

EFICIÊNCIA ELÉTRICA EM EQUIPAMENTOS DE SOLDAGEM: ESTUDO DE CASO PARA MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E ECONOMIA DE ENERGIA

Evandro Ferreira Quintão, Gilberto Andrade Gomes de Souza, Gustavo Matias de Brites Coelho, Helbert Cristian da Costa, Leandro Miranda Mendes

evandroferreira@gmail.com, gilbert_andradegsouza@hotmail.com, gustavomatiasbc@gmail.com, berticosta@hotmail.com, leandro.miranda@hotmail.com

Professora orientadora: Juliana Caroline Dias Pereira

Professor coorientador: Lucas Silvestre Chaves

Coordenação de curso de Engenharia Elétrica: Lúcia Francisco Zennaro Correia

Resumo

Atualmente tem-se nas indústrias diversos tipos de equipamentos e máquinas elétricas, os quais possuem diferentes princípios construtivos, faixa de trabalho e consumos. O estudo em questão realiza uma análise comparativa entre dois tipos de equipamentos de soldagem, sendo um convencional, de tecnologia superada, e um outro atual. Serão realizados ensaios dinâmicos com objetivo de demonstrar a viabilidade de aquisição destes equipamentos atuais, mostrando a relação custo x benefício, as principais vantagens de um em relação ao outro e um comparativo técnico entre ambos. Destacam-se neste trabalho os benefícios do uso de equipamentos mais modernos com menor consumo de energia, melhor fator de potência atendendo às normas da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), equipamentos mais leves e fáceis de transportar.

Palavras-chave: Solda, Potência, Eficiência, Consumo.

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho, propomos um estudo de caso em que podemos melhorar a eficiência energética nas empresas de acordo com diretrizes globais.

Este estudo nasce da necessidade das indústrias em utilizar equipamentos elétricos mais eficientes com inovações tecnológicas visando um consumo mais responsável de energia elétrica, reduzindo custos e provocando menores impactos ambientais. Na utilização dos equipamentos de soldagem ocorrem oscilações na rede por serem cargas indutivas. Porém com o uso de novos equipamentos que utilizam tecnologia inversora, existe uma melhoria na eficiência que faz com que estas perturbações na rede fornecedora sejam menores. Este trabalho também justifica-se pela necessidade que a indústria tem de atender as condições ambientais e técnicas exigidas por norma observando as regulamentações de fator de potência, assim como atender as necessidades relacionadas à manutenção e os custos de instalação destes equipamentos de solda.

O objetivo deste trabalho é realizar um estudo comparativo entre os equipamentos de soldagem por eletrodo revestido que utilizam as tecnologias retificadoras e inversoras. Serão apresentados os dados técnicos de cada tecnologia com o objetivo de propor uma solução para melhor atender às demandas de eficiência e custos para implementação. Será também apresentada uma proposta para renovação do parque

de equipamentos de soldagem, visando o estudo de investimento e retorno financeiro na atualização destes equipamentos.

A fim de realizar uma análise comparativa entre a tecnologias Origo Arc 455 e a Fabricator ES410 serão demonstradas a viabilidade técnica da atualização dos equipamentos de soldagem com a compreensão do funcionamento de cada um deles, e como essa atualização pode gerar economia financeira com gastos em energia elétrica; por fim será apresentado o impacto dessa atualização no cumprimento das normas de eficiência energética exigidas pela concessionária. Tais elementos constituem os objetivos específicos deste trabalho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1- Eficiência Elétrica

A eficiência elétrica está atrelada a parâmetros aos quais relacionam a potência que é efetivamente transformada em trabalho por estes equipamentos, dividida pela potência fornecida pela rede, onde o resultado define o quão este equipamento ou sistema é eficiente eletricamente. A partir do desenvolvimento de novas tecnologias, as empresas atualmente podem produzir equipamentos que apresentam menor consumo de energia elétrica e um maior rendimento de trabalho, o que resulta em equipamentos cada vez mais eficientes energeticamente.

