligadas), e de 0,5kW durante a noite se todas as lâmpadas externas permanecerem acesas.

Desta forma podemos caracterizar como curva de carga prevista, um dia de produção normal, diminuídas as parcelas correspondentes as perdas nos reatores eletromagnéticos. O dia 05 de Dezembro de 2013, da Figura 31 é uma boa representação, se forem diminuídas as perdas nos reatores.

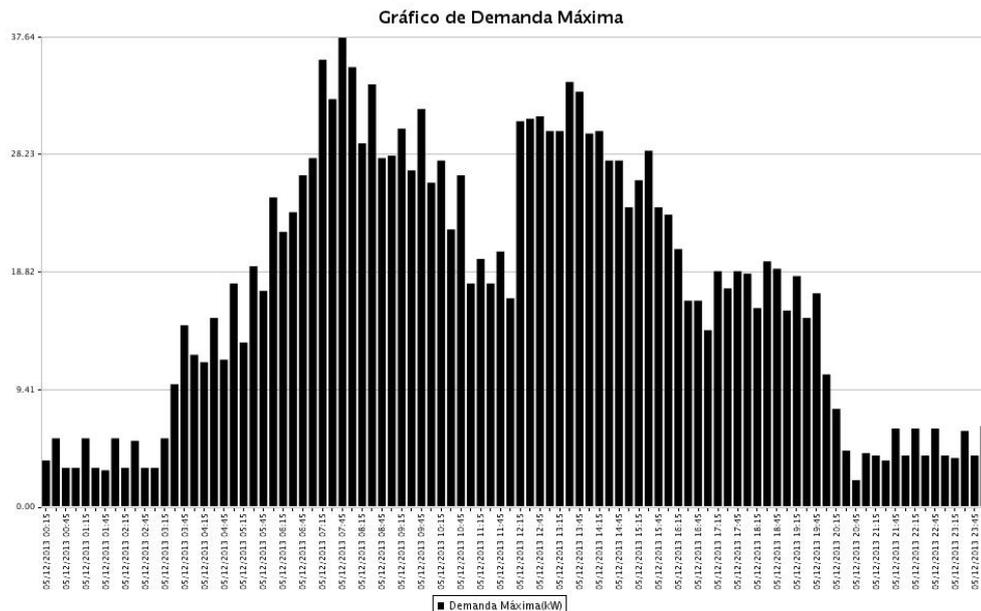


Figura 31 - Curva de Carga Prevista.
Fonte: COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (2013).

Neste caso a potência máxima deverá chegar a até 38kW e a potência média deve ser igual a obtida anteriormente, mas sendo reduzida a parcela de potência dos reatores, como a seguir:

$$P_{m\ prev} = P_{m\ atual} - \left(\frac{P_{ri} \times t_{on\ i} + P_{re} \times t_{on\ e}}{24h} \right) = 20,46 - \left(\frac{1,0 * 8 + 0,5 * 12}{24h} \right) = 19,88kW$$

onde $P_{m\ prev}$ é a potência média prevista (em kW), $P_{m\ atual}$ é a potência média atual (em kW), P_{ri} é a perda nos reatores internos, $t_{on\ i}$ é o tempo de funcionamento da iluminação interna (em h), P_{re} é a perda nos reatores externos, $t_{on\ e}$ é o tempo de funcionamento da iluminação externa (em h).

O fator de carga para a situação prevista é calculado abaixo:

$$FP_{previsto} = \frac{19,88}{38} = 0,5232$$

Percebe-se um aumento significativo no fator de carga da instalação, podendo passar de 0,3998 para 0,5232 a partir da adoção das medidas indicadas e certamente terá como resultado a redução de custos com energia elétrica.

4.4.2 Modalidade Tarifária e Contrato de Demanda

A escolha da modalidade tarifária pode ser auxiliada através do site da COPEL, onde pode ser obtido o valor⁵ simulado da fatura dos meses anteriores em cada modalidade tarifária disponível ao cliente. Os valores das faturas obtidos para os meses do ano de 2013 serão apresentados na Tabela 20.

⁵ “A simulação de faturas não inclui os valores referentes às taxas, impostos cobrados e energias temporárias (PIS, COFINS, ICMS, Taxa de Iluminação Pública, ETIP, ETSD, etc).” (COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, 2013).

Tabela 20 - Valores da Simulação das Faturas para o Ano de 2013.

Mês	Fatura para cada Modalidade Tarifária (R\$)		
	Convencional Binômia	Horária Azul	Horária Verde
01/2013	1.549,94	1.737,64	1.134,02
02/2013	1.923,10	2.104,59	1.554,21
03/2013	2.891,19	3.007,61	2.336,57
04/2013	3.054,21	3.212,39	2.549,07
05/2013	2.680,28	2.768,27	1.799,60
06/2013	2.807,88	2.878,59	2.002,27
07/2013	3.105,76	3.256,85	2.356,04
08/2013	3.167,93	3.272,94	2.365,53
09/2013	2.851,33	2.939,07	2.202,05
10/2013	2.899,81	3.000,26	2.013,23
11/2013	2.188,45	2.177,21	1.565,45
12/2013	1.619,74	1.799,56	1.172,14

Fonte: COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (2013).

Com os resultados obtidos é possível ver que em todas os meses a Modalidade Tarifária Horária Verde resultou em faturas menores, sendo indicada a permanência da unidade consumidora nesta modalidade, uma vez que já pertence à mesma.

Com relação ao contrato de demanda, se as medidas indicadas forem adotadas, aconselha-se manter o contrato de demanda em 40kW, pois não haverá mais demanda de ultrapassagem e ainda haverá uma margem para pequenas inserções de cargas.

Porém, se não for possível o uso escalonado das masseiras, indica-se aumentar o contrato de demanda para 50kW, pois com a margem de 5% de ultrapassagem permitida será suficiente para picos de demanda de até 52,5kW, evitando a multa correspondente a ultrapassagem da demanda, que é de duas vezes o valor da tarifa normal.

5 PROPOSTA DE INSTALAÇÃO DE UM FORNO ELÉTRICO COM MODULAÇÃO DE POTÊNCIA

Neste capítulo será descrita uma proposta para instalação de um forno elétrico na indústria em questão, tendo em vista que a empresa pretende ampliar a sua produção e um novo forno se faz necessário, de onde a energia elétrica como fonte de calor é uma alternativa a ser considerada. A modulação de potência do forno, como já foi dito, consiste na redução da tensão entregue a seus terminais, sendo que a forma de realização é apresentada aqui.

