

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DOUGLAS SANTOS ANICETO

JIMMY ANTONY NUNES

**PROPOSTA DE DIAGNÓSTICO PARA AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA  
EM MÁQUINAS DE SOLDA ELÉTRICA**

CURITIBA

2018

DOUGLAS SANTOS ANICETO  
JIMMY ANTONY NUNES

**PROPOSTA DE DIAGNÓSTICO PARA AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA  
EM MÁQUINAS DE SOLDA ELÉTRICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação de Engenharia Elétrica com Ênfase em Sistemas Eletrônicos Embarcados da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. James Alexandre Baraniuk

CURITIBA

2018

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**DOUGLAS SANTOS ANICETO  
JIMMY ANTONY NUNES**

### **TPROPOSTA DE DIAGNÓSTICO PARA AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM MÁQUINAS DE SOLDA ELÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica com Ênfase em Sistemas Eletrônicos Embarcados da Universidade Federal do Paraná como requisito à obtenção do título de Engenheiro Eletricista, pela seguinte banca avaliadora:

---

**Prof. Dr. James Alexandre Baraniuk**  
Orientador – Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

---

**Prof. M.Sc. Vilson R. G. R. da Silva**  
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

---

**Prof. Eng. Luiz Antônio Belinaso**  
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

Curitiba, 04 de dezembro de 2018

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a todos os mestres do curso de Engenharia Elétrica que compartilharam seus conhecimentos em sala de aula e acompanharam a nossa jornada enquanto universitários. Nosso agradecimento à Universidade Federal do Paraná por nos proporcionar este ambiente educacional. Somos gratos especialmente aos professores e Doutores James Alexandre Baraniuk e Paulo Cesar Okimoto que foram nossos orientadores, e nos auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho. (Douglas e Jimmy).

Agradeço a minha família que me deu apoio, incentivos nas horas difíceis, de desânimo e cansaço. Aos meus amigos que no decorrer do curso me ajudaram para que chegasse até esse momento. Em especial a minha dupla Douglas Santos que foi fundamental para minha formação, por isso merece o meu eterno agradecimento. Por fim agradeço à Deus, que em sua infinita sabedoria colocou força em meu coração para vencer essa etapa da minha vida. (Jimmy)

Agradeço a minha esposa, Vanessa Martins El Jurde, que jamais me negou apoio, carinho e incentivo. Obrigado, sem você ao meu lado esse trabalho não seria possível. (Douglas)

*“Fazer, todos os dias, as mesmas coisas e esperar resultados diferentes é a maior prova de insanidade”.*

*Albert Einstein*

*“Quando você puder medir aquilo de que está falando e exprimir isso em números, saberá algo sobre tal coisa. Enquanto você não puder exprimi-lo em números, seu conhecimento é insatisfatório. Pode ser o início do conhecimento, mas você terá avançado muito pouco em seus pensamentos, em direção ao estágio da ciência”.*

*William Thompson, Lord Kelvin*

## RESUMO

A eficiência energética, na área industrial, pode representar significativa redução dos custos de produção, proporcionado aumento no rendimento energético dos equipamentos e instalações elétricas. Essa forma de uso da energia implica também na qualidade da fabricação dos produtos confeccionados, já que o dispêndio com energia elétrica pode chegar a mais de vinte por cento do custo total de produção. Neste cenário, avaliar a eficiência das máquinas de solda, em uma indústria de grande porte, é fundamental para tornar os processos de produção mais eficientes, sustentáveis e competitivos. Além disso, não há normativas claras sobre a abordagem do assunto e estudos prospectivos realizados pelo EPE (Empresa de Pesquisa Energética) indicam que o preço da energia sofrerá aumento. Dessa forma, o objetivo deste estudo consiste em apresentar uma avaliação do estado da arte em relação a eficientização energética aplicada a maior classe de consumidores de energia elétrica. Neste sentido, serão apresentados dados importantes encontrados na literatura, bem como exemplos práticos de soluções científicas e tecnológicas.

**Palavras-chaves:** Indústrias, Máquinas de Solda, Eficiência Energética, Custo.

## **ABSTRACT**

Energy efficiency, in the industrial area, can represent a significant reduction in production costs, resulting in an increase in the energy efficiency of the electrical equipment and installations. This form of energy use also implies the quality of the manufacturing of the products made, since the expenditure with electric energy can pay for more than twenty percent of the total cost of production. In this scenario, evaluating the efficiency of welding machines in a large industry is critical to making production processes more efficient, sustainable and competitive. In addition, there are no clear regulations on the subject approach and prospective studies conducted by the EPE (Energy Research Company) indicate that the price of energy will increase. Thus, the objective of this study is to present an evaluation of the state of the art in relation to energy efficiency applied to the largest class of electric energy consumers. In this sense, important data will be presented in the literature, as well as practical examples of scientific and technological solutions.

**Key-words:** Industries, Industries, Welding Machines, Energy Efficiency, Cost..

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1.1 – Diagrama esquemático do projeto . . . . .	17
FIGURA 2.1 – Representação do sistema energético . . . . .	20
FIGURA 2.2 – Comercialização de energia . . . . .	22
FIGURA 2.3 – Instituições do Setor Elétrico . . . . .	23
FIGURA 2.4 – Matriz Elétrica Brasileira . . . . .	25
FIGURA 2.5 – Fluxo Energético - Eletricidade . . . . .	26
FIGURA 2.6 – Procedimento para análise de consumo . . . . .	28
FIGURA 2.7 – Processo de soldagem . . . . .	31
FIGURA 3.1 – Estrutura do Projeto de Avaliação de Eficiência Energética . . . .	34
FIGURA 3.2 – Fluke 434 II . . . . .	36
FIGURA 3.3 – PowerMonitor 3000 . . . . .	36
FIGURA 3.4 – Transformador de Corrente 75/5 . . . . .	37
FIGURA 3.5 – Níveis de programação PowerMonitor 3000 . . . . .	38
FIGURA 3.6 – PowerMonitor 3000- Níveis de Configuração . . . . .	38
FIGURA 3.7 – Maxxi TIG300 AC/DC . . . . .	39
FIGURA 3.8 – SpecialTig UNO . . . . .	40
FIGURA 3.9 – Fronius TS4000 . . . . .	41
FIGURA 4.1 – Esquemático ligação em estrela . . . . .	43
FIGURA 4.2 – Ligação Estrela . . . . .	44
FIGURA 4.3 – Medições do aparelho em Estrela . . . . .	44
FIGURA 4.4 – Esquemático ligação delta . . . . .	45
FIGURA 4.5 – Ligação Estrela . . . . .	45
FIGURA 4.6 – Medições do aparelho em triângulo . . . . .	46
FIGURA 4.7 – Conexão do Fluke com o sistema trifásico . . . . .	47
FIGURA 4.8 – Configuração do FLUKE . . . . .	48
FIGURA 4.9 – Banco de carga estática . . . . .	48
FIGURA 4.10 – Cenário com carga estática . . . . .	49
FIGURA 4.11 – Corrente saída fonte de solda . . . . .	49

FIGURA 4.12 – Tensão no banco de carga . . . . .	50
FIGURA 4.13 – Fator de Potência equipamento em operação no Banco de Carga	51
FIGURA 4.14 – Gráfico fator de potência Operação x Stand By . . . . .	51
FIGURA 4.15 – Cenário 2 com solda Arco . . . . .	52
FIGURA 4.16 – Tensão de Saída com Arco Eletromagnético . . . . .	53
FIGURA 4.17 – Gráfico fator de potência Operação Arco . . . . .	53
FIGURA 4.18 – Gráfico de potências máquinas Banco X Arco X Stand By . . . . .	54
FIGURA 4.19 – Gráfico de Consumo anual de R\$ x kWh no banco de Carga . . . . .	56
FIGURA 4.20 – Gráfico de Consumo anual de R\$ x kWh com 10 equipamentos . . . . .	57
FIGURA 4.21 – Gráfico de Payback Maxxi TIG x Special Tig Uno . . . . .	58
FIGURA 4.22 – Gráfico de Payback Maxxi TIG x Special Tig Uno com Arco . . . . .	59
FIGURA 4.23 – Gráfico de Payback Maxxi TIG x Special Tig Uno utilizando banco de arco . . . . .	59
FIGURA 4.24 – Gráfico THD de tensão máquinas em operação . . . . .	60
FIGURA 4.25 – Gráfico de THD de corrente operação . . . . .	61
FIGURA 4.26 – Gráfico de THD de Tensão Stand By . . . . .	62
FIGURA 4.27 – Gráfico de THD de Corrente com Máquinas em Stand By . . . . .	63

## LISTA DE TABELAS

1	Tabela ligação Delta e Estrela . . . . .	46
2	Máquinas de Solda em Stand-By . . . . .	47
3	Medição MAXXI TIG300AP como o banco de Carga - entrada da máquina . . . . .	50
4	Comparativo de Máquinas em Banco de Carga . . . . .	51
5	Medição de Fontes em Arco Elétrico . . . . .	53
6	Eficiência equipamentos em Banco de Carga . . . . .	55
7	THD de tensão máquinas em operação . . . . .	60
8	THD de Corrente Máquinas em Operação . . . . .	61
9	THD de tensão máquinas em Stand By . . . . .	62
10	THD de Corrente com Máquinas em Stand By . . . . .	63

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
MME	Ministério de Minas e Energia
ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Contratação Regulada
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
EPE	Empresa Pública Federal de Pesquisa Energética
SIN	Sistema Integrado Nacional
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CCCE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
EVO	Organização para a Avaliação de Eficiência
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1	OBJETIVO GERAL	14
1.1.1	Objetivos Específicos	14
1.2	MOTIVAÇÕES PARA O TEMA DO TRABALHO	14
1.3	PÚBLICO ALVO	15
1.4	DIFERENCIAL DO TRABALHO	15
1.5	METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO	16
1.6	RESULTADOS FUNDAMENTAIS A SEREM ATINGIDOS	17
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>18</b>
2.1	A ENERGIA ELÉTRICA E O CONCEITO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	18
2.2	A ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	21
2.2.1	Balanco Energético Nacional -O Uso da Energia Elétrica	24
2.3	PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA COPEL/ANEEL	26
2.3.1	Acompanhamento e Análise do Consumo	27
2.4	CHAMADA PÚBLICA - EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO USO FINAL	29
2.5	FONTES DE ENERGIA PARA SOLDAGEM A ARCO	29
2.6	TIPOS DE SOLDA ELÉTRICA	30
2.7	NORMAS VIGENTES	32
2.8	HARMÔNICAS	32
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<b>34</b>
3.1	ESTRUTURA DO PROJETO	34
3.2	INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO	35
3.2.1	Fluke 434	35
3.2.2	Powermonitor 3000	36
3.2.3	Transformador de Corrente	37
3.2.4	Níveis de configuração PowerMonitor	37
3.3	MÁQUINAS DE SOLDA	39
3.3.1	MaxxiTIG 300P	39

	12
3.3.2 SpecialTig UNO . . . . .	40
3.3.3 Fronius TS4000 . . . . .	40
3.3.4 Metodologia para realização das medições . . . . .	41
<b>4 RESULTADOS . . . . .</b>	<b>43</b>
4.1 RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS EM LABORATÓRIO . . . . .	43
4.2 CENÁRIOS DE TESTES . . . . .	46
4.2.1 Ensaio em Stand-by . . . . .	47
4.2.2 Ensaio com Carga estática . . . . .	47
4.2.3 CENÁRIO COM ARCO ELÉTRICO ELETROMAGNÉTICO . . . . .	52
4.3 ANÁLISE DE EFICIÊNCIA . . . . .	54
4.3.1 Orientação Específicas . . . . .	55
4.4 CONSUMO . . . . .	55
4.5 PAYBACK . . . . .	57
4.6 DISTORÇÃO HARMÔNICA TOTAL . . . . .	60
<b>5 CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>64</b>
<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>66</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As máquinas de solda estão presentes em diversos processos de fabricação na indústria mecânica, tais como, nas montadoras de carros e motores, fábricas de luminárias, entre tantas outras. Em diversos casos, estes aparelhos essenciais ao produto final, operam em regime contínuo na maior parte do tempo e representam um percentual bastante significativo no custo do produto.

Atualmente, o cenário industrial vivencia inúmeros avanços tecnológicos e modernizações operacionais dos processos, em prol do aumento da produtividade, sem perder de vista a indispensável manutenção da eficiência e qualidade da produção, fazendo da competição tecnológica o cerne do desenvolvimento econômico. Nesse sentido, registre-se: "Na área industrial, a efficientização energética pode trazer significativa redução de custos, bem como aumento no rendimento energético de equipamentos e instalações elétricas, com a consequente melhoria da qualidade dos produtos fabricados."(COPEL, 2018).

A supramencionada evolução caracteriza-se como a "Quarta Revolução Industrial", também denominada indústria 4.0, caracterizada por um sistema de conjuntos de tecnologias que permitem a fusão do mundo físico e digital.

Nessa trajetória, avaliar a eficiência das máquinas de soldas, em uma indústria de grande porte, mostra-se fundamental para tornar os processos de produção mais eficientes, sustentáveis e competitivos, principalmente diante do período de crise econômica enfrentado pelo Brasil.

Com efeito, essas políticas de economia no processo produtivo são responsáveis por gerar diferenças reais no valor final do bem fabricado, determinando de forma substancial aqueles que efetivamente serão projetados ao topo de vendas, na acirrada competição existente no mercado.

Diante dessas circunstâncias, este projeto visa efetuar uma proposta de diagnóstico, para avaliação de eficiência energética em máquinas de solda elétrica com o objetivo de ser aplicado às indústrias, posto que não há metodologias claras para este tipo de aplicação.

Destarte, em consonância com a proposta, busca-se estabelecer parâmetros para a obtenção de certificações relacionadas à eficiência energética, desenvolvimento

de procedimentos e treinamentos técnicos, bem como a realização de auditorias para análise dos processos. Assim, o principal diferencial será a inovação neste campo de atuação, o qual possui um vasto mercado para ser explorado e normatizado.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver uma proposta de diagnóstico para a avaliação de eficiência energética em máquinas de solda, através de dispositivos de medição de energia, com o propósito de melhorar o desempenho energético em processos fabris geridos por máquinas de soldas, sem causar impactos à produção.

### 1.1.1 Objetivos Específicos

- Levantamento e pesquisa dos trabalhos relacionados ao tema do projeto;
- Estudar os processos de soldagem;
- Estudar os aparelhos de medição de energia;
- Analisar a eficiência das tecnologias de máquinas de solda;
- Comparar as tecnologias de fonte inversora e convencional e apresentar o estudo de viabilidade.

## 1.2 MOTIVAÇÕES PARA O TEMA DO TRABALHO

A exploração de métodos e normativas para alcançar a eficiência energética nas indústrias não é comumente utilizada, porquanto inexistem metodologias claras para esta avaliação de melhorias no consumo de energia.

Registre-se, por oportuno, que os importes despendidos com a energia necessária a manutenção das atividades fabris podem alcançar o patamar de vinte por cento, ou mais, no valor do produto final.

Destarte, sopesando essas circunstâncias, somadas ao atual cenário nacional de crise político-econômica, sem olvidar a crescente concorrência no mercado industrial, este projeto poderá ser de grande importância para a otimização de custos, gerando um panorama de sustentabilidade ambiental e empresarial.

### 1.3 PÚBLICO ALVO

O estudo aqui desenvolvido almeja alcançar as indústrias que utilizam máquinas de solda e servir como projeto pedagógico para o laboratório de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Isso porque, enfatiza a melhora do faturamento, por intermédio de uma utilização mais efetiva da energia, sem abandonar a qualidade do processo manufaturado, acarretando em evolução econômica e ambiental.

Com efeito, em um mercado cada vez mais competitivo, as indústrias possuem basicamente duas alternativas: vender mais, o que está cada vez mais complicado no ambiente recessivo em que o país se encontra ou reduzir os custos de produção.

Nesta conjuntura, as corporações vêm trilhando diversos caminhos, um deles é encontrar parâmetros para aumentar a eficiência no consumo de energia, onde busca-se aproveitar ao máximo a demanda de energia contratada com o mínimo de desperdício possível.

Para que isso ocorra, é necessário identificar os fatores que ocasionam o desperdício de energia e encontrar soluções para que os equipamentos possam operar no regime necessário com o menor dispêndio possível.

### 1.4 DIFERENCIAL DO TRABALHO

O diferencial deste projeto reside na comparação real, por meio de ensaios no laboratório de solda do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná, o qual possui diversos tipos de tecnologias de máquinas de soldas.

E, ainda, propor um diagnóstico para a melhoria da eficiência energética destes aparelhos, com propósito futuro de aplicação em indústrias. Vale ressaltar que, atualmente, não há uma metodologia eficaz para a avaliação de consumo de energia em processos de soldagem.

Assim, de posse dos resultados ensaiados, objetiva-se realizar o acompanhamento de uma linha de produção em uma fábrica, aplicar a metodologia e avaliar os resultados. E, futuramente, atuar na consultoria de empresas nas áreas de mecânica ou setores que utilizem máquinas de soldas, elaborando laudos sobre eficiência energética em processos de fabricação.