De acordo com o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL, o conceito de eficiência energética é definido como “um termo técnico geralmente utilizado para destacar a geração de energia por unidade de energia fornecida ao sistema”. (PROCEL, 2009, p.16).

2.2 – Potência

Também conhecida como potência aparente é a grandeza física utilizada para mensurar a quantidade de energia cedida ou consumida em um determinado período de tempo.

$$S = V \times I \quad (1)$$

Onde S é a potência ativa, V é a tensão fornecida pela rede, I é a corrente consumida pelo equipamento. Possui unidade de medida W (*Watt*).

2.2.1 - Potência Ativa

Também conhecida como Real ou Útil é a parcela da potência fornecida pela rede que é convertida em trabalho pelo equipamento, seja ela transformada em movimento, luz ou calor; pode ser determinada a partir de:

$$P = V \times I \times \cos\varphi \quad (2)$$

Onde P é a potência ativa, V é a tensão fornecida pela rede, I é a corrente consumida pelo equipamento e o $\cos\varphi$ é a defasagem entre a tensão e a corrente fornecidas pela rede. Possui unidade de medida VA (*Volt-ampere*).

2.2.2 - Potência Reativa

É a parcela da potência que não realiza efetivamente trabalho; porém em equipamentos elétricos indutivos é essencial para magnetizar as bobinas, sendo assim responsável por gerar os campos elétricos nos extremos das cargas.

$$Q = V \times I \times \text{sen}\varphi \quad (3)$$

Onde Q é a potência reativa, V é a tensão fornecida pela rede, I é a corrente consumida pelo equipamento e o $\text{sen}\varphi$ é a defasagem entre a tensão e a corrente fornecidas pela rede. Possui unidade de medida VAR (*Volt-ampere reativo*).

2.2.3 – Fator de potência

Fator de potência é um índice que relaciona as potências ativa e reativa, tendo como resultado um fator numérico menor que 1 (um) que demonstra a quantidade de energia que realmente é transformada em trabalho. Esta relação se faz presente em equipamentos com funcionamento de caráter capacitivo ou indutivo nos quais existe uma defasagem entre a tensão e a corrente elétrica, assim tendo seu resultado dependente do ângulo φ entre a tensão e a corrente alternada, conforme ilustrado na Fig. 1.

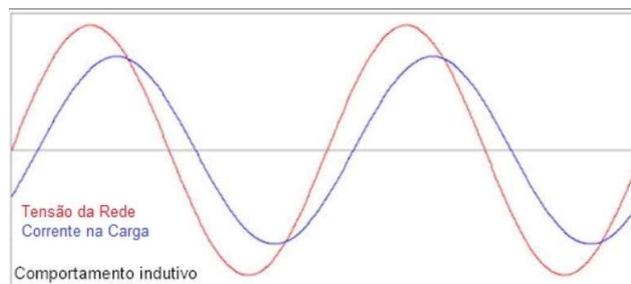


Figura 1 – Defasagem entre tensão e corrente elétrica- Fonte: Próprio Autor

2.3 – Equipamentos de soldagem ao arco elétrico

São equipamentos que fornecem uma quantidade de energia suficiente para unir materiais de diversas classes, por meio de um curto-circuito controlado. Existem várias tecnologias construtivas destes equipamentos, dentre elas, transformadores, retificadores de diodo, retificadores tiristorizados e inversores de frequência.

Na soldagem por arco elétrico, o equipamento, por meio de um arco voltaico, aquece o material a ponto de fusão fazendo com que o mesmo derreta parcialmente e una as partes. Neste processo é dissipada também uma grande quantidade de energia em forma de intensidade luminosa devido ao arco elétrico formado.

2.3.1- Construção dos equipamentos de soldagem

O princípio básico de funcionamento de um equipamento de soldagem por arco elétrico consiste em fornecer uma alta corrente e uma baixa tensão para realizar o trabalho, utilizando basicamente um transformador abaixador de tensão para essa finalidade. Conforme demonstrado na Figura 2 é possível identificar o princípio básico de um transformador.