5.1 CÁLCULO DA POTÊNCIA EQUIVALENTE DE UM FORNO ELÉTRICO

O cálculo da potência seguirá o procedimento descrito no item 2.5.2 deste trabalho. Os dados obtidos para os cálculos são:

- Calor específico dos biscoitos: 3,1KJ/Kg.K, valor aproximado pelo calor específico do pão⁶, determinado por Carzino (2006 apud Matz, 1960, p. 46). Para utilização nos cálculos é feita a seguinte transformação de unidades:

$$c = \frac{3,1KJ}{1Kg.K} \times \frac{1kW.s}{1KJ} \times \frac{1h}{60min} \times \frac{1min}{60s} \times \frac{1000Kg}{1t} \times \frac{1K}{1^{\circ}C} = 0,8611 \frac{kWh}{t.^{\circ}C}$$

- Variação de Temperatura: 225°C, temperatura final de 250°C menos a temperatura ambiente de 25°C;
- Peso do material: 0,0346t, ou 34,6Kg, massa de biscoitos mantida no interior do forno;
- Rendimento do Forno: 0,7, adotado com base na faixa normal de rendimento para fornos, de 0,6 a 0,8, segundo Filho (2001, p. 308);
- Tempo de cozimento: 0,1h, ou 6 minutos;
- Tensão de suprimento: 220V;

⁶ Não encontrou-se bibliografia que informasse o calor específico de biscoitos e sua determinação se mostrou inviável, portanto foi realizada esta aproximação.

- Material do fio resistor: Nicromo V, escolhido;
- Resistividade do fio resistor: 1,0806 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, Tabela 10;
- Carga específica superficial: 5 W/cm^2 , Tabela 8;
- Número de circuitos resistores em paralelo: 1 circuito.

Inicialmente calcula-se a potência elétrica do forno necessária:

$$P_f = \frac{E \times P_m}{\eta \times T} = \frac{c \times \Delta T \times P_m}{\eta \times T} = \frac{0,8611 \times 225 \times 0,0346}{0,7 \times 0,1} = 95,8 \text{ kW}$$

Em seguida é determinado o diâmetro do fio resistor:

$$D_f = 34,4 \times \sqrt[3]{\frac{\rho}{P_t} \times \left(\frac{P_{ff}}{N_p \times V}\right)^2} = 34,4 \times \sqrt[3]{\frac{1,0806}{5} \times \left(\frac{31,9}{1 \times 220}\right)^2} = 5,698 \text{ mm}$$

Da Tabela 9 seleciona-se o diâmetro comercial logo acima do calculado, correspondente a 6,553mm, com resistividade de 0,03205 Ω/m .

Para calcular o comprimento do fio resistor é necessário calcular a resistência necessária em cada fase, o que é feito a partir da potência requerida e da tensão de alimentação, conforme equacionamento abaixo:

$$P_{ff} = \frac{P_f}{3} = \frac{95,8}{3} = 31,9 \text{ kW}$$

$$I_1 = \frac{P_f}{\sqrt{3} \times V} = \frac{95,8}{\sqrt{3} \times 220} = 251,4 \text{ A}$$

$$I_f = \frac{I_1}{\sqrt{3}} = \frac{251,4}{\sqrt{3}} = 145,2 \text{ A}$$

$$R_f = \frac{1000 \times P_f}{I_f^2} = \frac{1000 \times 31,9}{145,2^2} = 1,513 \Omega$$

Então calcula-se o comprimento do fio resistor, por fase e total:

$$L_f = \frac{R_f}{R_{\Omega/m}} = \frac{1,513}{0,03205} = 47,21m$$

$$L_t = 3 \times 47,21 = 141,63m$$

Desta forma a especificação da resistência do forno elétrico proposto é: 95,8kW; 220V; Ligação em triângulo; Liga Nicromo V de 6,553mm de diâmetro e 141,63 metros de comprimento total.

5.2 MODULAÇÃO DE POTÊNCIA DE FORNO ELÉTRICO

A restrição temporária de forno elétrico consiste na modulação da tensão entregue aos conjuntos de resistências do mesmo, o que por consequência reduzirá temporariamente a potência demandada. Essa modulação será realizada nos períodos em que o forno for trabalhar com carga reduzida, ou seja, pouco produto na esteira, e também nos horários de pico de consumo da instalação, mesmo se o forno operar com carga nominal, o que levará, neste caso, a um aumento no tempo necessário para assar os biscoitos, sem consequências na qualidade do produto, pois esta prática já é adotada em outras ocasiões. Para reduzir a tensão, e consequentemente a potência, aplicada ao forno elétrico (trifásico), é possível implementar algumas topologias de ligação que fazem a mudança da ligação normal, em triângulo, que drena potência nominal, para outras ligações, que são mostradas na Figura 32, a partir de esquemas com contadores e componentes eletrônicos, associados a um circuito de comando adequado.

A ligação da Figura 32.a faz a inserção de diodos de potência nas fases, responsáveis por cortar meio ciclo da onda de tensão e consequentemente reduzindo a potência absorvida para um meio da nominal, na ligação em triângulo. A ligação da Figura 32.b faz a mudança para a ligação em estrela, que diminui a tensão aplicada às resistências por raiz de 3, e reduzindo a potência para um terço da nominal. Já a ligação da Figura 32.c muda da ligação em triângulo para estrela com diodos nas fases, reduzindo a potência a um sexto da nominal, porém necessita do cabo de neutro para ser aplicada.

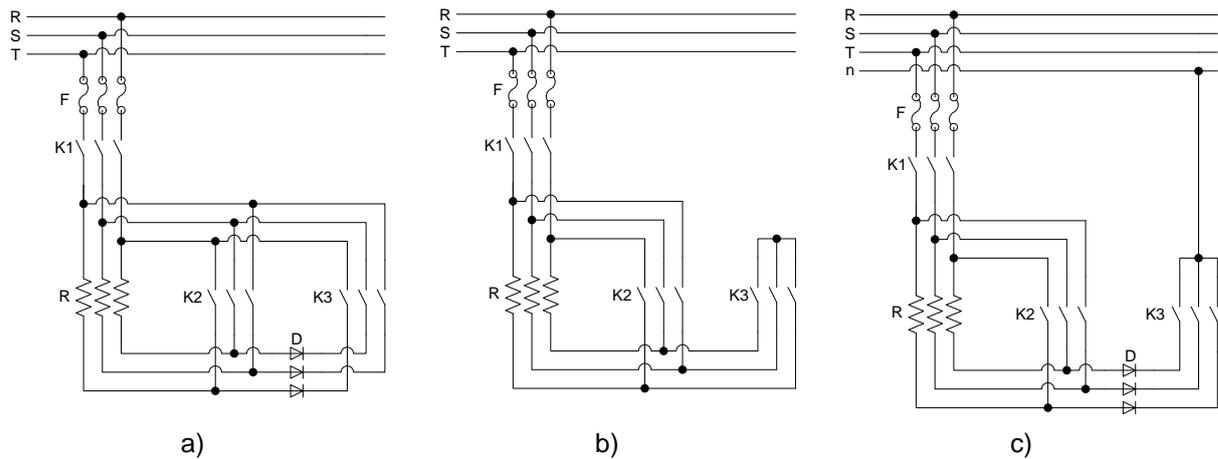


Figura 32 - Topologias de Ligações para Modulação de Forno Elétrico.
Fonte: Autoria Própria.