É importante ressaltar que este será um trabalho inovador, na medida em que

não há registros deste tipo de análise aplicado a máquinas de solda.

## 1.5 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

A eficiência de energia é um tema de extrema importância para a economia e sustentabilidade, compondo a pauta de assuntos que estão sendo cada vez mais explorados pelas indústrias.

Neste contexto, este projeto se aprofundará no estudo e análise sobre o consumo de energia, com supedâneo nas normas nacionais e internacionais vigentes, bibliografias e artigos para levantamento dos principais parâmetros relacionados, abordando o referencial teórico sobre medições de eficiência em máquinas de solda. Nesse contexto, com a obtenção dos conhecimentos inerentes à gestão de energia, avança-se na pesquisa das formas de solda, tipos de máquinas de solda, aparelhos aplicados à medição de qualidade, parâmetros de medição, pesquisa e acompanhamento da demanda de utilização das máquinas e levantamento da curva de carga e.

Nessa linha de raciocínio, pretende-se alcançar a definição de uma metodologia para avaliação da relação de consumo, eficiência e influências na rede ocasionadas por máquinas de solda, com suporte nos conceitos pesquisados e nos resultados obtidos dos ensaios em laboratório, com a elaboração de cenários para avaliação de consumo de máquinas de solda e a realização de medições utilizando-se dos aparelhos: Landis+Gyr, Fluke e Bradley e, por fim, a comparação dos resultados atingidos.

Em síntese, para obtenção da avaliação de eficiência energética de máquinas de solda elétrica, vide a Figura 1.1, serão sopesados os métodos de soldagem MIG/MAG (Metal Inert Gás/Metal Active Gás) e solda a arco. Estes métodos serão realizados no laboratório de soldagem do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná (DEMEC).

Na sequência, efetuar-se-ão diversos ensaios com máquinas de diferentes tecnologias, visando avaliar os parâmetros de energia com apoio dos medidores de consumo: Fluke 434, power Monitor 3000 da Allem Bradley (equipamentos do laboratório do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná - DELT) e o medidor eletrônico da Landis+Gyr (equipamento do laboratório de soldagem DEMEC).

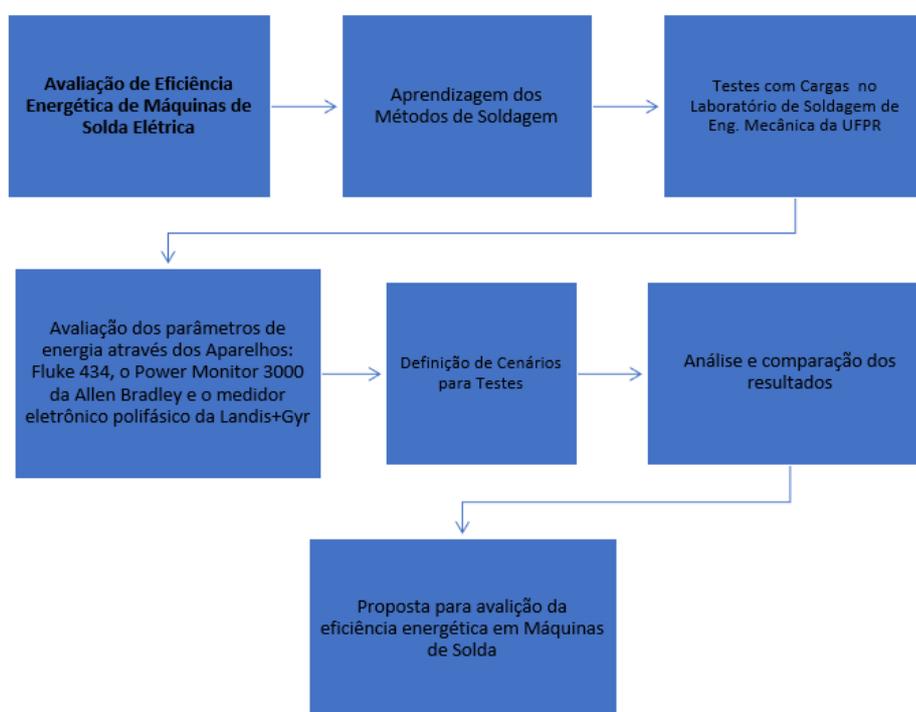
Em princípio, todos os ensaios serão realizados em laboratório como o intento

de tornar viável sua adoção na indústria.

Desse modo, definir-se-ão os cenários para os testes de medição com carga estática, carga real, consumo em stand-by e, uma vez logrado os resultados, passa-se a análise e comparação dos dados alcançados.

Para concluir a metodologia objetiva-se desenvolver uma proposta para a avaliação energética em máquinas de solda.

FIGURA 1.1 – Diagrama esquemático do projeto



Fonte: Os Autores (2018)

## 1.6 RESULTADOS FUNDAMENTAIS A SEREM ATINGIDOS

Além dos resultados de aprendizagem e conhecimento com profundidade, de um dos principais temas da atualidade, a gestão de energia, pode-se destacar, como resultado fundamental a ser atingido, a descrição detalhada de premissas e técnicas para o funcionamento de máquinas de solda com gestão e eficiência energética.

Não menos importante, tem-se o conhecimento detalhado dos aparelhos e tecnologias disponíveis em mercado para esta abordagem técnica e o desenvolvimento de um modelo de aplicação de gestão de energia em manufaturas de pequeno, médio e grande porte.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 A ENERGIA ELÉTRICA E O CONCEITO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O contexto da história da eletricidade é bem antigo e, ao que tudo indica, as primeiras observações de fenômenos elétricos foram realizadas na Grécia Antiga.

Isso porque, citações de obras filosóficas indicam que Tales de Mileto (640-546 a.C.) foi o primeiro a observar que o âmbar (resina de árvores) ao ser atritado adquiria a propriedade de atrair outros corpos, de pequenas massas. E, ainda, também seria precursor ao notar que um ímã podia atrair elementos ferrosos (J.L. Cindra e Odete P.B. Teixeira, p.386).

Estas observações deram início a uma nova ciência, assim nascia a consolidação da história da eletricidade, sendo esta um segmento da Física, que estuda os fenômenos associados as cargas elétricas e está dividida em três áreas, quais sejam: eletrostática, eletrodinâmica e eletromagnetismo.

Desde os primórdios da existência da humanidade o homem se mostrou observador, curioso e pesquisador dos fenômenos envolvidos com a eletricidade, surgindo cientistas de grande importância no desenvolvimento de teorias e conceitos nesta área de estudo.

Contudo, mesmo sendo datada de antes de Cristo, o domínio da eletricidade mostra-se recente, pois somente em 1879, com a invenção da lâmpada incandescente comercializável, pelo norte-americano Thomas Edison, que a iluminação pode ser aproveitada de forma mais abrangente.

O inventor aplicava o conceito de corrente contínua aos seus inventos dando início as primeiras tecnologias de iluminação do planeta. Entretanto, o sistema elétrico, que nesta época era usado apenas para iluminação, ganhou real expansão com o advento da corrente alternada, proposta por Nikola Tesla.

O desenvolvimento do sistema de corrente alternada (CA) teve seu marco inicial nos Estados Unidos, em 1885.

As primeiras linhas de transmissão eram monofásicas e após Nikola Tesla publicar seus projetos de motores de indução e motores síncronos polifásicos, bem como, apresentar as inúmeras vantagens deste sistema, é que a transmissão de

energia elétrica alternada trifásica substituiu gradualmente os sistemas de corrente contínua (CC) (Stevensom, William D., 1986).

O novo sistema apresentava diversas vantagens sobre a corrente CC, dentre elas, pode-se citar, a utilização do transformador, que tornou possível a transmissão de tensões elevadas ocasionando a redução das perdas e aumentando a capacidade de transmissão.

Dados estatísticos, registrados entre as décadas de 70 e 80, demonstraram exibiram que a capacidade instalada de geração e produção anual de energia praticamente dobrava a cada dez anos (Stevensom, William D., 1986). Dentro deste inovador contexto, o mundo começava a dar adeus ao crepúsculo no qual seus habitantes viviam.

Com a evolução dos sistemas de geração, transmissão e distribuição a energia passou a ser viável e atingir um número muito amplificado de pessoas, tornando-se mais acessível.

O primeiro sistema de distribuição experimental em CA foi instalado no inverno de 1885, nos Estados Unidos pelo inventor e engenheiro William Stanley, alimentando 150 lâmpadas na cidade.

Inicialmente, o objetivo era apenas fornecer iluminação as cidades, mas, com o passar do tempo, novos aparelhos foram surgindo e contribuindo para a demanda de grandes quantidades de potência e a necessidade de maior confiabilidade (Stevensom, William D., 1986).

Nesta altura do conhecimento, a eficiência energética não tinha muito espaço, a principal preocupação era suprir as demandas, como prova disso, pode-se citar as lâmpadas com processo de emissão de luz incandescente de Thomas Edison, as quais possuíam baixa eficiência luminosa de aproximadamente 15 lumens/watts e vida útil entre 600 e 1000 horas (MAMEDE FILHO, 2007).

Neste contexto, com o crescimento populacional, a expansão do desenvolvimento tecnológico e as sucessivas revoluções industriais, as demandas de consumo energético aumentaram de forma exponencial. Por conseguinte, as fontes de geração de energia também cresceram e, para atender o consumo solicitado, desenvolveu-se diversas formas de geração de energia elétrica, com apoio de fontes renováveis como exemplos: hidroelétricas, eólicas, solares, termoelétricas, marítimas e, também, as fontes não renováveis: as derivadas de combustíveis fósseis.

Em conformidade como o desenvolvimento da indústria, aumento dos custos de

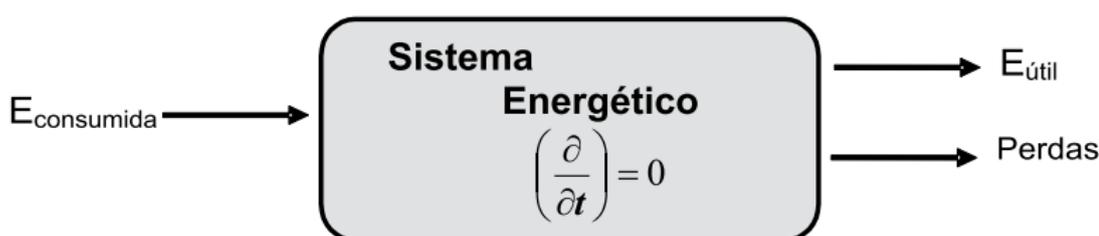
energia elétrica, a crescente concorrência por mercados e a popularização de diversas tecnologias associadas a sustentabilidade ambiental, o conceito de eficiência ganhou seu lugar ao sol.

Atualmente, como o advento da indústria 4.0, os processos fabris buscam a máxima eficiência na produção com o grau mais elevado possível de sustentabilidade. Houve, também, a criação de normas internacionais sobre gestão de eficiência energética como a ISO 50001 e normas nacionais gerenciadas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), pode-se citar o PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), dentre outros.

Dessa maneira, o conceito de eficiência energética de um sistema pode ser baseado na lei de conservação de energia, estabelecida por Joule Meyer, em 1840, também intitulada como ‘Primeira Lei da Termodinâmica’, a qual permite efetuar balanços energéticos, determinar perdas e quantificar fluxos energéticos (LUIZ, 2006). conforme a Equação (2.1).

A Figura 2.1 explicita um sistema em regime permanente, que com o auxílio da lei de conservação de energia mostra ser possível mensurar a eficiência do sistema, conforme a Equação (2.1).

FIGURA 2.1 – Representação do sistema energético



Fonte: (Conservação de Energia- Eficiência Energética de Equipamentos enérgicos e instalações; 3ª Ed. ELÉTROBRAS/PROCEL, pag.23)

$$\eta_{energ} = \frac{E_{util}}{E_{consumida}} = \frac{E_{consumida} - E_{perdas}}{E_{consumida}} = \frac{1 - E_{perdas}}{E_{consumida}} \quad (2.1)$$

No âmbito que envolvem as indústrias, o objetivo sempre será a máxima produção, com o mínimo de perdas nos processos. Inevitavelmente, existirá perdas nos processos de conversão de energia, quando uma máquina entrar em operação, ou as inerentes as limitações tecnológicas e econômicas dos sistemas reais, porém, há muitos campos que podem ser trabalhados para melhorar a eficiência das máquinas sem prejuízos ao *modus operandi* das fábricas.

## 2.2 A ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Tendo em vista a forte influência que o setor elétrico possui no desenvolvimento do país e com o objetivo da compreensão dinâmica deste, torna-se importante a análise inicial do contexto histórico, passando-se para a avaliação da evolução.

O setor elétrico brasileiro teve início no final do século XIX, com o advento de usinas que forneciam energia para a mineração, formado por um cenário de investimentos estrangeiros, sem participação ativa estatal na geração, transmissão e distribuição. (CASTRO, 2004). O modelo estatal para a indústria elétrica foi configurado por volta de 1930, quando a União começou a exercer papel de protagonista e responsabilizou-se pela gestão de todas as outorgas relativas a este nicho.

Do período incipiente até os dias atuais o setor passou por inúmeras transformações, podendo ser divididas em: modelo antigo (até 1995), modelo de livre mercado (1995 a 2003) e o novo modelo, como vigência a partir do ano de 2004 (CCEE, 2018).

O Regimento do 'Modelo Antigo' era basicamente fundamentado por financiamentos, por meio de recursos públicos, com empresas verticalizadas, ou seja, a mesma concessionária, predominantemente estatal, realizava todos os serviços de geração, transmissão e distribuição. Este padrão favorecia o monopólio e a competição era inexistente, haviam apenas os consumidores cativos em um mercado regulado em todos os segmentos (CCEE, 2018).

A partir de 1995 até o ano de 2003 vigorou o 'Modelo de Livre Mercado', cujo alicerce fundamentava-se no financiamento com recursos públicos e privados, em que as empresas eram divididas por tipo de atividade: transmissão, distribuição e comercialização, caracterizando a desverticalização. Dessa maneira, o mercado tornou-se mais aberto, com ênfase na privatização das empresas proporcionando concorrência nos segmentos elétricos, os quais oportunizaram a abertura de um mercado livre,

no qual os preços de geração e comercialização poderiam ser espontaneamente negociados (CCEE, 2018).

O 'Novo Modelo', implantado em 2004, manteve as características do 'Modelo de Livre Mercado', com algumas alterações, podendo ser citadas: na divisão das atividades incrementou-se a importação e exportação de energia, a comercialização passou a contar como dois ambientes de negociação, o ambiente de Contratação Regulada - ACR, onde ocorrem leilões e licitações pela menor tarifa e o Ambiente de Contratação Livre - ACL, em que os preços podem ser livremente negociados na geração e comercialização, como exposto na Figura 2.2.

Há, do mesmo modo, o mercado de curto prazo, em que se promove o ajuste entre as demandas contratadas e as demandas efetivamente utilizadas (CCEE, 2018).

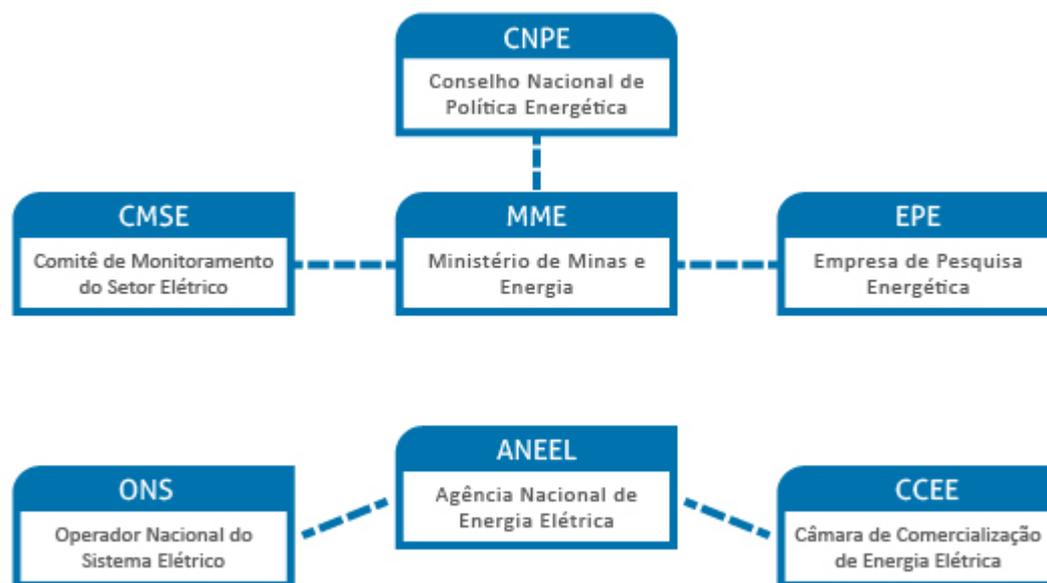
FIGURA 2.2 – Comercialização de energia



Fonte: (O Autor - Adaptado (CCEE, 2018))

Com o propósito de atender a demanda de energia de forma eficiente e alcançar a modicidade tarifária, o Novo modelo do setor elétrico, vigente atualmente, possui a seguinte estrutura, mostrada na Figura 2.3:

FIGURA 2.3 – Instituições do Setor Elétrico



Fonte: (CCEE, 2018)

O atual modelo tem no topo de sua base o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), cujos princípios e objetivos, em concordância com a Lei 9.478 de 6 de agosto de 1997, visam preservar o interesse nacional, promover o desenvolvimento, ampliar o mercado de trabalho, valorizar os recursos energéticos, proteger os interesses do consumidor e proteger o meio ambiente e promover a conservação de energia, dentre outros. O CNPE é um órgão de assessoramento do Presidente da República utilizado para o desenvolvimento de diretrizes e políticas de energia (MME, 2018).

O Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE) é um órgão coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), com a função de realizar o monitoramento através da avaliação de continuidade e segurança do suprimento elétrico no país (CCEE, 2018).

O Ministério de Minas e Energia (MME) constitui-se em um órgão do governo federal, que possui a responsabilidade de conduzir o planejamento e as políticas energéticas da nação brasileira, em concordância com as diretrizes definidas pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) (CCEE, 2018).

A Empresa pública federal de pesquisa Energética (EPE) é uma prestadora de serviços ao MME, nas áreas de pesquisa e desenvolvimento do setor energético

coabrindo energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados e biocombustíveis, sendo responsável por assegurar as bases para o desenvolvimento sustentável da infraestrutura energética brasileira (EPE, 2018).

O órgão responsável pela coordenação e controle das operações em instalações de geração e transmissão de energia elétrica, incluindo também os sistemas isolados, aos quais fazem parte do Sistema Integrado Nacional (SIN), é o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Como missão institucional, o ONS desenvolve pesquisas e ações sobre o sistema e agentes proprietários, com o objetivo de gerenciar as fontes de energia e a rede de transmissão, bem como promover a otimização das operações do sistema eletroenergético (ONS, 2018).

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é o órgão regulador do sistema elétrico, tendo como principais atribuições regular a geração, transmissão, distribuição e a comercialização de energia elétrica no Brasil. Responsabiliza-se, de igual forma, pela fiscalização, implementação de políticas e diretrizes do governo federal, estabelecer tarifas, dirimir divergências e promover as atividades de outorgas de concessão (ANEEL, 2018).

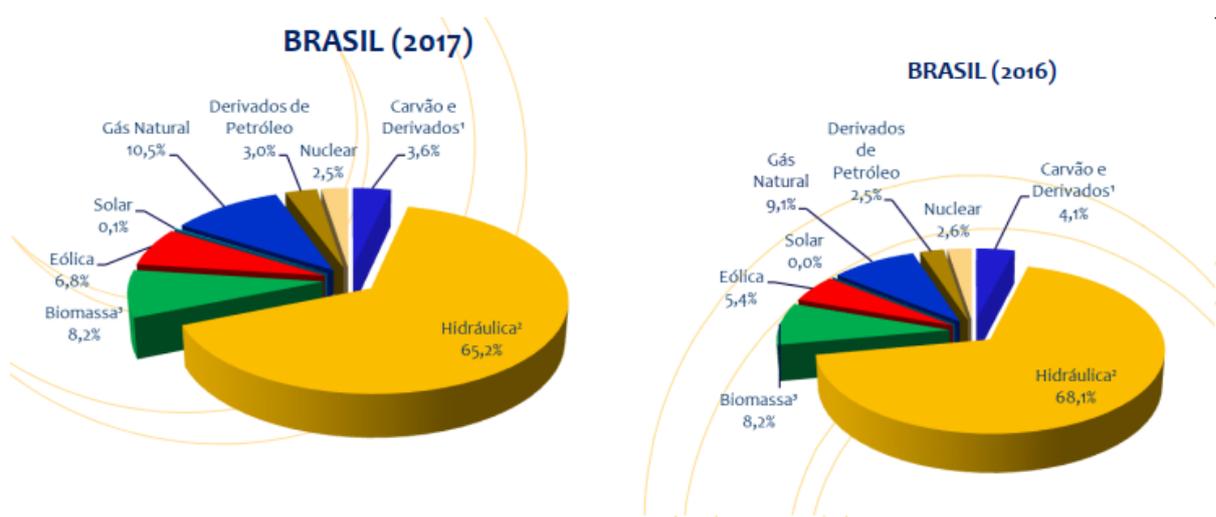
A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCCE) realiza os leilões de compra de energia elétrica pelas distribuidoras no ambiente regulado (CCEE, 2018).

### 2.2.1 Balanço Energético Nacional -O Uso da Energia Elétrica

O Balanço Energético Nacional (BEN), publicado anualmente pela EPE, visa apresentar a contabilização relativa ao consumo e a oferta de energia no país, possui informações consolidadas sobre o quanto, qual o tipo, quem usa e como é utilizada a energia, bem como, retrata as emissões geradas na produção de energia (BEN, 2018).

A Figura 2.4 demonstra um comparativo dos percentuais entre as fontes para o ano de 2016 e 2017. Observa-se que em 2017 houve recuo na participação das fontes renováveis na matriz elétrica, de 81,7% para 80,4%.

FIGURA 2.4 – Matriz Elétrica Brasileira

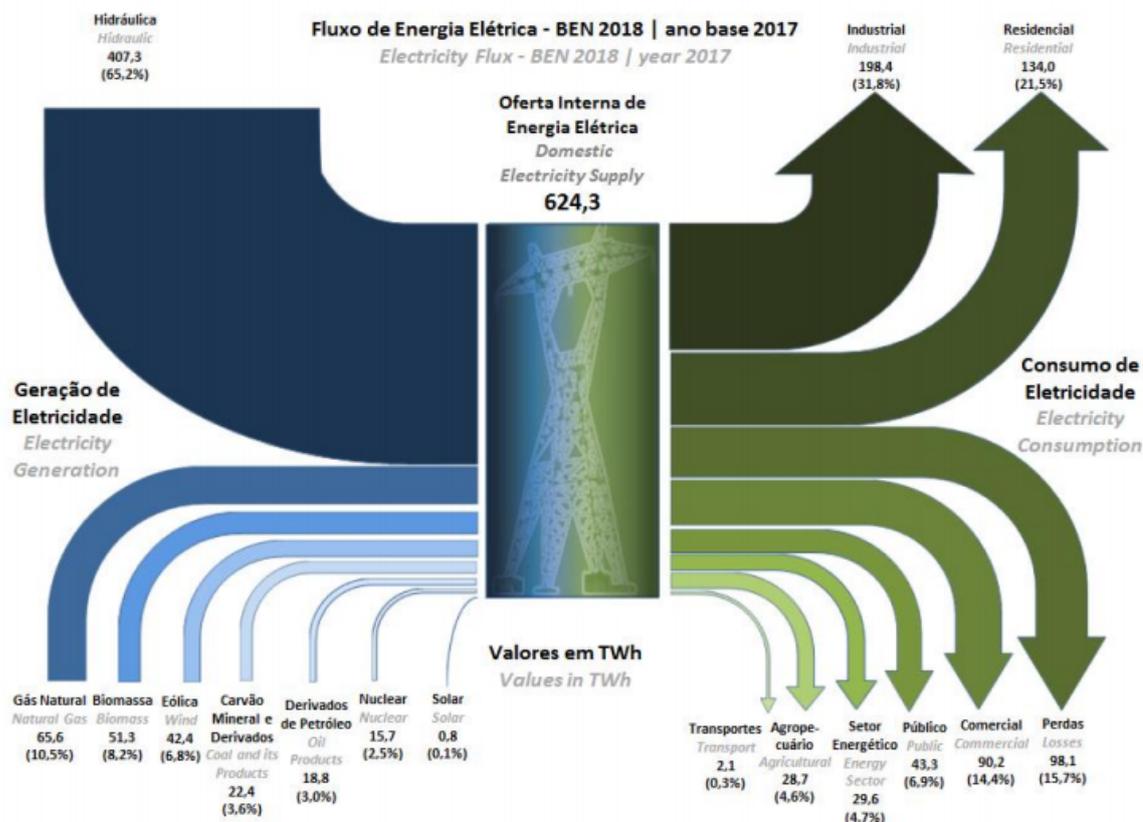


Fonte: (BEN, 2018)

A matriz elétrica brasileira opera pelo Sistema Integrado Nacional (SIN), sendo este uma estrutura hidro-termo-eólico de grande porte, com predominância de usinas hidroelétricas. A capacidade instalada do sistema com todas as fontes de energia aumentou em 4,5% de 2016 para 2017, totalizando 157.112MW (BEN, 2018).

A Figura 2.5 exibe o fluxo de energia elétrica do ano de 2017. Denota-se que o percentual de perdas é relativamente grande (15,1%) em decorrências do crescimento das fontes termoeletricas, as quais servem de apoio às fontes hídricas nos períodos de estiagem.

FIGURA 2.5 – Fluxo Energético - Eletricidade



Fonte: (BEN, 2018)

Conforme pode ser observado nos dados do relatório do BEN, o setor industrial representa a maior classe consumidora de energia elétrica. Estudos prospectivos do setor industrial, realizado pelo EPE (Empresa de Pesquisa Energética), apontam que o consumo de energia no setor industrial poderá crescer em torno de 35%, até 2026 (EPE, 2018). Paralelamente ao crescimento da demanda de consumo está o aumento das tarifas correlacionadas a energia elétrica, que tende a ficar cada vez mais cara para o consumidor.

### 2.3 PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA COPEL/ANEEL

A COPEL (Companhia Paranaense de Energia) é uma sociedade de economia mista, prestadora de serviço público delegado nas áreas de geração, transmissão e distribuição de energia, além de telecomunicações. Criada em outubro de 1954, é a maior empresa do Paraná, está comprometida não somente em levar energia elétrica com eficiência a população, mas também em promover o crescimento socioeconômico, responsabilidade ambiental e o desenvolvimento sustentável (COPEL, 2018).

A companhia incentiva o desenvolvimento sustentável, com a efetivação de programas de estudo de impacto ambiental e programas de eficiência energética em unidades industriais de seus clientes, tudo isso em prol de melhorias de processos produtivos e aproveitamento de recursos, sem adição de prejuízos ao processo fabril (COPEL, 2018).

Nessas circunstâncias, a COPEL realizou a publicação do Manual de Eficiência Energética na Indústria, abordando informações técnicas bem detalhadas sobre o fornecimento de energia, sistema tarifário, ajuste de fator de potência, instalações elétricas, análise e acompanhamento de consumo, administração do consumo de energia elétrica e mais temas igualmente importantes.

Esse manual visa auxiliar na gestão energética das instalações industriais, da forma mais eficaz possível, e permitir melhor aproveitamento do potencial fabril, abordando temas que podem passar despercebidos pelas indústrias.

São inúmeras as vantagens inerentes as melhorias do rendimento energéticos nas instalações industriais, dentre as quais, por oportuno, cita-se: aumento do aproveitamento de potencial das máquinas e equipamentos elétricos, resultando em melhorias na qualidade do produto; redução do consumo de energia, sem prejuízos a produtividade e segurança nos processos industriais; redução das despesas com energia.

Existem, ainda, as benesses voltadas para a sociedade em geral, proporcionadas pela diminuição dos custos como eletricidade, redução dos preços de produtos e serviços, aumento da garantia de fornecimento de energia pelas concessionárias e a contribuição para o desenvolvimento sustentável (COPEL, 2018).

### 2.3.1 Acompanhamento e Análise do Consumo

O acompanhamento do consumo de eletricidade em uma indústria, tem como meta determinar detalhadamente as despesas mensais, de forma individualizada, dos processos industriais, ou seja, análises setorializadas para avaliar evoluções e identificar metodologias para minimizar os custos relacionados a cada etapa da produção.

A Figura 2.6 exibe de maneira clara e organizada as etapas para o acompanhamento e análise do consumo, que estão descritas no Manual de Eficiência Energética na Indústria da COPEL.

FIGURA 2.6 – Procedimento para análise de consumo

<b>Análise de Consumo</b>		
<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>	<b>Exemplo</b>
1° Etapa	Análise mensal da Fatura	Contas de Energia
	Formulário de Evolução Mensal	Dados mensais
	Legislação e Normas regulamentadoras	Modalidades tarifárias, parâmetros de contrato
2° Etapa	Instalação de Aparelhos medidores	Medidores Eletrônicos
	Estabelecimento de Índices de Consumo Específico	kWh por unidade produzida
	Divisão setorial	Produção, Administrativo, Manutenção, Solda, Almoxarifado
3° Etapa	Monitoramento do consumo de Energia	Aparelhos de Medição e Softwares
4° Etapa	Determinação da Forma de Consumo	Análise específica por setor
5° Etapa	Determinação de Metas para o Consumo	Avaliação do que pode ser reduzido

Fonte: (Os Autores - Adaptado do Manual de Eficiência Energética na Indústria, 2005, índice analítico 3, pag. 16)

Para a primeira etapa, realiza-se a verificação da fatura entregue pela concessionária que fornece energia elétrica, como os dados constatados é possível organizá-los em planilhas e realizar cálculos para alcançar a evolução mensal. Ainda nesta etapa, deve-se conhecer bem as legislações, normas regulamentadoras e modalidades tarifárias, bem como todas as cláusulas previstas em contrato.

Na segunda etapa, como não é possível separar os consumos por setor, haverá a necessidade de instalação de medidores eletrônicos em locais estratégicos, permitindo a divisão setorial e a determinação do custo de energia por unidade produzida. Destarte, se torna factível o levantamento de custo por área de trabalho e estabelecimento de metas para consumo promovendo o uso racional de energia elétrica.

O monitoramento do consumo setorial e total de uma indústria, a terceira etapa, poderá ocorrer com o uso de *softwares* dos próprios medidores ou algum específico para gestão de monitoramento. A COPEL disponibiliza, em seu site, o sistema ACC (Análise de Comportamento de Carga), aplicativo capaz de efetuar análises das leituras existentes em sua base de dados e traçar curvas de carga da instalação consumidora.

A quarta etapa, efetivada com o apoio do sistema de monitoramento e gerenciamento, concretizada por critérios o consumo de cada setor, com o objetivo de avaliar individualmente as formas de consumo.

E, para concluir, avalia-se em todos os processos e setores o que pode ser reduzido em termos de consumo e o que pode ser eliminado em termos de desperdício, proporcionando a determinação de novas metas para motivar e promover a eficiência na utilização de energia.

## 2.4 CHAMADA PÚBLICA - EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO USO FINAL

A concessionária Copel Distribuição S.A promove, anualmente, chamada pública, para realização do Programa de Eficiência Energética, recebendo propostas de projetos de efficientização no consumo de energia dos consumidores finais, tais como, indústrias, residências, áreas rurais, comércios e serviços, poder público, e iluminação pública (COPEL, 2017).

Conforme a tipologia do projeto, os investimentos ofertados podem chegar a vinte milhões de reais, os projetos devem atender os parâmetros definidos pela ANEEL e pela Copel que visam o diagnóstico energético, bem como da verificação da relação custo-benefício através do cálculo de viabilidade.

Em consonância com os requisitos para a participação da chamada pública, destacam-se para o presente trabalho, os parâmetros de medição e verificação de resultados, conforme Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance preparado pela Organização para Avaliação de Eficiência (EVO). E para o cálculo de viabilidade, baseado no RCB (Relação Custo Benefício), fornecido em planilha de cálculo pela Copel.

## 2.5 FONTES DE ENERGIA PARA SOLDAGEM A ARCO

Para realizar a avaliação do consumo energético das máquinas de solda é de suma importância o conhecimento dos seus principais componentes e parâmetros elétricos.

A soldagem a arco é gerada por uma fonte de energia, também conhecida como máquinas de soldagem, a qual é projetada para oferecer tensão e corrente, na faixa de 10 a 40V e 10a 1200A, dependendo do modelo e tecnologia de aplicação. O arco elétrico é a fonte de calor mais utilizada nos processos de soldagem por fusão de materiais metálicos, este processo consiste de uma descarga elétrica, gerada por um gás ionizado, o plasma, em alta temperatura, que por fusão é capaz de unir peças

metálicas através da energia térmica produzida (MARQUES, 2005).

A soldagem a arco, de forma geral, opera entre uma peça formada por um eletrodo plano e outra localizada na extremidade de um cilindro, que pode ser arame, vareta ou eletrodo como área muito menor. Eletricamente, caracteriza-se pela diferença de potencial entre as extremidades e pela corrente elétrica que circula.

Pode-se encontrar no mercado, basicamente dois tipos de máquinas, as convencionais (ou transformadoras), que operam como corrente alternada, e as eletrônicas (ou inversoras), que são constituídas por circuitos eletrônicos e operam em corrente contínua.

## 2.6 TIPOS DE SOLDA ELÉTRICA

Existem diversos processos de soldagem, os quais podem ser divididos em dois grupos: o primeiro, qualificado como processo de soldagem por pressão ou deformação, inclui as soldagens por forjamento, por ultrassom, por fricção, por difusão entre outros. E, o segundo, em processo de soldagem por fusão, que podem variar de acordo com a tecnologia da fonte. Neste projeto serão abordados alguns dos processos realizados por fusão, que utilizam como fonte de energia o arco elétrico.