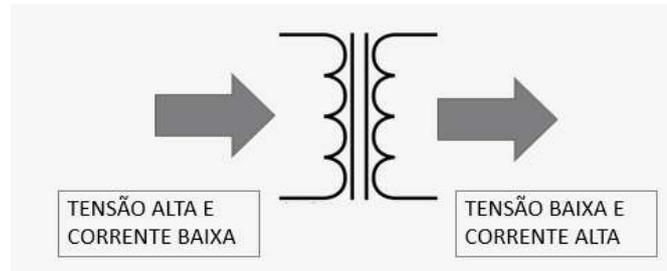


Figura 2 – Esquema elétrico do transformador – Fonte: Próprio Autor

2.3.1.1 – Equipamentos com tecnologia de ponte retificadora de diodos

Neste tipo de equipamento agrega-se ao secundário do transformador uma ponte retificadora de diodos que tem como objetivo retificar o sinal da tensão alternada do secundário do transformador, tornando-a contínua. Este equipamento, mesmo que possua boa qualidade de soldagem, apresenta uma ineficiência energética, pois existem perdas consideráveis no transformador e nos diodos retificadores, o que faz com que o fator de potência destes equipamentos seja muito baixo, ou seja, a quantidade de energia que é convertida em trabalho é muito pequena quando comparada à energia fornecida pela rede. Na Figura 3 tem-se o diagrama de funcionamento de um equipamento de solda convencional.

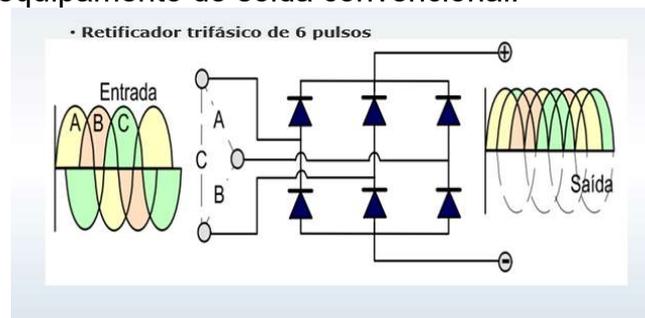


Figura 3 – Diagrama de bloco equipamento retificador – Fonte: Próprio Autor

As principais desvantagens estão no transformador que é trifásico, trabalha com frequência nominal de rede e com núcleo de silício. Este tipo de transformador apresenta perdas consideráveis por aquecimento devido ao material com o qual o núcleo é construído além de ser necessário uma grande quantidade de fluxo magnético para induzir uma tensão no secundário. Também há uma perda considerável no retificador, que é construído com tecnologia ultrapassada com os diodos colados nas placas de alumínio; tais placas são ligadas no catodo do diodo e são partes condutoras do circuito, e sofrem um aquecimento considerável que geram perdas por efeito joule. A Figura 4 ilustra a ponte retificadora no detalhe, foi circulado um dos diodos e apontado com uma seta o transformador, indicando o núcleo de silício.