5.2.1 Determinação da Técnica Ótima de Modulação de Potência

A potência de forno elétrico que se mostrou necessária para a produção através dos cálculos é alta em comparação com a carga demandada pela indústria atualmente. Se for levado em conta a magnitude do pico de demanda gerado pela atuação simultânea das masseiras 1 e 2, cuja eliminação será o foco da modulação de potência, entre aproximadamente 10 a 15 quilowatts, este representa apenas uma porcentagem da carga solicitada pelo forno elétrico, de onde qualquer uma das técnicas de modulação mostradas é capaz de comportar este pico no momento em que é aplicada, sem ultrapassar a demanda atingida quando o forno está em potência nominal.

Assim, a técnica que traz menos impacto para a produção nos momentos em que é aplicada está representada na Figura 32.a, pois, aplicando diodos de potência em série com as resistências das fases, reduz a potência para metade.

Para que a modulação seja realizada no momento em que ocorra o acionamento simultâneo das masseiras 1 e 2, é necessário que seja feito um sistema de comando onde ao serem ligadas as duas masseiras, a modulação seja ativada e o operador da esteira receba um sinal para reduzir a velocidade da mesma. Para que a modulação seja acionada em momentos que o forno receba pouca carga é necessário possibilitar ao operador um comando apropriado. Desta forma o sistema de comando capaz de realizar tais funções é mostrado a seguir.

5.2.2 Sistema de Comando e Diagramas

A lógica que deve ser implementada para atender aos requisitos apresentados é resumida pela Tabela 21, onde a modulação é acionada quando as duas masseiras entram em operação simultaneamente ou quando o forno estiver operando com baixa carga na esteira, sendo permitido o comando pelo operador.

Tabela 21 - Lógica de implementação do Sistema de Comando.

Masseira 1	Masseira 2	Carga do Forno	Modulação do Forno	Velocidade da Esteira
Acionada	Parada	Nominal	Desativada	Normal
Parada	Acionada	Nominal	Desativada	Normal
Acionada	Acionada	Nominal	Acionada	Reduzida
-	-	Baixa	Acionada	Reduzida

Fonte: Autoria Própria.

Durante o acionamento da modulação a esteira deve ter sua velocidade reduzida pela metade, devido à potência do forno ser reduzida no mesmo valor, então um sinal deve ser enviado ao operador para que faça a regulagem da velocidade, através dos potenciômetros que servem de referência de velocidade para os inversores de frequência que acionam os motores da esteira. Se o controle de velocidade não fosse feito, os biscoitos não seriam cozidos o suficiente.

A Figura 33 mostra o diagrama de ligações do forno elétrico, com os circuitos de força, à esquerda, e comando, à direita. Com o forno em funcionamento pleno, os contadores K1 e K2 mantêm-se acionados, com o contato de selo de K1 fechado. Para acionar a modulação basta pressionar o botão B11, que desliga o contator K2 e liga o contator K3, este permanecendo ligado devido ao seu contato de selo. Note que há um intertravamento entre os contadores K2 e K3, através dos contatos auxiliares normalmente fechados da parte inferior da figura e que o sinalizador M, de modulação, é aceso, indicando ao operador a necessidade de redução da velocidade da esteira.

Na Figura 34 são apresentados os diagramas referentes ao acionamento das duas masseiras, um acionamento típico de motores com partida direta. Ainda na Figura 33 é possível ver a ação resultante do acionamento das masseiras M1 e M2, onde a abertura dos contatos KM1 e KM2 normalmente fechados provoca o desligamento do contator K2 e o fechamento dos contatos KM1 e KM2 normalmente abertos provoca o acionamento do contator K3, efetuando a modulação da potência.

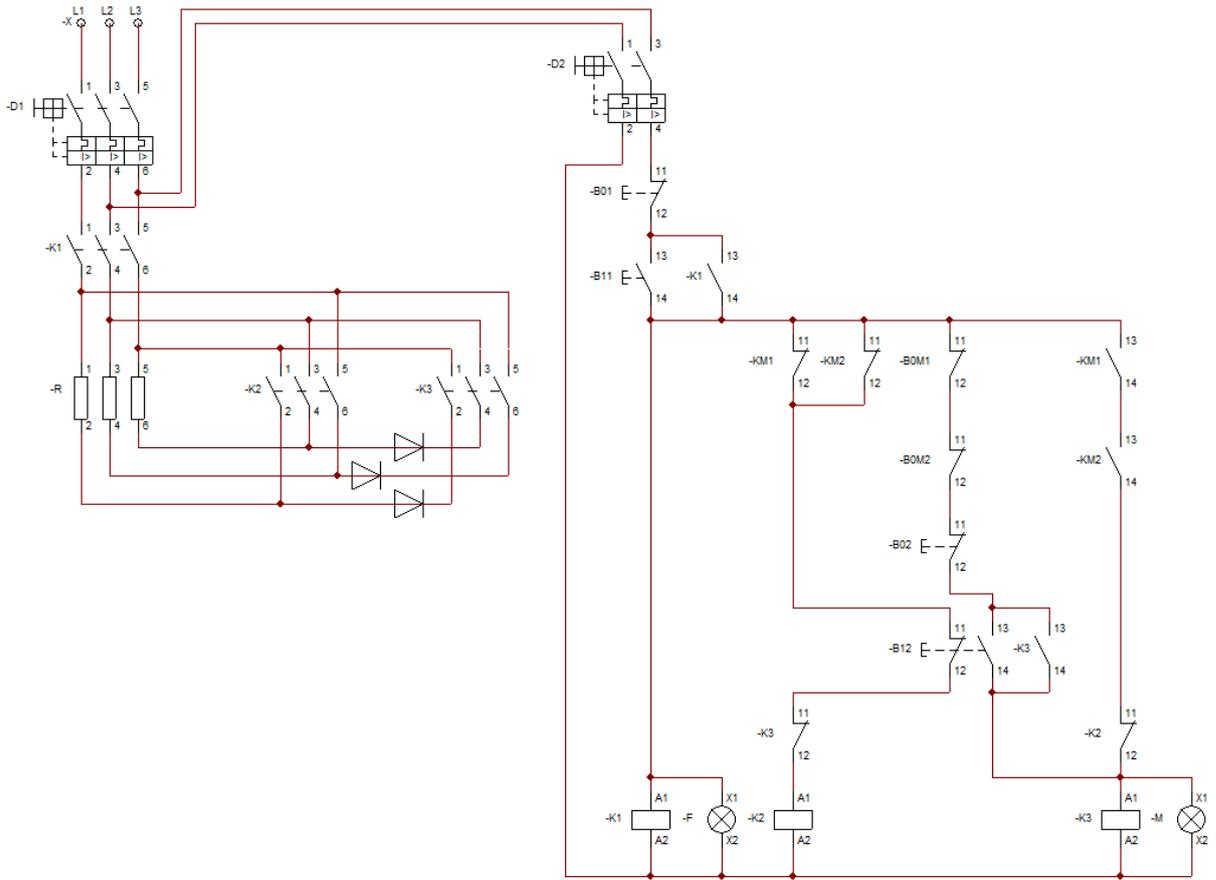


Figura 33 - Diagramas de Força e Comando do Forno Elétrico.
Fonte: Autoria Própria.