Os tipos de soldagens mais aplicadas na indústria são soldagens com eletrodos revestidos, TIG e MIG/MAG. A soldagem a arco com eletrodo revestido - SMAW (Shielded Metal Arc Welding) produz a coalescência entre metais pelo aquecimento de arco elétrico originando pela fusão a soldagens dos metais (MARQUES, 2005).

O eletrodo revestido compõe-se de uma vareta metálica fundida, constituído por um revestimento gerado por mistura de diferentes materiais, realizando a condução de corrente elétrica e fornecendo acréscimo de metal para composição da junta.

Como sua principal característica, tem-se a possibilidade de inúmeras formulações para o revestimento, versatilidade em termos de ligas soldáveis, boas características operacionais, mecânicas e metalúrgicas, como custo relativamente baixo. Como limitações, apresenta baixa produtividade, em termos de taxa de deposição, se comparada como o processo de soldagem de eletrodo consumível, e reduzido fator de ocupação do soldador, ou seja, o arco de soldagem fica em operação em no máximo 40% (MARQUES, 2005).

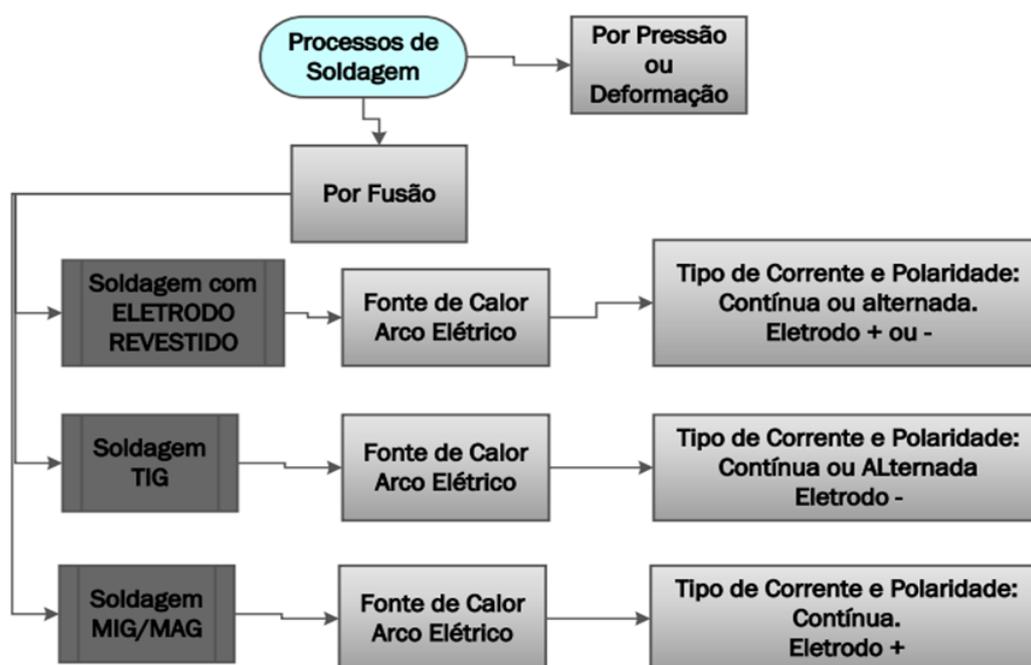
A soldagem a arco com eletrodo de tungstênio e proteção gasosa, conhecida

como TIG (GTAW - Gas Tungsten Arc Welding), é uma técnica de união das peças metálicas com o aquecimento e fusão do eletrodo de tungstênio, que não é consumível (sem adição de metal de enchimento), por intermédio de um arco elétrico (MARQUES, 2005).

Neste ponto, insta salientar o excelente controle de energia transferida para a peça, tornando-o adequado para a soldagem de peças de pequenas espessura e materiais de difícil soldabilidade, porquanto reflete atributo importante deste processo. O Arco elétrico é bastante estável, suave e produz soldas com acabamento de qualidade que necessitam de pouca limpeza após a operação (MARQUES, 2005).

A figura 2.7 exibe, em síntese alguns dos métodos de soldagem por fusão.

FIGURA 2.7 – Processo de soldagem



Fonte: (Os Autores - Adaptado do livro Soldagem Fundamentos e Tecnologia, 2005)

A Soldagem a arco com proteção gasosa através de eletrodo metálico nu, ou MIG – Metal Inert Gas e MAG – Metal Active Gas (GMAW - Gas Metal Arc), consumível, utiliza um gás inerte / gás ativo para proteger a solda e mantê-la livre de impurezas (MARQUES, 2005). É um processo semiautomático, onde o operador é responsável pela iniciação ou interrupção da soldagem e a alimentação do arame do eletrodo é feita mecanicamente, através de um alimentador motorizado. O Comprimento do arco

é mantido aproximadamente de forma constante pelo sistema independentemente dos movimentos do soldador. Como expoentes positivos pode-se citar: alta taxa de deposição, alto fator de ocupação e grande versatilidade quanto ao tipo e espessura de materiais.

## 2.7 NORMAS VIGENTES

A norma de padrão internacional IEC 60974 especifica os requisitos de segurança e desempenho das fontes de energia, para soldagem a arco elétrico, utilizados em processos relacionados ao uso industrial e profissional, limitada a tensão de 1000 volts.

Para a utilização segura destes equipamentos, aplica-se a norma regulamentadora de segurança no trabalho (em máquinas e equipamentos) - NR12, que define referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para garantir a saúde e integridade física dos operadores.

Os modelos de máquinas de solda analisados possuem grau de proteção IP23, (proteção contra corpos pequenos sólidos e proteção contra gotas d'água, caindo perpendicularmente em ângulos de até 60 graus) e classe de isolamento H, a qual indica que a temperatura máxima de operação que o material de isolamento pode suportar é de 180 graus célsius. Nessa trajetória, empregam-se, também, as normas para as instalações elétricas em baixa tensão NBR 5410 e segurança em instalações e serviços de eletricidade NR10.

Para a efficientização pode-se citar: norma internacional para o consumo eficiente de energia elétrica EVO 10000 1:2012 (Br)- Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance e Norma ND.50, Ligações de Máquinas de Solda nas Redes de Distribuição de Energia Elétrica.

## 2.8 HARMÔNICAS

As harmônicas são componentes que causam distorções na rede elétrica, estas distorções são geradas por cargas do tipo não lineares. As cargas não lineares ocorrem quando uma corrente que circula pela carga não possui a mesma forma de onda senoidal da tensão que é alimentada. Esses componentes causam problemas tais como: Envelhecimento precoce dos equipamentos, sobrecargas nas instalações

elétricas, interferências em no sistema telefônico e até medições incorretas (FLANDOLI, 2017).

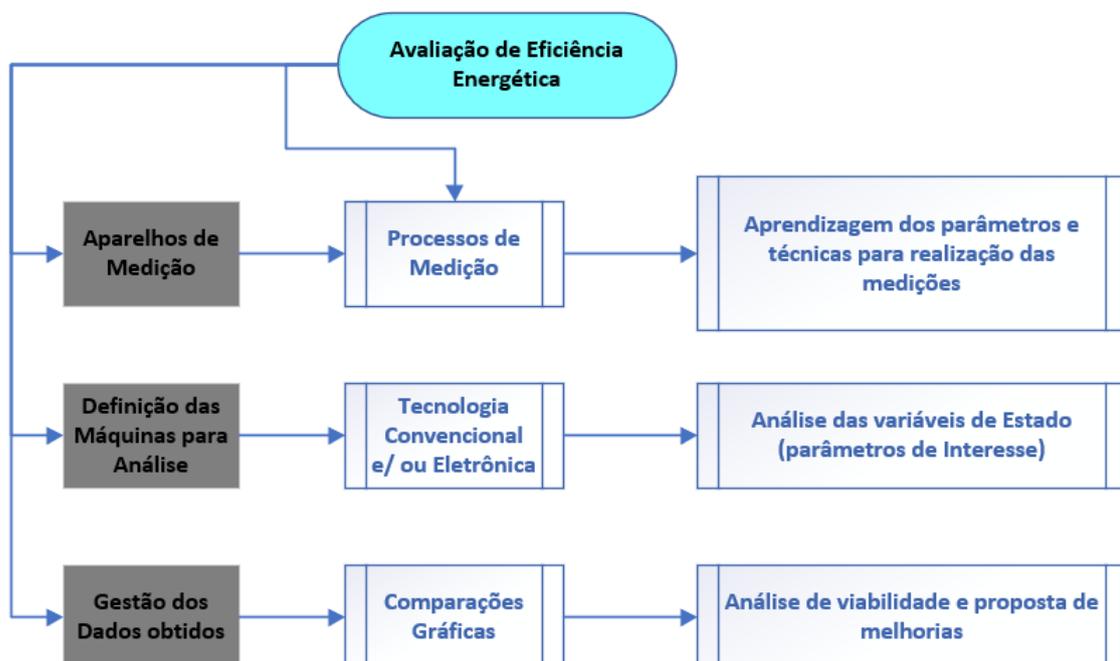
### 3 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo trata da metodologia utilizada para obter os dados necessários para a avaliação da efficientização de energia elétrica em máquinas de solda, ou seja, a descrição técnica de como foi desenvolvido o projeto.

#### 3.1 ESTRUTURA DO PROJETO

A estrutura do projeto de avaliação de eficiência energética tem como protagonista os aparelhos de medição de qualidade de energia, pois será através destes que os monitoramentos para realização das análises de eficiência energética ocorrerão, como existem inúmeras tecnologias de máquinas de solda no mercado, este projeto se restringirá as tecnologias de fonte convencional e inversora. Na Figura 3.1 observa-se a estrutura lógica das etapas do projeto.

FIGURA 3.1 – Estrutura do Projeto de Avaliação de Eficiência Energética



Fonte: Os Autores

Como os aparelhos de medição, os quais serão detalhados a seguir, após o devido conhecimento dos parâmetros de medição e forma de conexão com a carga,

31

serão analisados dois tipos de tecnologias de máquinas de solda, as que utilizam como fonte um transformador de tensão AC em corrente CC e as que empregam no processo de transformação de corrente CC uma fonte inversora.

Destarte, o processo ocorrerá em três cenários de medição: o primeiro com a máquina operando a vazio, isto é, ligada, mas sem a realização de soldagens. O segundo será montado em um banco de carga, que consiste em uma estrutura de tubos de material condutor acoplados a suportes de madeira, com refrigeração a água que passa no interior deles e cubos para conexões dos aparelhos de solda, de forma que seja possível simular as resistências no processo de soldagem. Este dispositivo permite a variação da resistência de solda, os ensaios foram realizados com a corrente elétrica CC fixada em 70A, resistência fixa no banco de cargas e tensão CC de 24V, os respectivos valores são na saída da máquina de solda.

E, por fim, o terceiro cenário, onde realizou-se a abertura do arco elétrico, efetivando o processo de soldagem. Os três cenários foram realizados para todas as máquinas ensaiadas em laboratório.

De posse desses dados, ocorrerá a gestão por meio de indicadores gráficos e a realização da análise de viabilidade das máquinas de solda de em questão.

## 3.2 INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

### 3.2.1 Fluke 434

O Fluke 434 é um instrumento Analisador de Qualidade de Energia , como o qual pode-se mensurar os parâmetros elétricos, tais como, tensão, corrente, fator de potência, harmônicas, demanda de consumo, entre outros. Com o analisador pode ser adicionado parâmetros de contabilização, avaliação de energia e um estudo das cargas presentes no circuito. O equipamento conta com uma interface gráfica e interativa, na Figura 3.2 é mostrado o equipamento.

FIGURA 3.2 – Fluke 434 II



Fonte: (FLUKE, 2018)

### 3.2.2 Powermonitor 3000

O Powermonitor 3000 é um dispositivo projetado e desenvolvido para medição de potência, podendo ser utilizado no controle e gerenciamento de energia. No dispositivo é possível visualizar parâmetros de demanda, potência, potência aparente, tensão e corrente ao longo do tempo (BRADLEY, 2009).

O aparelho pode ser utilizado para análise de parâmetros de tensão, corrente, consumo de energia e potência, fator de potência, harmônicas da rede e fator de carga (BRADLEY, 2009).

FIGURA 3.3 – PowerMonitor 3000



Fonte: (Allen Bradley)

### 3.2.3 Transformador de Corrente

Para análise dos parâmetros utiliza-se um transformador de corrente (TC) acoplado externamente ao powermonitor3000, conforme a Figura imagem 3.4. O TC, tem a finalidade de abaixar a corrente de forma a não danificar o aparelho de medição. O transformador de corrente utilizado é 75/5, isto permite que a corrente máxima de 75A será transformada em 5A. Estes parâmetros podem ser configurados no *menu PROGRAM* ao selecionar o tópico BASIC.

FIGURA 3.4 – Transformador de Corrente 75/5



Fonte: (Os Autores, 2018)

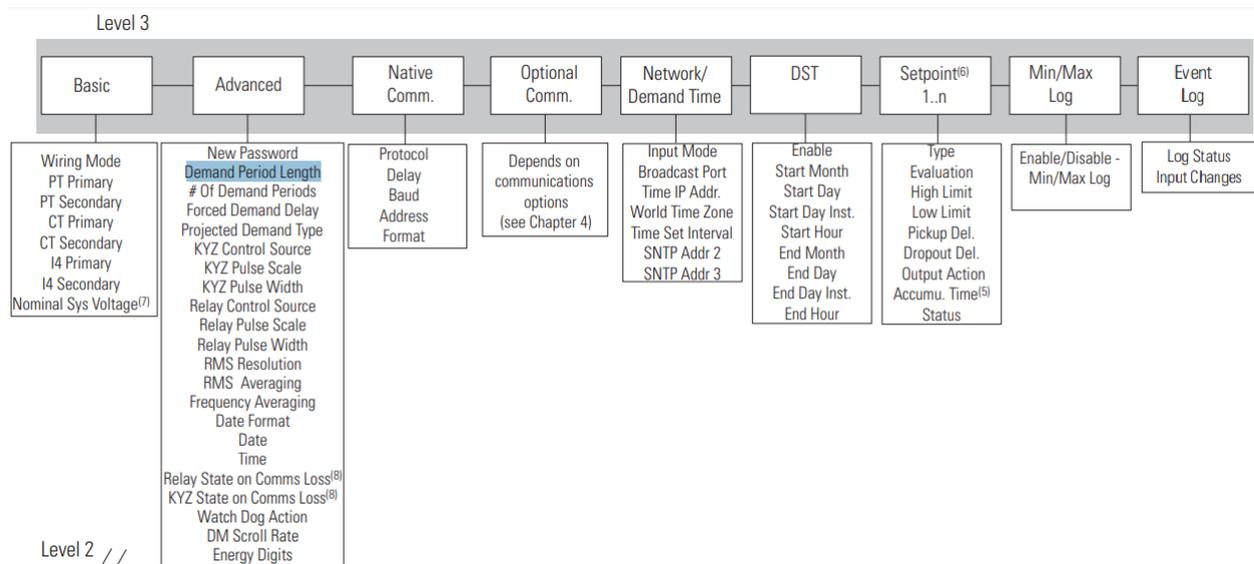
### 3.2.4 Níveis de configuração PowerMonitor

Para efetuar a medição dos parâmetros elétricos é necessário configurar o aparelho para o tipo de medição que se deseja realizar. Ao iniciá-lo são apresentados ao usuário dois cenários, onde é possível aceder o menu de programação e mediante o *display* acessar as informações. É essencial apagar as informações salvas de demanda, através do *level 3* no menu *advanced*, *Demand Period Lenght*, para que não ocorra erros nas leituras futuras.

O Powermonitor possui o menu dividido em quatro níveis de configuração, no *level 3* tem-se o menu de opções das medidas que serão exibidas, ao acessá-las será direcionado ao nível 4 onde é possível obter medições de tensão, corrente e potência. As Figuras 3.5 e 3.6 exibem os modos de configuração do aparelho e os níveis de

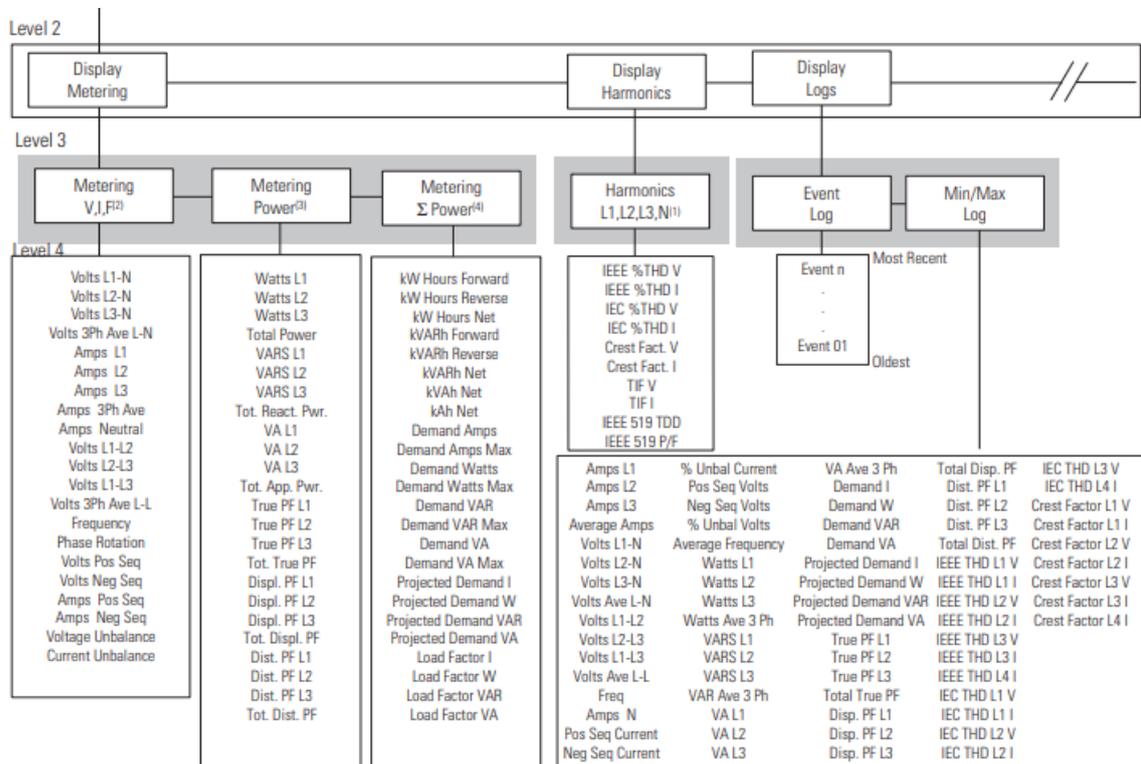
configuração e medição do aparelho.

FIGURA 3.5 – Níveis de programação PowerMonitor 3000



Fonte: (BRADLEY, 2009)

FIGURA 3.6 – PowerMonitor 3000- Níveis de Configuração



Fonte: (BRADLEY, 2009)

### 3.3 MÁQUINAS DE SOLDA

#### 3.3.1 MaxxiTIG 300P

A MaxxiTIG é uma fonte de soldagem que opera nos processos TIG AC/DC e Eletrodo Revestido e utiliza uma tecnologia por largura de pulso. Este é um modelo de equipamento que emprega a fonte inversora com regulagem de corrente através de potenciômetro (BALMER, 2017).

Características técnicas:

- Corrente de soldagem máxima: 315A;
- A Corrente de soldagem mínima: 20A;
- Faixa de tensão de trabalho: 10,8V - 32,6V;
- Tensão da rede: [+/-15%] 3 x 380V;
- Transformador de Potência: Inversor;
- Processo de Solda: TIG (AC) / TIG (DC) / TIG Pulsado, Eletrodo Revestido (ER)
- Grau de proteção: IP23;
- Norma: EN 60974-1'S' / CE.

Na Figura 3.7 é mostrado o equipamento.

FIGURA 3.7 – Maxxi TIG300 AC/DC



Fonte: Os Autores

### 3.3.2 SpecialTig UNO

Equipamento que opera em corrente contínua e alternada no processo TIG, este modelo de máquina de solda é pesado, possui 98kg. Sua corrente de saída é regulada em estepes, este equipamento é do tipo convencional, utiliza um transformador, sua tensão e corrente são alterados através do núcleo (CEBORA, 2011).

Características técnicas:

- Corrente de soldagem máxima: 200A;
- Faixa de tensão de trabalho: até 40V;
- Tensão da rede: [+/-15%] 2 x 380V;
- Transformador de Potência: Convencional;
- Processo de Solda: TIG, Eletrodo Revestido (ER);
- Grau de proteção: IP22;

O equipamento pode ser visto na Figura 3.8.

FIGURA 3.8 – SpecialTig UNO



Fonte: (CEBORA, 2011)

### 3.3.3 Fronius TS4000

O modelo Fronius TS4000 é uma fonte de energia inversora MIG/MAG digital, controlada por microprocessador, podendo ser operada manualmente ou por robô,

conforme exibido na, conforme exibido na Figura 3.9 (FRONIUS, 2017).

FIGURA 3.9 – Fronius TS4000



Fonte: (FRONIUS, 2017)

Características técnicas:

- Corrente de soldagem máxima 400A;
- A Corrente de soldagem mínima 3A;
- Faixa de tensão de trabalho 14,2V - 34V;
- Tensão da rede [ $\pm 15\%$ ] 3 x 400V;
- Processo de Solda: MIG/MAG, TIG e de eletrodos revestidos;
- Grau de proteção IP23.

#### 3.3.4 Metodologia para realização das medições

Como o objetivo de levantar as variáveis de estado inerentes as máquinas de solda, realizaram-se medições dos parâmetros de tensão, corrente, potência, influências das harmônicas na rede e fator de potência. O procedimento de medição segue as orientações do Protocolo Internacional de Medição e Verificação de performance (EVO), onde demonstra todos os procedimentos de segurança no trabalho e proteção ao soldador que devem ser seguidos e respeitados, com estes parâmetros será possível analisar o consumo de potência, os distúrbios ocasionados na rede e a qualidade do

fator de potência. E, desta forma, evitar desperdícios de energia e custos, como com multas sobre o fator de potência.

Todos os ensaios como as máquinas de solda, realizados em laboratórios, foram parametrizados no modo de eletrodo revestido para todos os modelos e corrente de soldagem (corrente CC de saída do aparelho), estabilizada em 70A para os três cenários realizados.

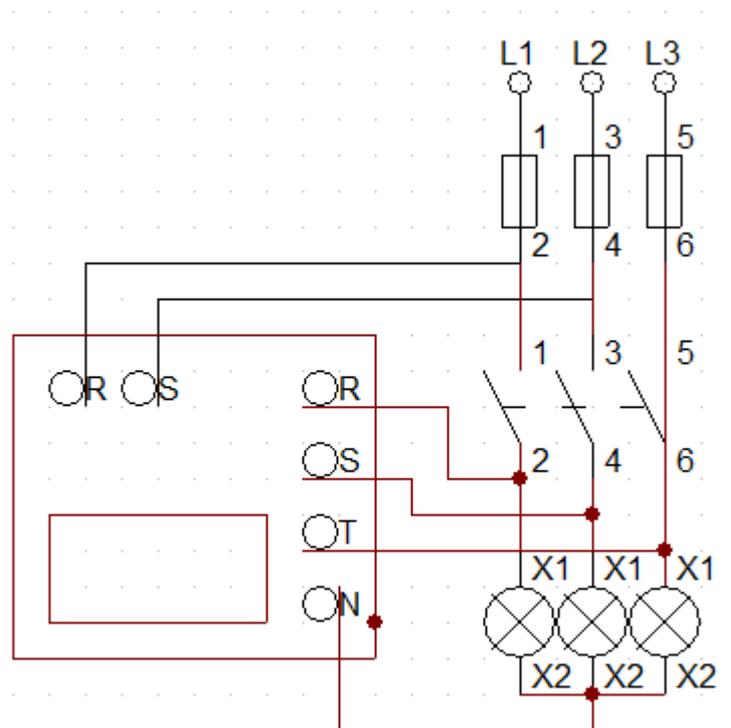
## 4 RESULTADOS

Este capítulo visa apresentar os resultados obtidos em laboratório, através da metodologia apresentada. A princípio, para definição da metodologia realizou-se ensaios com lâmpadas (carga) para as métricas das variáveis de interesse e posteriormente a medição das máquinas de solda.

### 4.1 RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS EM LABORATÓRIO

Realizou-se experimentos no laboratório de Automação Industrial da UFPR, sala PK12, com objetivo de conhecer os aparelhos de medição e testá-los. Inicialmente, utilizou-se como carga teste 3 lâmpadas de 220V com potência unitária de 60W. No primeiro experimento, o Powermonitor foi alimentado com uma tensão de 220V, conforme solicitado pelo fabricante, e as cargas foram conectadas pelo método estrela, conforme o diagrama esquemático mostrado na 4.1.

FIGURA 4.1 – Esquemático ligação em estrela

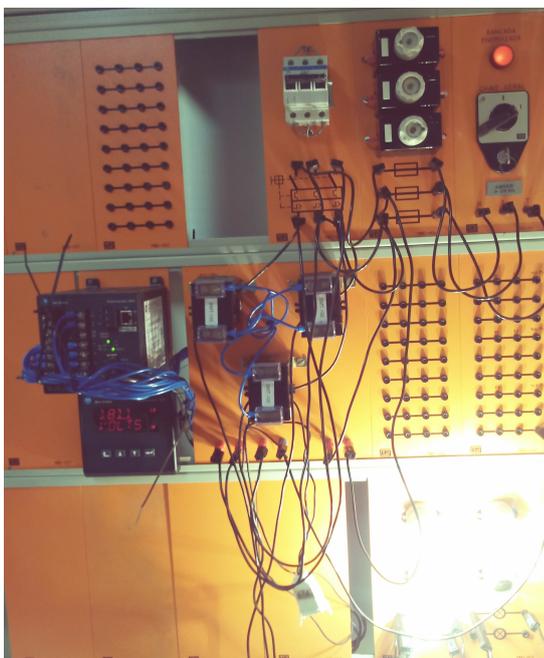


Fonte: (Os Autores, 2018)

A figura 4.2 expõe o circuito teste montado em laboratório. Para as conexões

utilizou-se cabos do tipo banana-banana, o circuito estava operando com uma chave geral e um disjuntor trifásico, para facilitar os acionamentos e contribuir com a segurança do projeto. Na figura 4.3 é mostrado as medidas obtidas no PowerMonitor.

FIGURA 4.2 – Ligação Estrela



Fonte: (Os Autores, 2018)

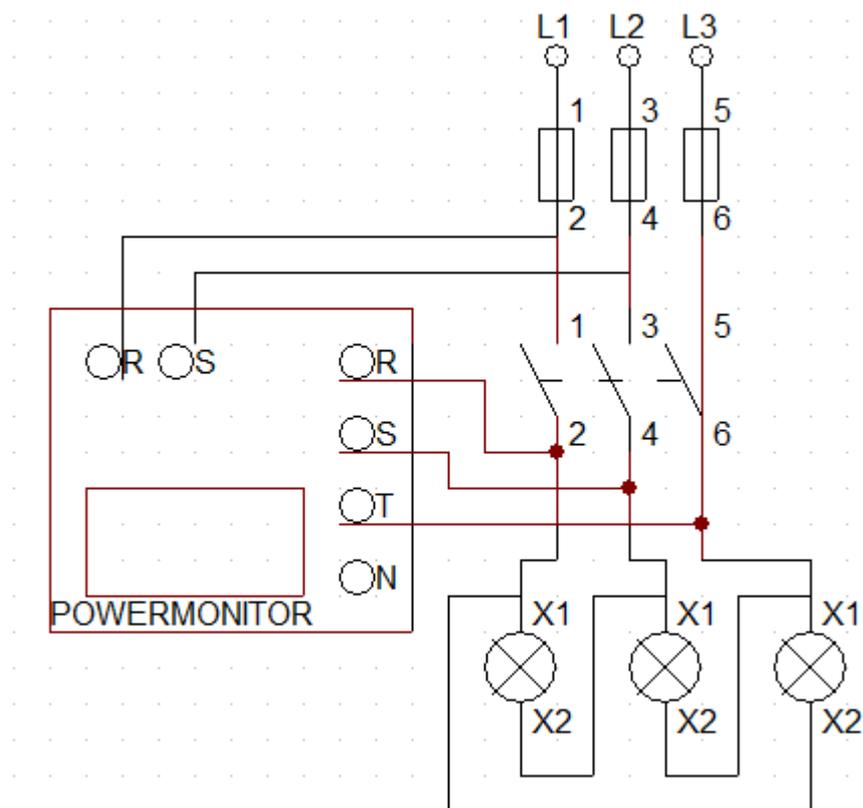
FIGURA 4.3 – Medições do aparelho em Estrela



Fonte: (Os Autores, 2018)

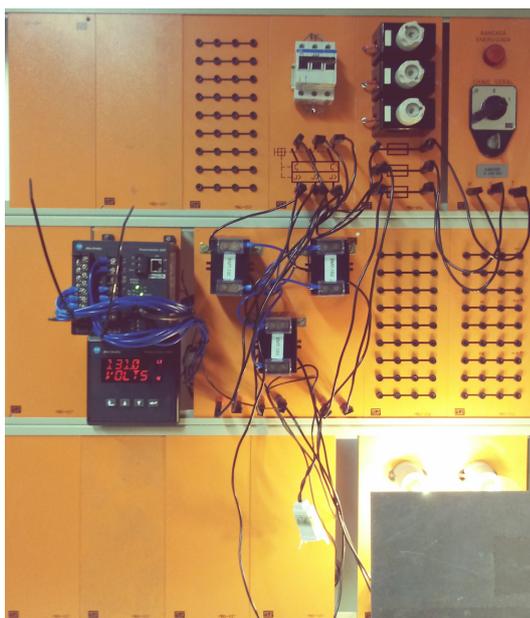
O segundo experimento realizado, utilizou-se o esquema de ligação triângulo também denominado delta, para as cargas foram mantidas as mesmas lâmpadas de 220V, com 60W, conforme e mostrado na Figura 4.4. A Figura 4.5 demonstra a estrutura de teste e a Figura 4.6 exhibe os resultados obtidos através do Powermonitor.

FIGURA 4.4 – Esquemático ligação delta



Fonte: (Os Autores, 2018)

FIGURA 4.5 – Ligação Estrela



Fonte: (Os Autores, 2018)

FIGURA 4.6 – Medições do aparelho em triângulo



Fonte: (Os Autores, 2018)

A TABELA 1 apresenta os valores medidos com o PowerMonitor 3000, neste momento o objetivo dos ensaios é obter conhecimento sobre os aparelhos de medição.

Os mesmos experimentos foram realizados com aparelho medidor de qualidade de energia Fluke 434 II e os mesmos resultados foram alcançados. O Fluke possui mais funções para a realização das medições e tem a grande vantagem de ser portátil, além da praticidade para a conexão ao elemento que se deseja analisar.

TABELA 1 – Tabela ligação Delta e Estrela

Analisador	Ligação	Medição	Medições de Linha		
			Linha (L1)	Linha (L2)	Linha (L3)
PowerMonitor 3000	Triângulo	Tensão (V)	1258	128,8	127,5
		Corrente (A)	0,178	0,192	192
		Potência (W)	21,32	24,56	24,58
	Estrela	Tensão (V)	125,8	128,8	127,5
		Corrente (A)	0,178	0,192	0,192
		Potência (W)	21,32	24,56	24,58

Fonte: Os Autores (2018)

## 4.2 CENÁRIOS DE TESTES

Visando uma melhor avaliação dos resultados e simulação das reais situações presentes no dia a dia das indústrias, efetuou-se três cenários para os ensaios laboratoriais, em que as três máquinas, MaxxiTIG 300P, SpecialTig Uno e Fronius TS4000, passaram pelos mesmos tipos de testes. Os parâmetros dos cenários foram medidos como o Fluke 434 II e corroborados pelo medidor eletrônico polifásico E650 da Landys+Gyr, um multímetro e um alicate amperímetro

- **Cenário 1:** Testes e comparação entre as tecnologias em Stand-by;
- **Cenário 2:** Testes e comparação entre as tecnologias em com banco de Cargas;

- **Cenário 3:** Testes e comparação entre as tecnologias com soldagem em Arco.

#### 4.2.1 Ensaio em Stand-by

O primeiro cenário, consiste na análise energética das máquinas quando estão ligadas, mas não estão efetivamente em operação de solda, ou seja, operando a vazio. A TABELA 2 apresenta o resumo dos dados obtidos para o teste a vazio.