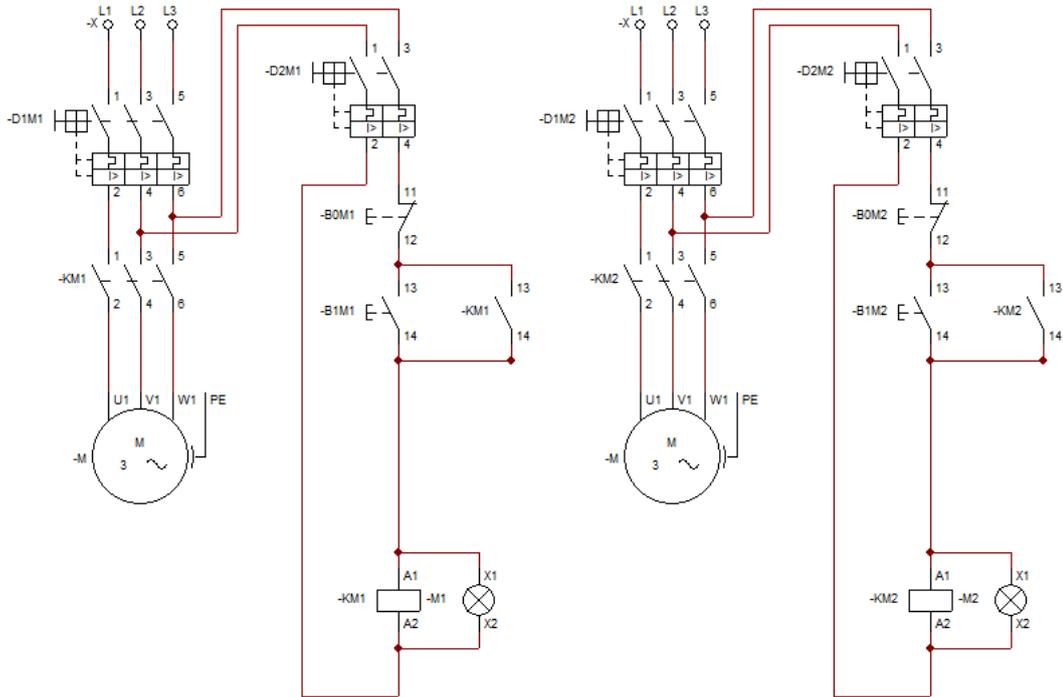


Figura 34 - Diagramas de Força e Comando das Masseiras.
Fonte: Autoria Própria.

5.3 DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES

Os componentes que precisam ser dimensionados para a implantação do forno elétrico são o circuito alimentador trifásico, os disjuntores, os contadores, e os diodos de potência, uma vez que os componentes do circuito de comando são padronizados e o acionamento das masseiras já está implementado. Estes componentes são dimensionados basicamente pela corrente nominal, em todos os casos, e também pela capacidade de interrupção de curto circuito, no caso dos disjuntores, pelo tipo de carga a ser acionada, no caso dos contadores, e pela máxima tensão reversa, no caso dos diodos de potência.

5.3.1 Circuito Alimentador

A corrente de linha máxima, calculada anteriormente, é de 251,4A. De acordo com ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997), para cabos unipolares em eletrocalhas perfuradas, cabos de cobre de 95mm² podem ser utilizados para correntes de até 275A, sendo assim a seção nominal do circuito alimentador trifásico deve ser de 96mm², ou, de forma alternativa, pode ser utilizado um circuito com dois condutores de 35mm² por fase, suportando 264A em conjunto.

Para a conexão entre os contadores K1 e K2 os condutores devem ser dimensionados pela corrente de fase da ligação em triângulo, que como foi visto é de 145,2A, de modo que um condutor de cobre de 50mm² é capaz de suportar esta corrente, ou, se for desejado, podem ser instalados dois condutores de 16mm² por fase.

Já para a conexão com o contator K3, a corrente passante no momento da modulação da potência é a metade da corrente de fase nominal, ou seja, 72,6A, onde podem ser utilizados cabos simples de 16mm².

5.3.2 Disjuntores

O disjuntor trifásico utilizado na proteção do forno deve suportar a corrente de linha nominal, de 251,4A, sendo que comercialmente encontram-se no disjuntores com corrente nominal de 300A e capacidade de interrupção de curto-circuito de 100kA na tensão de 220V, suficiente para instalações em baixa tensão. É necessário que os disjuntores de retaguarda coordenem com o disjuntor do forno, para que os princípios de seletividade sejam mantidos em caso de curto-circuito.

5.3.3 Contatores

Os contatores K1 e K2 utilizados no acionamento das resistências do forno devem suportar a corrente de fase nominal, de 145,2A, sendo que para a categoria AC1 (acionamento de cargas resistivas) encontram-se no mercado contatores com corrente nominal de 180A, porém especificados na categoria AC3 (acionamento de cargas indutivas) com corrente nominal de 112A. Já o contator K3 só precisa suportar a corrente passante no momento da modulação da potência, que é a metade da corrente nominal, ou seja, 72,6A, sendo que para a categoria AC1 a corrente nominal de mercado é de 90A, especificados na categoria AC3 em 50A.

5.3.4 Diodos de Potência

A corrente de fase que passa pelos diodos de potência é de 72,6A, de modo que comercialmente existem diodos com corrente nominal de 95A e tensão reversa suportável de 800V.

5.4 PROJEÇÃO DA CURVA DE CARGA E DO FATOR DE CARGA

Com a inserção do forno elétrico com modulação de potência a curva de carga da instalação receberá uma parcela de 95,8kW de potência do início do período de trabalho, quando o forno será acionado para aquecimento até o fim do expediente, onde o mesmo será desligado. Porém nos períodos em que as duas masseiras forem acionadas simultaneamente a potência do forno cairá para a metade, ou seja, 47,9kW, durante o período aproximado de 30 minutos, que é o tempo típico observado de um pico de demanda da instalação. Porém isso ocorre poucas vezes em um mês, o que leva a considerar que a curva de carga típica da instalação sofrerá a inserção da potência nominal do forno durante todo o período de trabalho.

O período de acionamento do forno, como dito anteriormente, é das 04:30h da manhã, quando os primeiros funcionários chegam, até por volta das 18:00h, quando o expediente é normalmente encerrado, somando aproximadamente 13,5 horas de funcionamento.

No item 4.4.1 deste trabalho a potência média diária da instalação levando em conta as medidas de conservação de energia propostas é de 19,88kW, a demanda máxima igual a 38kW e o fator de potência igual a 0,5232.

Para projetar a potência média que será consumida pela instalação durante um dia, efetuamos a média da potência consumida pelo forno e somamos a média obtida anteriormente, como segue:

$$P_{mf} = \frac{t_{on} \times P_f}{24h} = \frac{13,5h \times 95,8kW}{24h} = 53,89kW$$

$$P_{mt} = P_{mi} + P_{mf} = 19,88kW + 53,89kW = 73,77kW$$

onde P_{mf} é a potência média diária do forno (em kW), t_{on} é o tempo em que o forno permanece ligado (em h), P_f é a potência do forno (em kW), P_{mt} é a potência média total da instalação projetada (em kW) e P_{mi} é a potência média atual da instalação (em kW).

De forma semelhante, a potência máxima neste caso é a soma da potência máxima antiga da instalação e a potência máxima do forno, que é a sua potência nominal, calculada abaixo:

$$P_{m\acute{a}x} = 38kW + 95,8kW = 133,8kW$$

Com isso é possível calcular o fator de carga da instalação nesta condição, através da equação conhecida a seguir:

$$FP_{previsto} = \frac{73,77}{133,8} = 0,5513$$

Percebe-se um incremento no fator de carga, que passou de 0,5232 no momento em que as medidas de conservação de energia forem aplicadas para 0,5513 com a inserção do forno elétrico com modulação de potência no momento em que a empresa desejar expandir sua produção, o que significa melhoria no perfil de consumo de energia pela indústria. No caso projetado um contrato de demanda de 130kW se mostra adequado, levando em consideração a potência máxima prevista e a margem de 5% de tolerância na ultrapassagem de demanda.

Porém com a entrada de serviço atual, que contém um transformador de 112,5KVA, esta demanda não pode ser contratada, pois o mesmo não suporta a demanda de 133,8kW que o forno em conjunto com o resto da instalação estará requerendo. Deste modo se faz a necessidade da substituição do transformador de 112,5KVA por um de 150KVA, capaz de suportar os 133,8kW.

Além disto, será necessária a troca de eletrodutos, do cabeamento que sai do transformador, e do disjuntor geral, que segundo a COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (2011, p. 43) será de 3x400A. Essa troca deverá ser avaliada com uma empresa especializada, que poderá analisar e fazer um orçamento completo da troca, ficando com o transformador e parte dos componentes antigos, como o disjuntor de 3x300A.

6 PROTÓTIPO PARA MODULAÇÃO DE POTÊNCIA EM CARGAS RESISTIVAS

Com o objetivo de validar os diagramas propostos para a modulação de potência de forno elétrico, os mesmos foram montados em bancada e testados, como um protótipo, o qual será apresentado neste capítulo.

6.1 MONTAGEM DO PROTÓTIPO

A montagem do protótipo seguiu os diagramas mostrados na Figura 33 e na Figura 34, com algumas alterações visando facilitar a montagem, como por exemplo a utilização de lâmpadas em substituição das resistências e dos motores e a implementação de apenas uma masseira, já que não se viu a necessidade de duplicar o mesmo circuito, ficando o acionamento dessa como um dos causadores da modulação do forno, em conjunto com o acionamento manual da modulação.

A Figura 35 mostra o protótipo montado. Na parte inferior esquerda encontra-se o conjunto de lâmpadas que representa as resistências do forno, com um multímetro conectado para medir a corrente de fase. Na parte inferior direita está o conjunto que representa as duas masseiras funcionando ao mesmo tempo. O conjunto botoeira liga/desliga e sinaleiro verde na parte central esquerda da figura é responsável pelo acionamento e indicação de funcionamento do forno, o conjunto central, com sinaleiro amarelo, é o comando de acionamento manual e indicação da modulação de potência para o operador, já o conjunto central direito é responsável pelo acionamento e indicação de funcionamento das masseiras, provocando o acionamento da modulação quando o forno está ligado. Na parte central e superior veem-se os contatores e disjuntores, bem como um multímetro ligado para medir a tensão de linha.

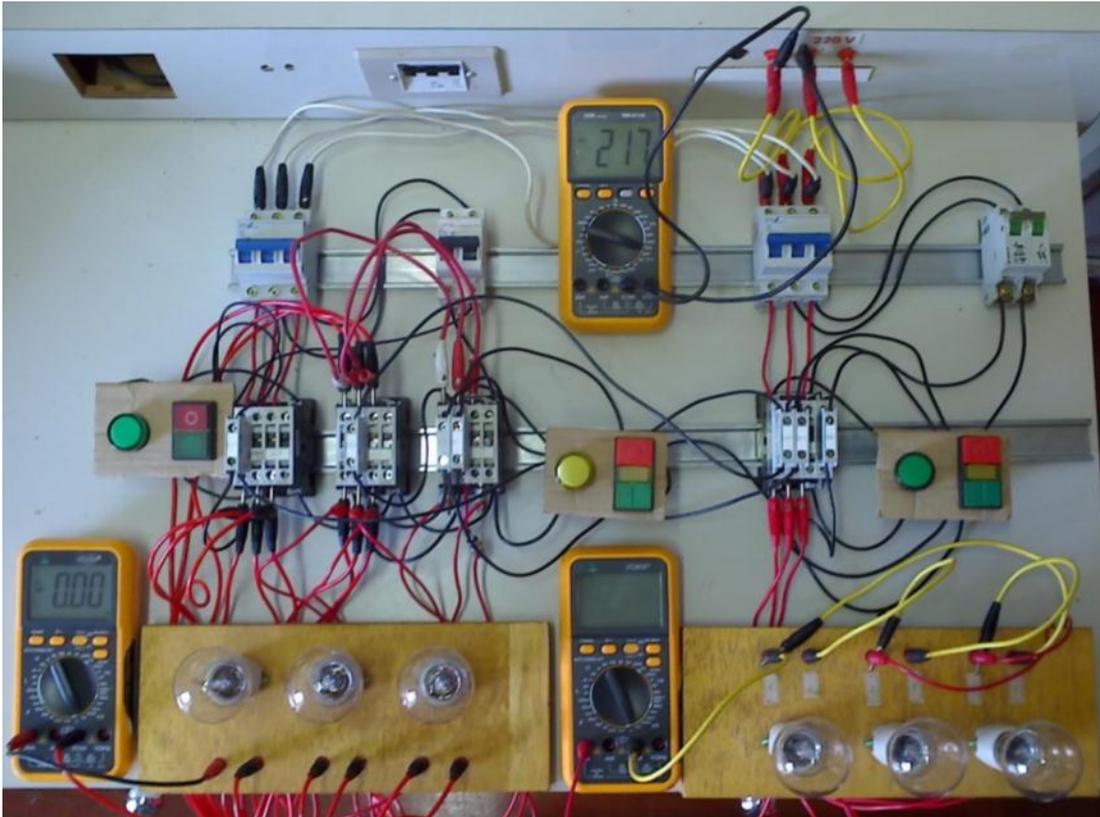


Figura 35 - Protótipo para Modulação de Potência em Cargas Resistivas.
Fonte: Autoria Própria.