TABELA 2 – Máquinas de Solda em Stand-By

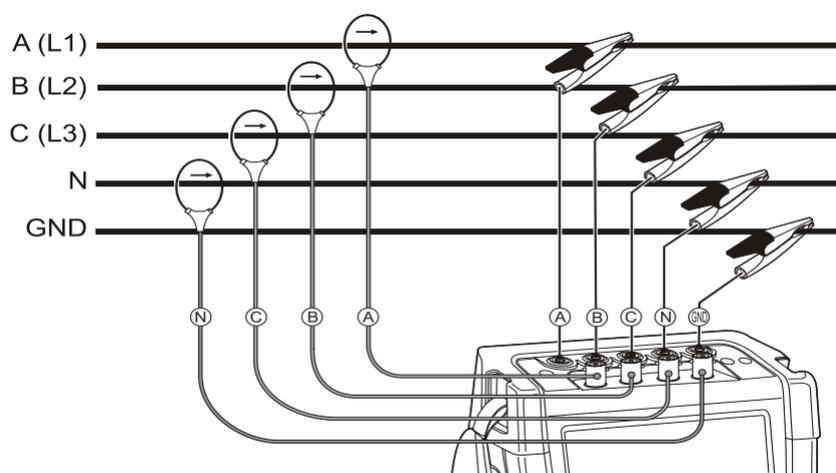
Medições	Maxxi TIG300AP	SpecialTig UNO	Fronius TS4000
Potencia Ativa (kW)	0,2	0,3	0,3
Tensao (V)	122,9	123,1	216,3
Corrente (A)	1,63	2,44	1,39
Fator de potência (FP)	0,63	0,31	0,74

Fonte: Os Autores (2018)

#### 4.2.2 Ensaio com Carga estática

A fim de realizar a análise dos parâmetros das máquinas, adotou-se os seguintes procedimentos: o circuito foi desligado do sistema de alimentação, por meio do disjuntor do local. Inicialmente, conectou-se as pinças do FLuke 434 II nos cabos condutores que alimentam a máquina, após a conexão, averiguou-se que os alicates amperímetros estavam conectados corretamente por intermédio da seta indicativa de polaridade. Seguidamente, conectou-se o sistema de tensão trifásico nas respectivas fases A(L1), B(L2), C(L3) e N (neutro) conforme o arranjo indicado na Figura 4.7

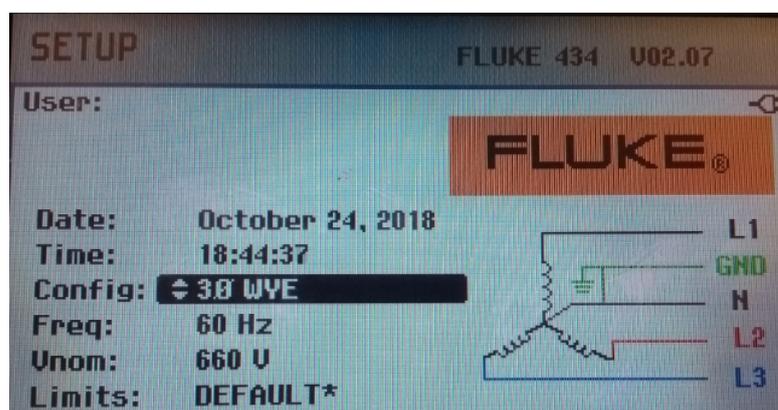
FIGURA 4.7 – Conexão do Fluke com o sistema trifásico



Fonte: (FLUKE, 2018)

O analisador Fluke 434 II foi configurado para operar em uma ligação do tipo estrela e frequência de 60Hz, em consonância com a operação de trabalho das máquinas de solda, cuja configuração é exibida na Figura 4.8.

FIGURA 4.8 – Configuração do FLUKE



Fonte: (FLUKE, 2018)

A carga estática, conforme a Figura 4.9, compõe-se de um arranjo de tubo cilíndrico condutor de energia elétrica, fixado a duas hastes de madeira, com conectores elétricos móveis. Por meio de conectores os plugues da máquina de solda foram fixados a carga. A configuração padrão para todas as máquinas analisadas possuem as seguintes métricas: corrente de saída fixada em 70A, com os conectores da carga estática na mesma posição (valor de resistência fixa) e modo de soldagem em eletrodo revestido.

FIGURA 4.9 – Banco de carga estática



Fonte: (FLUKE, 2018)

Após a configuração dos equipamentos e do aparelho de medição montou-se o cenário com o banco de carga, consoante se infere da Figura 4.10

FIGURA 4.10 – Cenário com carga estática



Fonte: (Os Autores, 2018)

Conectou-se um alicate amperímetro na saída da fonte de solda, para validar a corrente que estava sendo fornecida pelo aparelho, nos moldes que ilustra a Figura 4.11.

FIGURA 4.11 – Corrente saída fonte de solda



Fonte: (Os Autores, 2018)

Com o auxílio de um multímetro, mensurou-se a diferença de potencial nos conectores do banco de carga, constatado a tensão de 28.9V, consoante demonstra a Figura 4.12.

FIGURA 4.12 – Tensão no banco de carga



Fonte: (Os Autores, 2018)

Como o valor de resistência da carga é fixo, ou seja, com os conectores na mesma posição e distancia, bem como a corrente CC de saída também permaneceu fixada a 70A, simulando que todas as máquinas estavam operando no mesmo processo de soldagem. Neste caso, a potência de saída é aproximadamente a mesma para os três aparelhos, com o valor de 2023W.

Mantendo as mesmas características, para que as medidas seguintes utilizassem do mesmo padrão. Mediu-se as grandezas elétricas na entrada das máquinas, conforme visto na TABELA 3.

TABELA 3 – Medição MAXXI TIG300AP como o banco de Carga - entrada da máquina

Medições	Maxxi TIG300AP
Potencia Ativa (kW)	2,5
Tensao (V)	122,9
Corrente (A)	20,34
Fator de potência (FP)	0,78

Fonte: (Os Autores, 2018)

O mesmo procedimento foi repetido para as medições das demais fontes, SpecialTig UNO (tipo convencional) e o equipamento Fronius modelo TS4000 (inversora com tecnologia mais recente), os resultados são apresentados na TABELA 4.

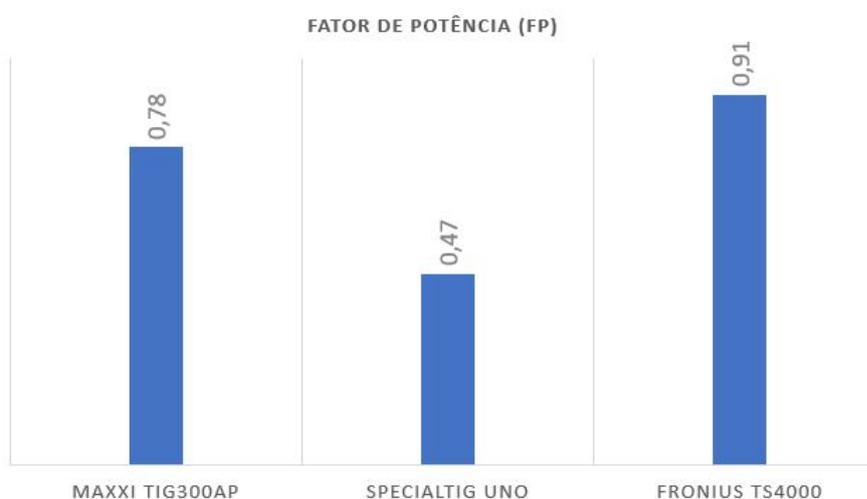
Na Figura 4.13, é mostrado um gráfico do tipo barra, onde é possível identificar a diferença dos fatores de potência das fontes de solda, do tipo convencional e inversora, no cenário em operação no banco de carga.

TABELA 4 – Comparativo de Máquinas em Banco de Carga

Medições	Maxxi TIG300AP	SpecialTig UNO	Fronius TS4000
Potencia Ativa (kW)	2,5	4,5	2,1
Tensao (V)	122,9	123,1	216,3
Corrente (A)	20,34	36,56	9,71
Fator de potência (FP)	0,78	0,47	0,91

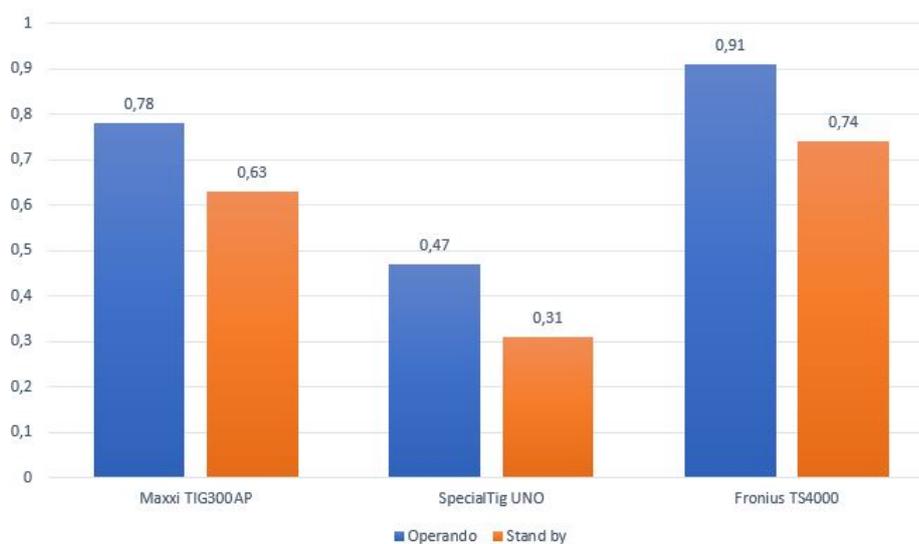
Fonte: (Os Autores, 2018)

FIGURA 4.13 – Fator de Potência equipamento em operação no Banco de Carga



Fonte: (Os Autores, 2018)

FIGURA 4.14 – Gráfico fator de potência Operação x Stand By



Fonte: (Os Autores, 2018)

#### 4.2.3 CENÁRIO COM ARCO ELÉTRICO ELETROMAGNÉTICO

Para que seja possível abertura do arco elétrico fez-se necessário utilizar um cilindro de gás do tipo Argônio (Ar), utilizou-se um eletrodo de tungstênio na tocha da máquina de solda, desta forma foi possível realizar a abertura do arco elétrico.

Este método de solda gera uma radiação eletromagnética que passa dos espectros das radiações ultravioleta (UV) e infravermelha, podendo causar problemas visuais ou cutâneos (BARRA, 2012).

Como forma de proteção, visando manter as normativas de segurança no trabalho, foram utilizados biombos de ferro, para impedir a exposição direta as radiações do processo de soldagem a arco conforme mostrado na Figura 4.15.

FIGURA 4.15 – Cenário 2 com solda Arco



Fonte: (Os Autores, 2018)

Após as devidas precauções e a abertura do arco eletromagnético, iniciou-se as medidas, embora a corrente de saída não seja controlável, foi mensurado a tensão de 14,2V, consoante mostra a Figura 4.16.

FIGURA 4.16 – Tensão de Saída com Arco Eletromagnético



Fonte: (Os Autores, 2018)

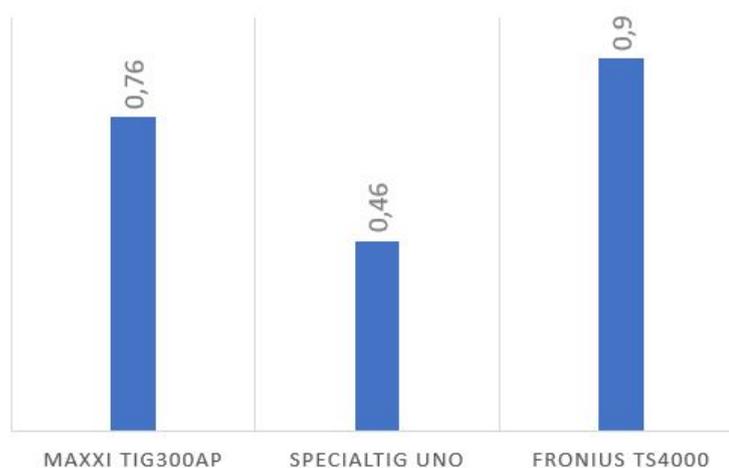
A partir do procedimento adotado, mensurou-se os dados de todas as fontes de solda, com o arco aberto, conforme é mostrado na TABELA 5 e Figura 4.17.

TABELA 5 – Medição de Fontes em Arco Elétrico

Medições	Maxxi TIG300AP	SpecialTig UNO	Fronius TS4000
Potencia Ativa (kW)	1,9	5,4	1,6
Tensao (V)	122,9	123,1	216,3
Corrente (A)	15,46	43,87	7,40
Fator de potência (FP)	0,76	0,46	0,9

Fonte: Os Autores (2018)

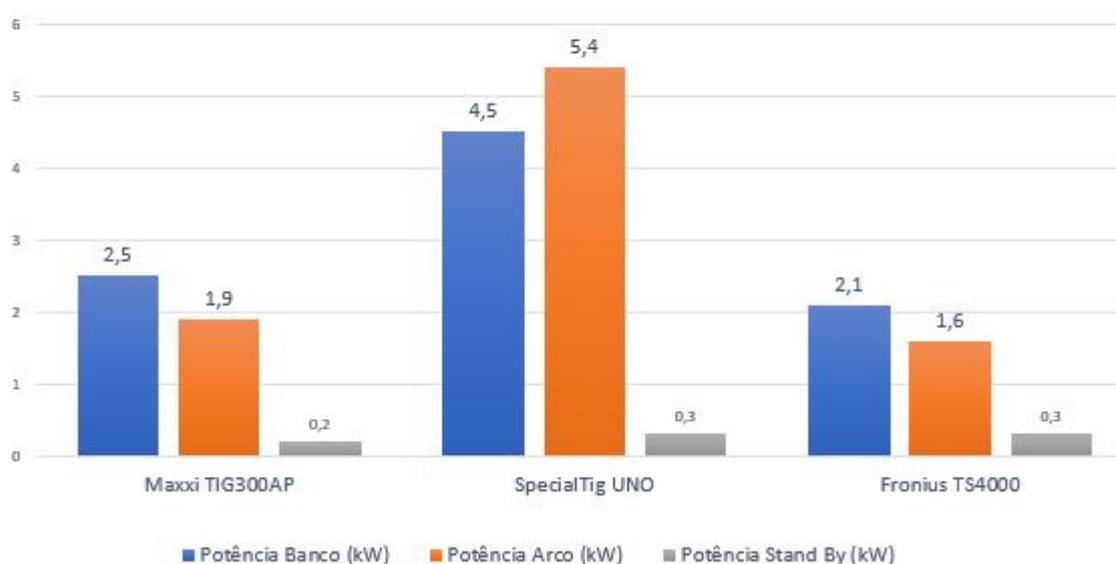
FIGURA 4.17 – Gráfico fator de potência Operação Arco



Fonte: (Os Autores, 2018)

Na Figura 4.18 tem-se um comparativo entre as potências ativas das fontes de solda, o gráfico exibe os três cenários propostos. No primeiro, está a potência dos equipamentos operando com o banco de carga, no segundo, o quanto a máquina está consumindo pelos método de soldagem a arco e o terceiro exibe os equipamentos operando em *stand by* ou seja a vazio.

FIGURA 4.18 – Gráfico de potências máquinas Banco X Arco X Stand By



Fonte: (Os Autores, 2018)

### 4.3 ANÁLISE DE EFICIÊNCIA

Ao comparar a potência de saída, com a potência de entrada, é possível obter a eficiência do aparelho para gerar o trabalho para o qual é especificado. Nesta conjuntura, pode-se comparar a eficiência, considerando o cenário para o banco de cargas, das três máquinas de solda, como exposto na TABELA 6. Estes valores são diretamente proporcionais ao processo de solda que está em operação e o tipo de material que será soldado, sendo assim poderão sofrer alteração em outros processos.

TABELA 6 – Eficiência equipamentos em Banco de Carga

Modelo	Potência Entrada [W]	Potência Saída [W]	Eficiência
Fronius TS4000	2100	2023	96%
Maxxi TIG300AP	2500	2023	81%
SpecialTig UNO	4500	2023	45%

Fonte: Os Autores (2018)

#### 4.3.1 Orientação Específicas

Buscando a melhoria da eficiência energética, com o objetivo de galgar receita através da energia economizada, é necessária a efetivação de medidas preventivas ou corretivas, dependendo do caso. Com base nas normas da Copel, ND.50, Ligação de máquinas de Solda nas redes de Distribuição de Energia Elétrica, da ELEKTRO Eletricidade e Serviços S.A e ANATEL remenda-se, como medidas preventivas:

- Realizar a análise de dimensionamento dos cabos condutores de energia, que fazem parte do circuito que fornece energia para as máquinas de solda, seguindo as normas presentes na ABNT NBR 5410 (ND.50, 2017);
- Conhecer os parâmetros elétricos das máquinas presentes na linha de produção;
- Medir e controlar o fator de potências das máquinas, para evitar multas;
- Analisar a eficiência das máquinas de solda, presentes no processo de fabricação e realizar o estudo de viabilidade para possíveis substituições;
- Verificar se a utilização dos aparelhos não excede o indicado pelo fabricante e se a operação está sendo realizada adequadamente;
- Realizar manutenção preventiva nos equipamentos;
- Instruir os operadores e ressaltar a importância de seguir os procedimentos, sobre os cuidados com os aparelhos e sobre eficácia energética;

#### 4.4 CONSUMO

Através dos dados obtidos determinou-se o consumo dos aparelhos no período de um ano, considerado um tempo de 250 dias, pois é média de dias úteis presente em um ano, como exemplo, segue o cálculo realizado para a máquina Maxxi TIG 300 AP, conforme mostrado nas equações (4.1), (4.2), (4.3) e (4.4). O valor de R\$ 0,4625 da tarifa foi baseado consoante os dados obtidos pela COPEL, neste valor não está sendo considerado o ICMS e o PIS/COFINS. O mesmo processo foi realizado para os

demais aparelhos, consoante exhibe a Figura 4.20.

$$Energia = P * t \quad (4.1)$$

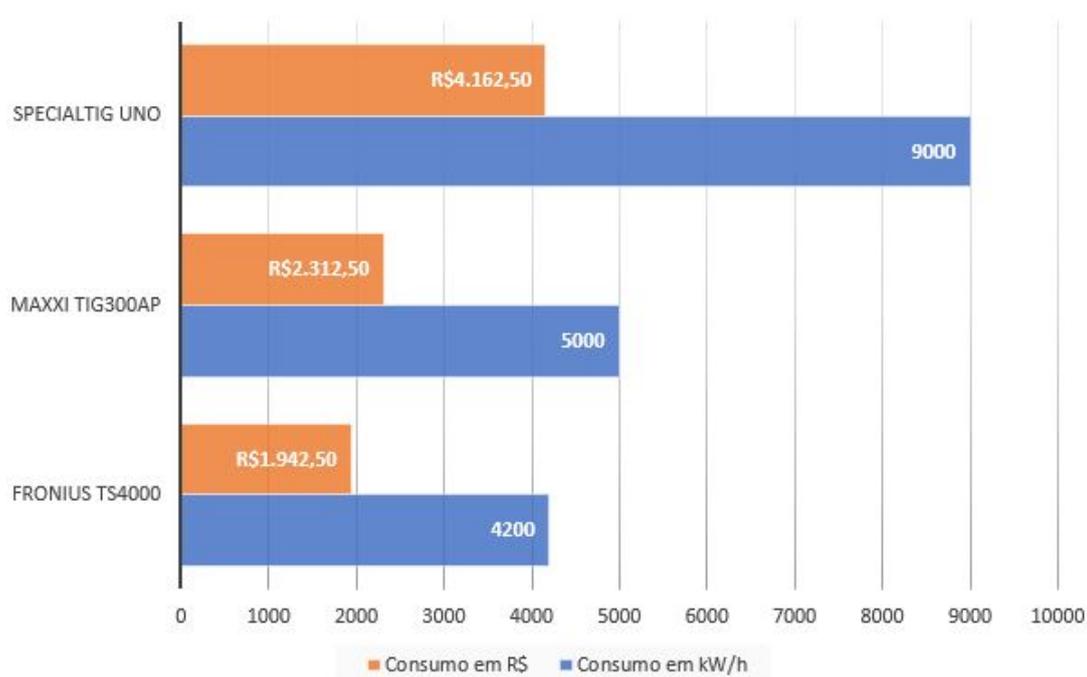
$$Energia = 2,5 * 1 = 2,5kWh \quad (4.2)$$

$$Consumo = 2,5 * 8horas * 250dias = 5000kW \quad (4.3)$$

$$Consumo = 5000 * 0,4625 = R\$ 2312,50 \quad (4.4)$$

Na Figura 4.19 é mostrado um gráfico comparativo de consumo entre as máquinas de solda em um período de um ano.