6.2 FUNCIONAMENTO E RESULTADOS OBTIDOS

Após a montagem do sistema de comando foi verificado o seu correto funcionamento, pois todos os estados possíveis de funcionamento puderam ser observados e serão mostrados nas imagens que seguem. A Figura 36 representa o forno em funcionamento pleno, com corrente de fase de 0,44A. A Figura 37 representa o forno com potência modulada, com corrente de fase de 0,23A, medida com o multímetro em corrente contínua devido à retificação em meia onda feita pelos diodos. Já a Figura 38 representa o acionamento simultâneo das masseiras, com corrente de 0,26A e o forno com a potência modulada, com corrente de 0,23A. Por fim, a Figura 39 representa o funcionamento das masseiras, com corrente de 0,26A e o forno desligado. Desta forma obteve-se sucesso na construção do protótipo e da aplicação da técnica de modulação, onde a corrente de fase do forno caiu para a metade, logo a potência absorvida também, confirmando o que havia sido proposto.

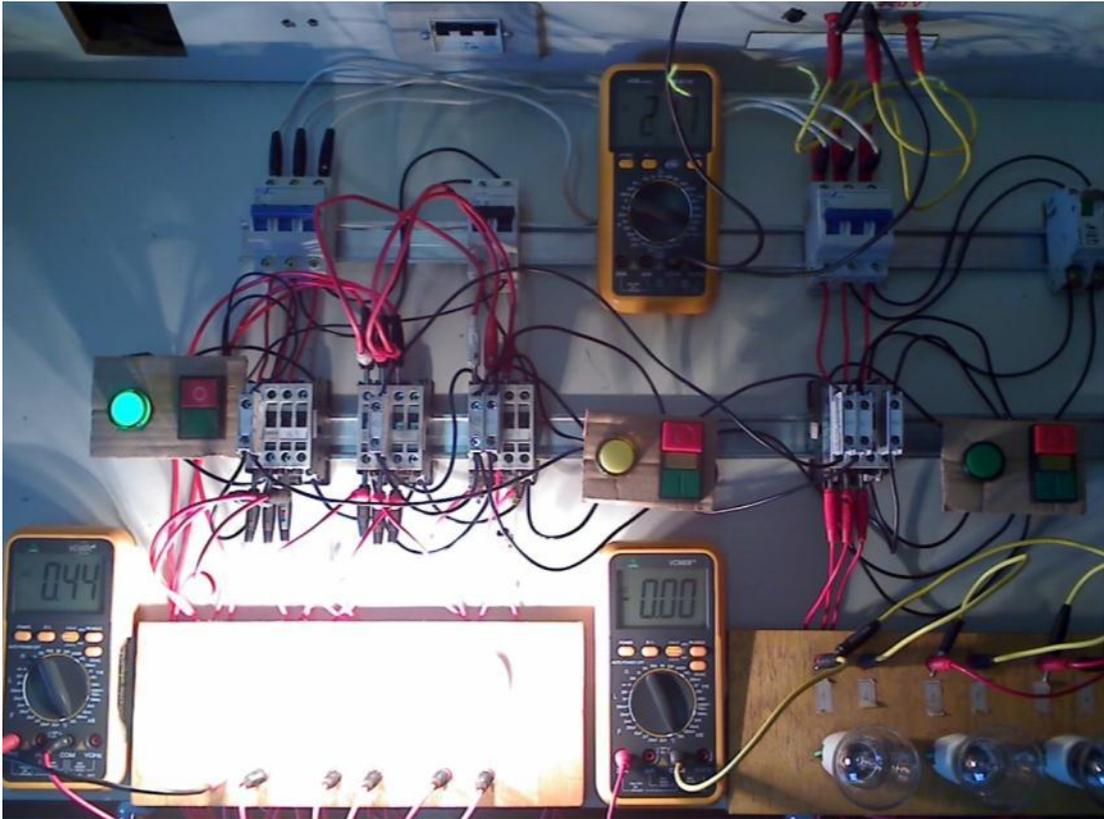


Figura 36 - Protótipo Simulando o Forno em Funcionamento Pleno.
Fonte: Autoria Própria.

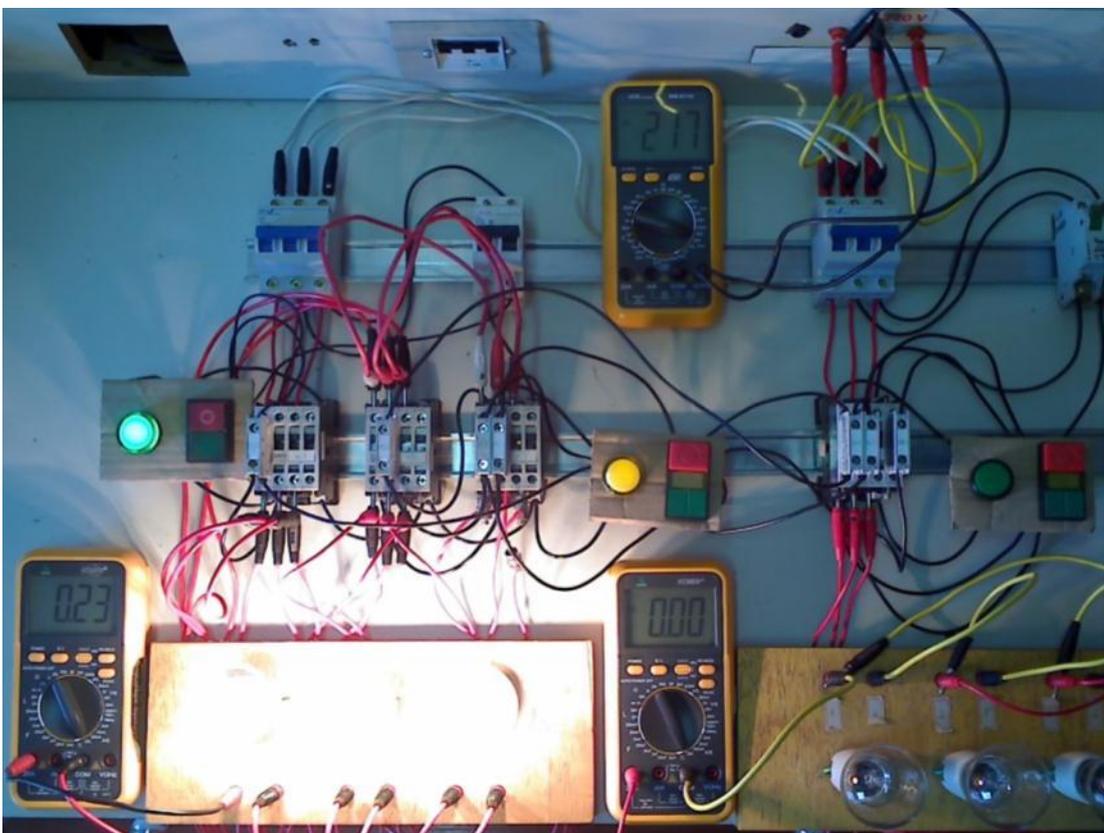


Figura 37 - Protótipo Simulando o Forno com Potência Modulada.
Fonte: Autoria Própria.

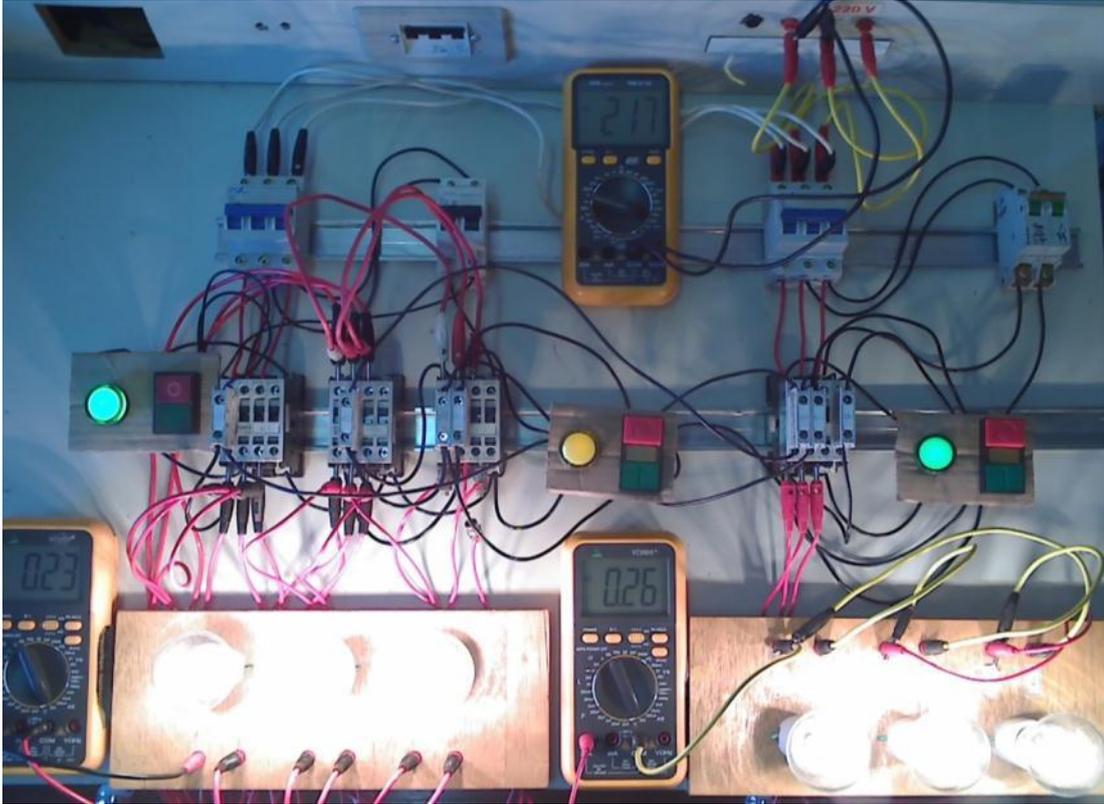


Figura 38 - Protótipo Simulando o Forno com Potência Modulada e as Masseiras Acionadas.
Fonte: Autoria Própria.

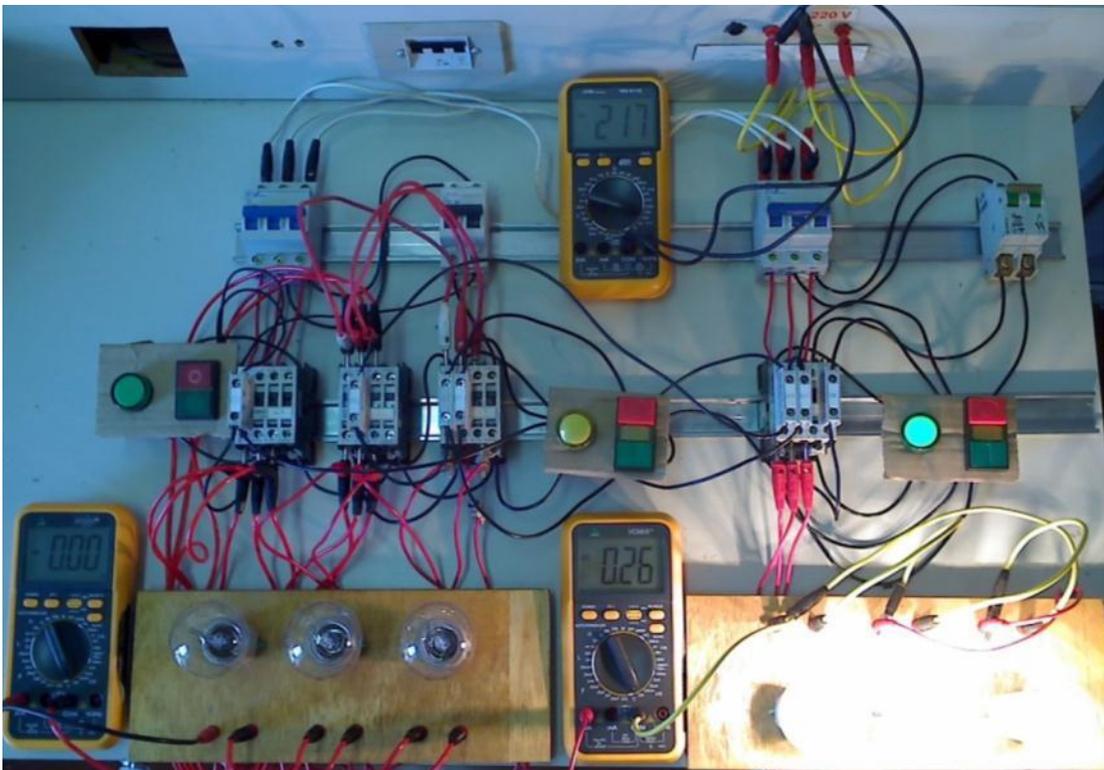


Figura 39 - Protótipo Simulando o Forno Desligado e as Masseiras Acionadas.
Fonte: Autoria Própria.