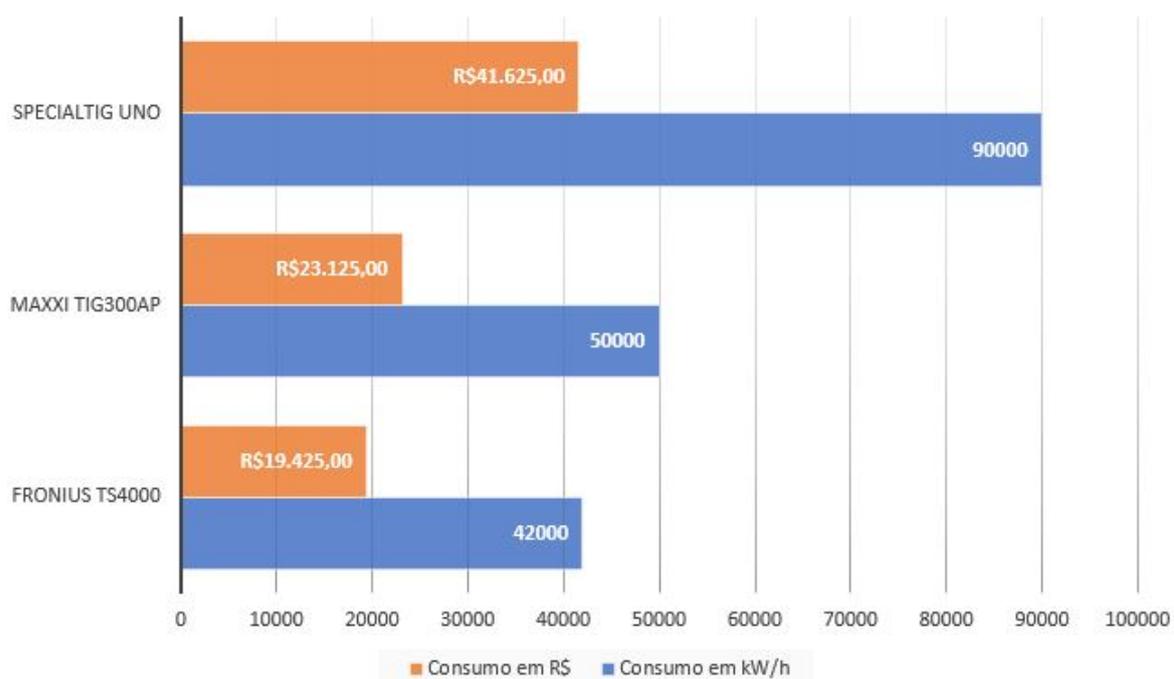
FIGURA 4.19 – Gráfico de Consumo anual de R\$ x kWh no banco de Carga



Fonte: (Os Autores, 2018)

A Figura 4.20 demonstra a projeção de consumo, para um ambiente fabril que possua 10 equipamentos, na qual observa-se o comparativo de custo (R\$) por kWh.

FIGURA 4.20 – Gráfico de Consumo anual de R\$ x kWh com 10 equipamentos



Fonte: (Os Autores, 2018)

#### 4.5 PAYBACK

Efetuada o cálculo de *payback*, também denominado de tempo de retorno de investimento, comparando-se as duas tecnologias de fontes abordadas neste trabalho, a inversora com convencional, os importes das máquinas de solda foram estimados com base nos valores presentes de mercado.

- Special TIG Uno R\$5.000,00
- Maxxi TIG 300AP 13.990,00

Considerando os valores de consumo anual obtidos, no cenário com o banco de carga estática, obtém-se:

$$Economia = Consumo_{TIGUNO} - Consumo_{MAXXI} \quad (4.5)$$

$$Economia = 4162,50 - 2312,50 = R\$1850,00 \quad (4.6)$$

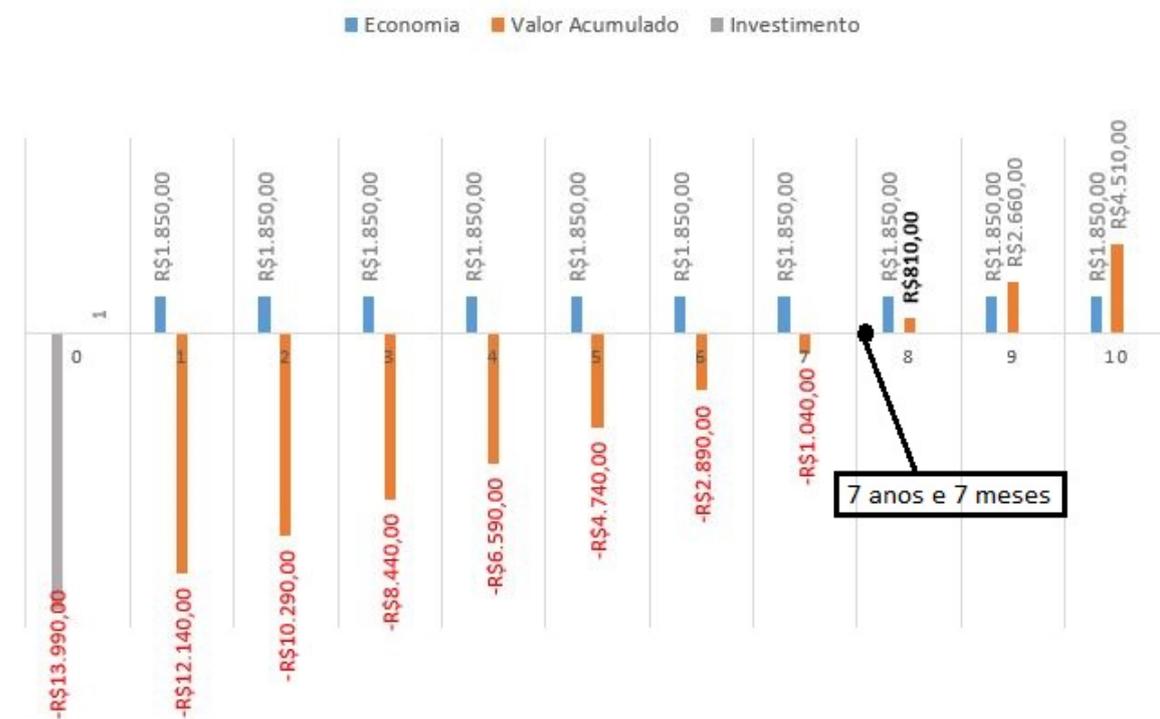
$$Payback = \frac{13990}{1850} = 7,5621 \quad (4.7)$$

$$\text{Payback} = 7 \text{ anos e } 7 \text{ meses.} \quad (4.8)$$

No gráfico da Figura 4.21, denota-se a projeção do tempo de retorno de investimento, pelo método de fluxo de caixa, ao trocar um equipamento do modelo antigo, do tipo convencional para uma inversora.

Anualmente, tem-se a receita de R\$1.850,00 representada no fluxo de caixa como valores positivos, ou seja, acima do eixo horizontal. O investimento inicial de R\$ 13.990,00 é descontado anualmente e o tempo de retorno de investimento é de 7 anos e 7 meses, para um equipamento que use solda do tipo TIG com eletrodo revestido. Esta estimativa de tempo de retorno não considera os custos com manutenção e nem as possíveis multas, que poderão ocorrer pelo baixo fator de potência encontrado nas máquinas convencionais.

FIGURA 4.21 – Gráfico de Payback Maxi TIG x Special Tig Uno



Fonte: (Os Autores, 2018)

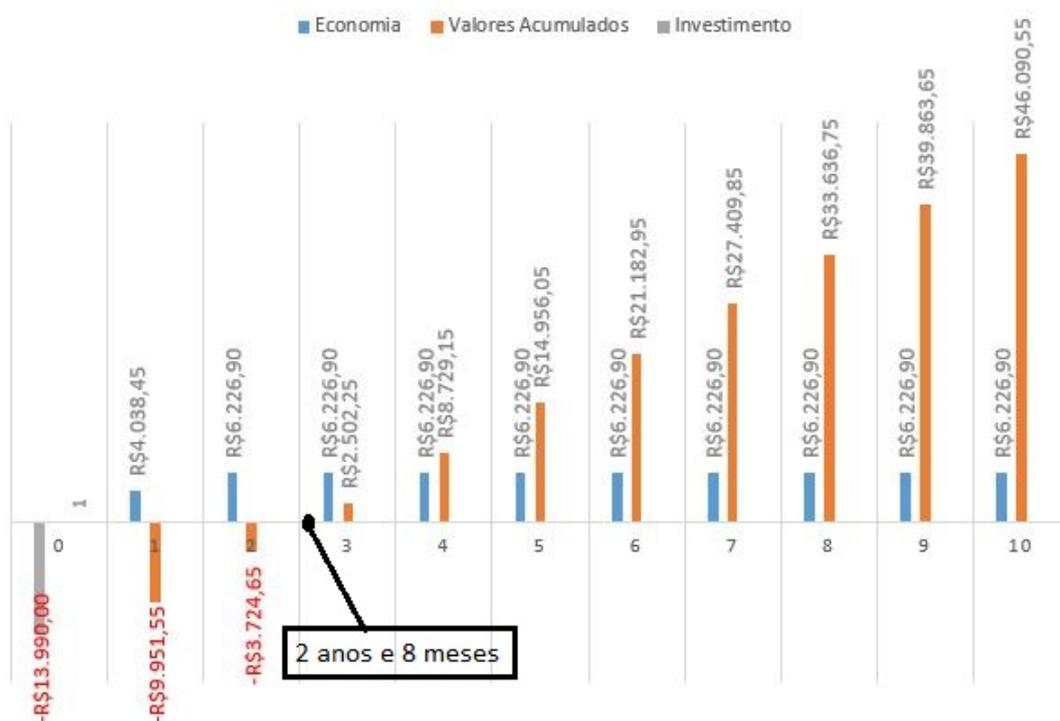
Concretizando os mesmos cálculos para *payback*, utilizando os dados de consumo do equipamento em soldagem a arco, obteve-se o retorno do investimento em 2 anos e 3 meses, nos moldes da Figura 4.22.

FIGURA 4.22 – Gráfico de Payback Maxi TIG x Special Tlg Uno com Arco



Fonte: (Os Autores, 2018)

FIGURA 4.23 – Gráfico de Payback Maxi TIG x Special Tlg Uno utilizando banco de arco



Fonte: (Os Autores, 2018)

#### 4.6 DISTORÇÃO HARMÔNICA TOTAL

Realizou-se com o analisador FLUKE 434 II, as medições das distorções de harmônicas total (THD) presentes na rede, a fim detectar perturbações e distúrbios. Mensurou-se as componentes de tensão e corrente conforme mostrado na TABELA 7.

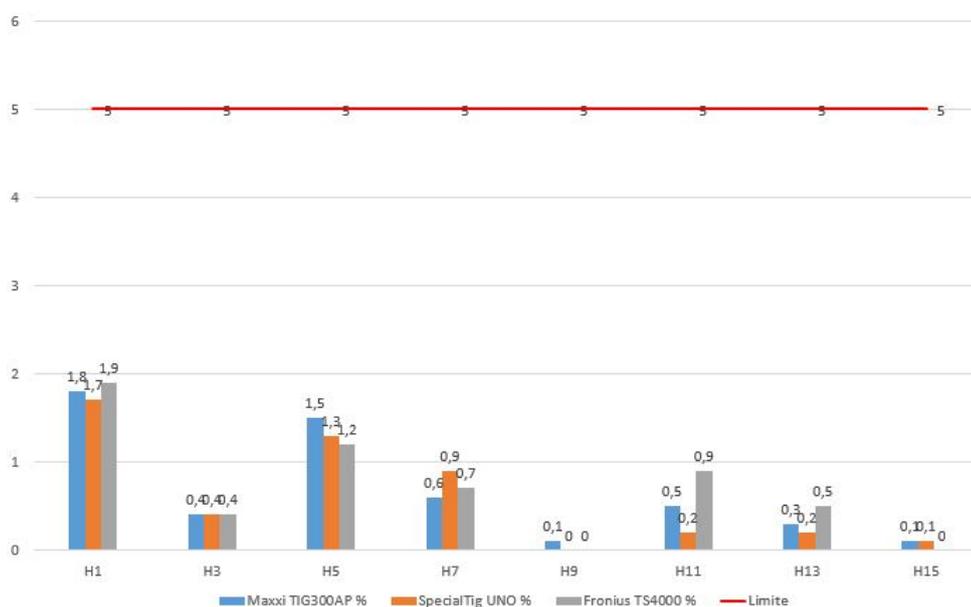
TABELA 7 – THD de tensão máquinas em operação

Nº	Maxxi TIG300AP %	SpecialTig UNO %	Fronius TS4000 %
H1	1,8	1,7	1,9
H3	0,4	0,4	0,4
H5	1,5	1,3	1,2
H7	0,6	0,9	0,7
H9	0,1	0	0
H11	0,5	0,2	0,9
H13	0,3	0,2	0,5
H15	0,1	0,1	0

Fonte: (Os Autores, 2018)

Segundo a norma IEC 61000-2-2 o THD de tensão abaixo de 5% são considerados dentro dos padrões aceitáveis, valores entre 5% e 8% indicam que as harmônicas podem ocasionar mau funcionamento nos equipamentos. E por fim, valores acima de 8% necessitam de sistema de atenuação (FLANDOLI, 2017). Na Figura 4.24 é apresentado um sistema não apresentou problemas harmônicos, pois não ultrapassou a faixa dos 5%.

FIGURA 4.24 – Gráfico THD de tensão máquinas em operação



Fonte: (Os Autores, 2018)

Na TABELA 8 tem-se os dados das distorções harmônicas de corrente, que conforme as normativas da IEC 61000-2-2 THD inferiores a 10% são considerados normais. Valores entre 10% e 50% são harmônicas que podem ocasionar um aumento da temperatura, podendo ocasionar sobredimensionamento dos cabos. E valores acima de 50% são críticos sendo necessário uma sistema de atenuação (FLANDOLI, 2017).