7 CONCLUSÕES

Sempre foi uma busca constante no setor elétrico a diminuição de perdas de energia em toda a cadeia do processo, desde a geração até o consumo final, porém é evidente uma série de fatores que dificultam ou impossibilitam a adoção de práticas que colaborem para a eficiência energética, principalmente nas instalações consumidoras, dos quais pode-se citar os fatores econômicos, técnicos, mas principalmente a falta de fornecimento de informações úteis aos consumidores por parte dos agentes do sistema elétrico. Questões a respeito de gerenciamento de energia elétrica, contratos de energia, indicadores que podem ser facilmente analisados são muitas vezes deixados de lado por simples desconhecimento.

Neste âmbito estabeleceu-se o trabalho exposto, onde foi criado o vínculo entre unidade consumidora de energia elétrica, a Karina Indústria de Alimentos Ltda, e o meio acadêmico, de forma a possibilitar uma análise técnica das instalações da fábrica, buscando encontrar os pontos que necessitavam de atenção, ou seja, elementos causadores de perdas de energia, equipamentos com alta demanda de potência, dados referentes à fatura de energia elétrica como pagamento de multas por excesso de demanda de reativos, demanda de ultrapassagem, entre outros.

Para cada item discutido e com necessidade de intervenção, foram propostas ações a serem tomadas pelos responsáveis pela indústria de forma a minimizar os problemas. As principais indicações foram alertar sobre o uso em horários alternativos de cargas de importância secundária, evitando excesso de demanda, usar de forma escalonada os equipamentos da instalação de maior porte que são as masseiras, realizar a correção do fator de potência com um controlador automático no barramento do quadro localizado no barracão da produção, onde as medidas feitas indicaram a necessidade de inserção de aproximadamente 9,5kvar capacitivos, e ainda foi proposta a substituição dos reatores eletromagnéticos presentes na iluminação de toda a indústria por reatores eletrônicos, que desperdiçam muito menos energia.

No texto também foram expostos valores a respeito de contrato de demanda, para serem seguidos a medida que as ações forem implementadas. Uma projeção feita indicou a possibilidade de aumento do fator de carga de 0,3998 para

0,5232, o que certamente proporcionará redução de custos com eletricidade, uma vez que a relação é direta, como foi visto no início do trabalho.

Também fez parte dos objetivos deste trabalho de conclusão de curso o estudo de implantação de um forno elétrico com modulação de potência na empresa, tendo em vista uma futura ampliação de sua produção tendo a energia elétrica como fonte de calor no cozimento dos biscoitos, para o qual foi realizado todo o dimensionamento de seus componentes elétricos, com porte baseado em um dos fornos já instalados, portanto com mesma capacidade de produção. Os cálculos resultaram em um forno elétrico de 95,8kW de potência nominal, com possibilidade de acionamento da modulação, restringindo a potência para a metade nos momentos em que o forno estiver trabalhando com pouca carga na esteira, ou quando os equipamentos de grande porte entrarem em operação simultânea. Esta técnica de modulação teve seu funcionamento comprovado por um protótipo montado em bancada e testado, que obedeceu aos comandos implementados e apresentou o resultado esperado nas medidas realizadas, sendo que a corrente de fase foi reduzida a metade nos momentos de acionamento da modulação, o que tem reflexo direto na potência absorvida.

Porém, faz parte da implantação do forno elétrico o aumento da potência da entrada de energia, através da troca do transformador e outros componentes, que resultará em outros custos para a empresa. Portanto a avaliação econômica da alternativa deverá ser feita com critério, para que não represente prejuízos para a empresa.

Desta forma declara-se que os objetivos iniciais do trabalho foram atingidos e ressalta-se a importância da aproximação entre a UTFPR e o meio local e regional, integrando conhecimento técnico com desenvolvimento econômico e tecnológico no setor industrial.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 414**. 2010. 174p.[s.n.], Brasília, 2010.

_____. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST: Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica**. 2012. 72p.[s.n.], Brasília, 2012.

_____. **Resolução Normativa nº 479**. 2012. 49p.[s.n.], Brasília, 2012.

ALVAREZ, André L. M. **Uso Racional e Eficiente de Energia Elétrica: Metodologia para a Determinação dos Potenciais de Conservação dos Usos Finais em Instalações de Ensino e Similares**. 1998. 159p. Dissertação - USP, São Paulo, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão**. 1997. 128p.[s.n.], Rio de Janeiro, 1997.

CARZINO, Márcio C. **Projeto e Análise para Dimensionamento Automático de Fornos para Cozimento de Pães e Biscoitos**. 2006. 116p. Dissertação - [s.n.], Curitiba, 2006.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Manual de Eficiência Energética na Indústria**. Curitiba: Copel, 2005.

_____. **NTC 903100: Fornecimento em Tensão Primária de Distribuição**. 2011. 135p.[s.n.], Curitiba, 2011.

_____. Agência Virtual. **COPEL - Companhia Paranaense de Energia**, 2013. Disponível em: <<http://agencia.copel.com/AgenciaWeb/>>. Acesso em: Outubro 2013.

FILHO, João M. **Instalações Elétricas Industriais**. 2001. 6ª - LTC, Rio de Janeiro, 2001.

_____. **Instalações Elétricas Industriais**. 8ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

HALLIDAY, David; RESNICK, Jearl W. **Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 2, 2009.

LUMISOFT. **Lumisoft**: Software para Cálculo Luminotécnico.[s.n.].

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2021**. 2012. 386p.[s.n.], Brasília, 2012.

OSRAM. **Manual Luminotécnico Prático**. 28p.[s.n.].

PANESI, André R. Q. **Fundamentos de Eficiência Energética**: Industrial, Comercial e Residencial. São Paulo: Ensino Profissional, 2006.

PORTOLANN, César A.; BORDIGNON, Andrei. Aumento do Fator de Carga Industrial com Redistribuição de Cargas e Restrição de Forno Elétrico - Aspectos Operacionais. **X Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica**, Araxá, 28 Junho 2013. 6.

PROCEL INDÚSTRIA; ELETROBRÁS; CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Eficiência Energética na Indústria**: o que foi feito no Brasil, oportunidades de redução de custos e experiência internacional. 2009. 16p.Confederação Nacional da Indústria, Brasília, 2009.

REIS, Lineu B. D. **Geração de Energia Elétrica**. 2ª. ed. Barueri: Manole, 2011.