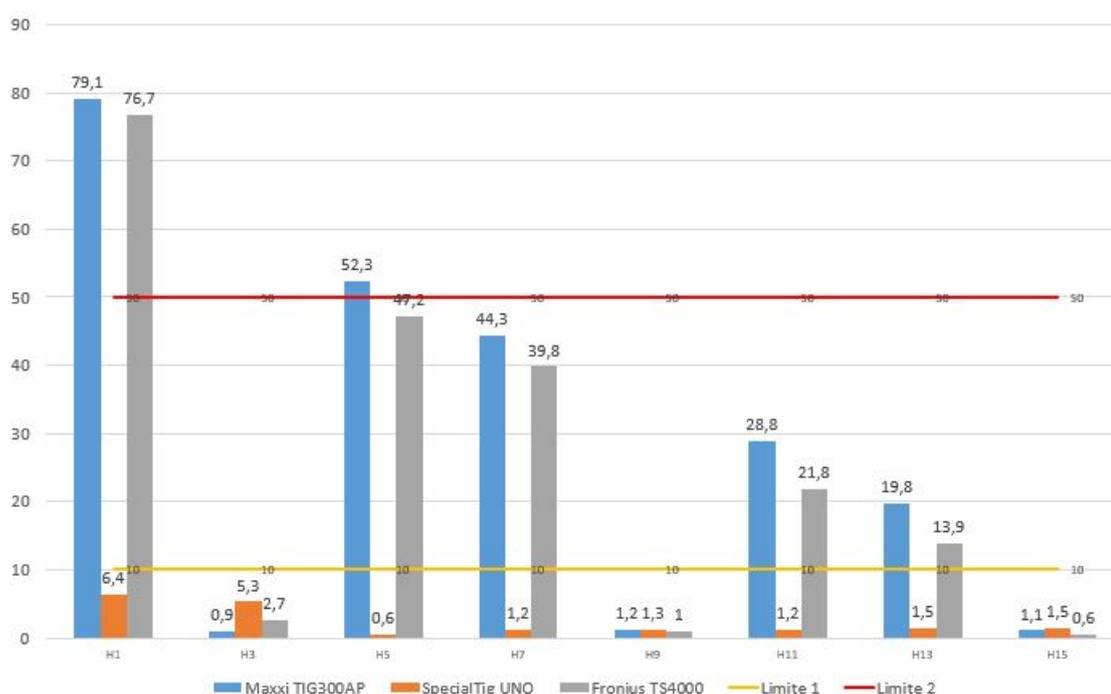
TABELA 8 – THD de Corrente Máquinas em Operação

Nº	Maxxi TIG300AP	SpecialTig UNO	Fronius TS4000
H1	79,1	6,4	76,7
H3	0,9	5,3	2,7
H5	52,3	0,6	47,2
H7	44,3	1,2	39,8
H9	1,2	1,3	1
H11	28,8	1,2	21,8
H13	19,8	1,5	13,9
H15	1,1	1,5	0,6

Fonte: (Os Autores, 2018)

Por intermédio do gráfico exposto na FIGURA 4.25 é possível identificar que as inversoras Maxxi TiG300Ap e Fronius TS4000 apresentam problemas críticos na primeira harmônica e distorções nas harmônicas subsequentes.

FIGURA 4.25 – Gráfico de THD de corrente operação



Fonte: (Os Autores, 2018)

Na TABELA 9 é apresentado os dados de THD de tensão com os equipamentos em *Stand By*.

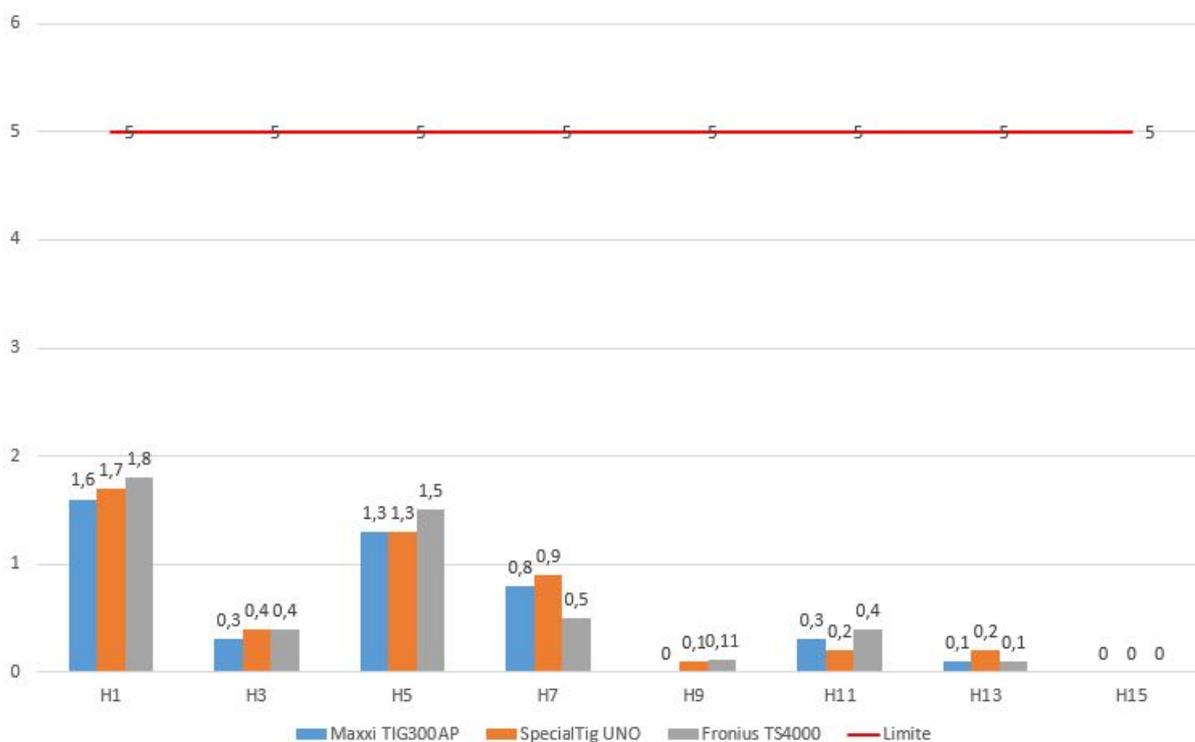
TABELA 9 – THD de tensão máquinas em Stand By

Volt	Maxxi TIG300AP	SpecialTig UNO	Fronius TS4000
H1	1,6	1,7	1,8
H3	0,3	0,4	0,4
H5	1,3	1,3	1,5
H7	0,8	0,9	0,5
H9	0	0,1	0,11
H11	0,3	0,2	0,4
H13	0,1	0,2	0,1
H15	0	0	0

Fonte: (Os Autores, 2018)

No gráfico apresentado na FIGURA 4.26 observa-se as distorções harmônicas de tensão, as máquinas de solda não apresentaram distorções problemáticas, pois todas as fontes estão com valores abaixo do limite estabelecido pela norma.

FIGURA 4.26 – Gráfico de THD de Tensão Stand By



Fonte: (Os Autores, 2018)

Na TABELA 10 é mostrado os dados de distorções harmônicas de corrente, das máquinas de solda em *stand by*.

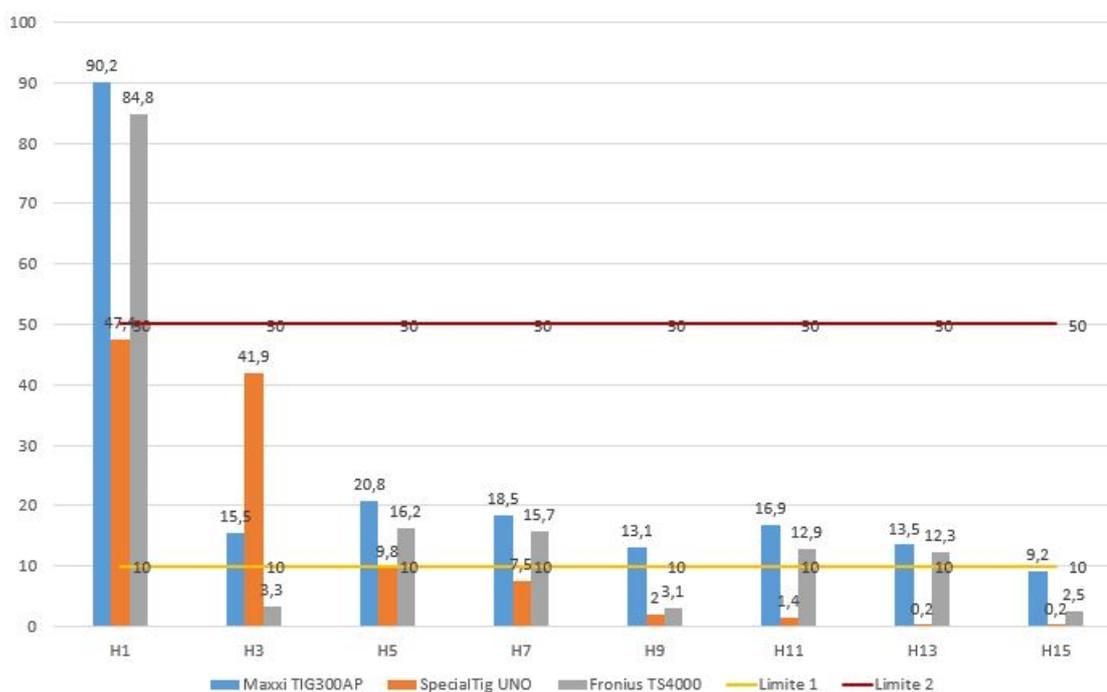
TABELA 10 – THD de Corrente com Máquinas em Stand By

Nº	Maxxi TIG300AP	SpecialTig UNO	Fronius TS4000
H1	90,2	47,4	84,8
H3	15,5	41,9	3,3
H5	20,8	9,8	16,2
H7	18,5	7,5	15,7
H9	13,1	2	3,1
H11	16,9	1,4	12,9
H13	13,5	0,2	12,3
H15	9,2	0,2	2,5

Fonte: (Os Autores, 2018)

Na FIGURA 4.27 é apresentado um gráfico de harmônicas de corrente, onde é possível identificar distorções que podem ocasionar aquecimento no sistema, pois os valores estão acima dos limites predeterminados em norma.

FIGURA 4.27 – Gráfico de THD de Corrente com Máquinas em Stand By



Fonte: (Os Autores, 2018)

## 5 CONCLUSÃO

Detalhar os custos variáveis na produção é de extrema importância para o ciclo de vida de um produto, esta ferramenta de gestão de custos pode torná-lo mais viável e competitivo. Neste contexto, com destaque, se apresenta a eficiência energética, a qual possui expressiva representatividade no custo final de produção.

A eficiência no consumo de energia elétrica nas indústrias que utilizam máquinas de solda, pode ser obtida com o diagnóstico dos aparelhos presentes na linha de produção.

Neste trabalho, como a realização dos ensaios, foi possível aferir que uma indústria, que contém muitas máquinas com fonte de corrente transformadora, poderá ter seus custos com energia elevados em razão da baixa eficiência da máquina e, ainda, corre o risco de sofrer multas quanto ao baixo fator de potência.

Notoriamente, as fontes com tecnologia inversora possuem maior custo para o investimento inicial, entretanto, dependendo do porte da indústria, este valor pode ser recuperado em menos de 5 anos, passando a gerar fluxo de caixa positivo somente com a economia de energia.

Por meio dos estudos sobre os processos de soldagens, obteve-se o conhecimento do comportamento da corrente elétrica e, através das medições com os aparelhos medidores de energia, foi possível acompanhar o comportamento elétrico das máquinas de solda nos estágios de trabalho operacional.

Constatou-se que o consumo a vazio, dependendo da tecnologia da fonte, não pode ser desprezado e, que o baixo fator de potência, poderá ultrapassar o limite permitido pelas concessionárias de energia acarretando multas.

Destarte, deve-se conhecer as características elétricas dos equipamentos presente na linha de produção, para ponderar a possível substituição do equipamento de solda. Convém ressaltar que, no momento da aquisição de nova tecnologia, mostra-se imprescindível que não seja avaliado apenas o custo do investimento do produto.

Não menos importante, recomenda-se considerar a eficiência elétrica do equipamento, a segurança, ciclo de trabalho, garantia, recursos, tipo de alimentação (trifásico ou bifásico) e custo da manutenção. Obter custo inicial baixo pode significar desperdício de recursos no futuro.

No decurso do desenvolvimento deste projeto, que visa apresentar uma proposta de diagnóstico para a avaliação de eficiência energética em máquinas de solda elétrica, constata-se que a relação de trabalho realizado por consumo está atribuída a diversos fatores, tais como, modo de operação, tipo do processo de soldagem, se a máquina de solda atende as normativas nacionais e internacionais.

Deve-se analisar, também, se os condutores elétricos estão devidamente dimensionados para não causarem quedas de tensão, superiores a permitida por norma, e sobre aquecimento.

E, considerando que isso reflete diretamente no custo final de produção, são elementos que devem ser analisados e monitorados, para que se possa obter boa gestão dos recursos de energia elétrica.

Com base na análise de consumo das máquinas de solda, seguindo os requisitos normativos do Programa de Eficiência da Copel e as regulamentação da ANEEL

Pode-se concluir que, com o levantamento dos dados de consumo energético das máquinas que operam na produção, por meio de aparelhos de medição de energia, é possível realizar o estudo de viabilidade e determinar o tempo de retorno do investimento em novas tecnologias para realizar a soldagem. Esta administração poderá proporcionar desenvolvimento sustentável e reduções nos custos com energia elétrica, ocasionando melhoria no tempo de vida útil dos equipamentos.

## REFERÊNCIAS

- ANEEL. **A Agência Nacional de Energia Elétrica**. 2018. <<http://www.aneel.gov.br/a-aneel>>. Acesso em 10 ago. 2018. Citado na página 24.
- BALMER. **MaxxiTIG 300P AC/DC 380V**. 2017. <<http://www.balmer.com.br/balmer/equipamento/tig/maxxitig-300p-acdc/>>. Acesso em 09 nov. 2019. Citado na página 39.
- BARRA, S. **Exposição à radiação em processos a arco elétrico: consequências à saúde e formas de controle**. 2012. <[https://www.researchgate.net/publication/315744262\\_Exposicao\\_a\\_radiacao\\_em\\_processos\\_a\\_a](https://www.researchgate.net/publication/315744262_Exposicao_a_radiacao_em_processos_a_a)>. Acesso em 09 nov. 2019. Citado na página 52.
- BEN. **Relatório Síntese | ano base 2017**. 2018. <[www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br)>. Acesso em 09 set. 2019. Citado 3 vezes nas páginas 24, 25 e 26.
- BRADLEY, A. **Bulletin 1404 Powermonitor 3000**. 2009. <[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1404-um001\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1404-um001_-en-p.pdf)>. Acesso em 21 ago. 2009. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 38.
- CASTRO, M. A. L. **Análise dos riscos de uma distribuidora associados à compra e venda de energia no Novo Modelo do Setor Elétrico**. 2004. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Citado na página 21.
- CCEE. **Mudanças no setor elétrico brasileiro**. 2018. <<https://www.ccee.org.br>>. Acesso em 19 jul. 2018. Citado 4 vezes nas páginas 21, 22, 23 e 24.
- CEBORA. **Instructions And Spare Parts Handbook for TIG Welding Machine**. 2011. <[https://www.cebora.it/manuali/fuori\\_produzione/890/ist\\_900\\_eng.pdf](https://www.cebora.it/manuali/fuori_produzione/890/ist_900_eng.pdf)>. Acesso em 09 nov. 2019. Citado na página 40.
- COPEL. **Chamada Pública -Eficiência Energética no Uso Final**. 2017. <<http://www.copel.com/hpcopelroonivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F>>. Acesso em 09 nov. 2019. Citado na página 29.
- \_\_\_\_\_. **Sobre a Copel**. 2018. <<http://www.copel.com>>. Acesso em 19 ago. 2018. Citado 3 vezes nas páginas 13, 26 e 27.
- EPE. **Quem Somos**. 2018. <<http://epe.gov.br/pt/a-epe/quem-somos>>. Acesso em 09 set. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 26.
- FLANDOLI, F. **Harmônicas**. 2017. <<http://www.eletricistaconsciente.com.br/pontue/fasciculos/6-qualidade-da-energia-eletrica/harmonicas/>>. Acesso em 23 nov. 2019. Citado 3 vezes nas páginas 33, 60 e 61.
- FLUKE. **Analizador de Energia Fluke 434 série II**. 2018. <<https://www.fluke.com/pt-br/produto/teste-eletrico/os-analisadores-de-qualidade-de-energia/analísadores-da-qualidade-da-energia-trifásica/fluke-434-series-ii>>. Acesso em 19 jul. 2018. Citado na página 36.

FRONIUS. **TransPuls Synergic 4000**. 2017. <<https://www.fronius.com/pt-br/brasil/tecnologia-de-soldagem/produtos/soldagem-manual/migmag/transpuls-synergic/transpuls-synergic/transpuls-synergic-4000>>. Acesso em 25 nov. 2019. Citado na página 41.

MARQUES, P. V. **Soldagem: Fundamentos e Tecnologia**. [S.l.]: Editora UFMG, 2005. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 31.

MME. **CNPE - Conselho Nacional de Política Energética** . 2018. <<http://www.mme.gov.br/web/guest/conselhos-e-comites/cnpe>>. Acesso em 09 set. 2019. Citado na página 23.

ND.50. **ligações de Máquinas de Solda nas Redes de Distribuição de Energia Elétrica**. 2017. ND.50 - Revisão 06 – 02/2017. Citado na página 55.

ONS. **O que é a ONS**. 2018. <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/o-que-e-ons>>. Acesso em 09 set. 2019. Citado na página 24.