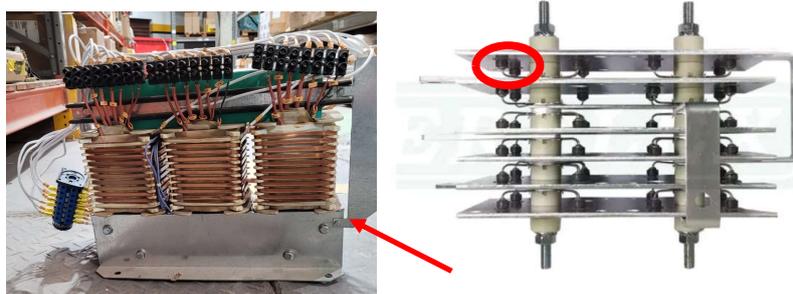


Figura 4 – Transformador e ponte retificadora da Origo Arc 455

2.3.1.2 – Equipamentos com tecnologia inversora

A principal característica deste tipo de equipamento de solda é a utilização de um inversor de frequência no primário do transformador. Tal equipamento é responsável por realizar o chaveamento da tensão em alta frequência para alimentar o transformador principal. Com isso é possível utilizar transformadores menores, visto que estes transformadores serão sempre monofásicos e possuem uma característica particular comparado ao transformador convencional que opera em uma frequência de 60Hz. Estes transformadores menores conseguem trabalhar com uma frequência fornecida pelo inversor de frequência entre 20KHz e 120KHz, e quanto maior a frequência menor será a dimensão dos transformadores, pois com uma área menor é possível obter o mesmo nível de tensão com um menor fluxo magnético. Sendo assim, apresentam menores perdas por indução devido às suas dimensões de construção e material que passa a ser ferromagnético. Na Fig. 5, exemplificamos com um diagrama em blocos o princípio básico de funcionamento deste tipo de equipamento.

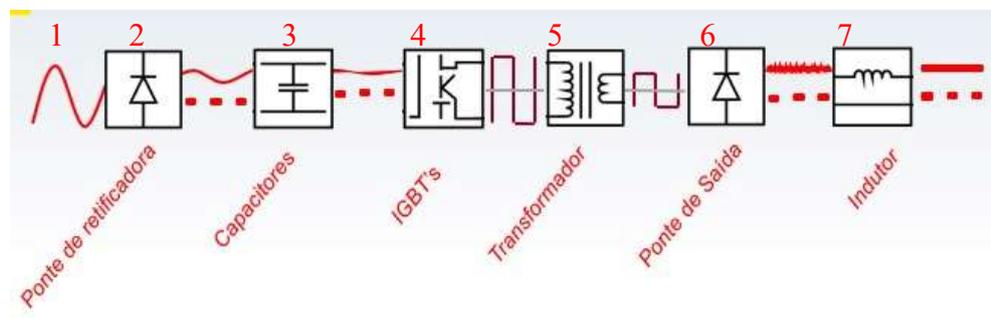


Figura 5 – Diagrama de bloco equipamento inversor – Fonte: Próprio Autor

No diagrama da Figura 5 são apresentados os principais componentes de um equipamento inversor. É possível notar que o princípio de funcionamento é bem diferente: uma alimentação trifásica convencional 50/60HZ (item 1 do diagrama), a partir da fonte de alimentação já tem-se uma sequência de funcionamento bem diferente, logo na entrada há um diodo retificador (item 2), para transformar tensão alternada em contínua. Na sequência um banco de capacitores (item 3), para filtrar a tensão retificada e deixá-la o mais estável possível para alimentar o módulo IGBT (item 4), daí pra frente temos os grandes diferenciais deste tipo de equipamento: o módulo IGBT chaveia a tensão contínua em alternada novamente, porém desta vez em alta frequência e com sinal quadrado. No caso da Fabricator 410iC a frequência é de 20Khz; em seguida, temos o transformador abaixador (item 5), este transformador por sua vez é monofásico, com núcleo de ferrite e trabalha sempre com chaveamento de alta frequência. Os dois últimos componentes possuem mesmo princípio do retificador com diodo (item 6) e um indutor de saída (item 7), porém este retificador de saída é construído em módulo e com tecnologia SMD; quando construído em estrutura modular apresenta menos perdas por efeito joule.

O principal destaque deste equipamento é o seu transformador, que sofre menos perdas por efeito joule e redução de peso.

Isso acontece devido à frequência de trabalho em um transformador de alta frequência utilizado nos inversores variar entre 20KHz e 40KHz. Pode-se verificar que, quanto maior a frequência de trabalho do transformador, menor será a sua área, pois será

possível conseguir o mesmo valor de tensão gerada com menor quantidade de fluxo magnético.

$$\varepsilon_{RMS} = 4,44 \cdot N \cdot \phi_{MAX} \cdot f \quad (4)$$

Desta forma ao desmembrar o fluxo magnético, há mais três componentes, B (densidade de fluxo magnético) e A (área) e $\cos\phi$ (ângulo entre o fluxo e a área que o mesmo está passando, considerando assim 0° , assim se obtém o valor de 1).

$$\phi = B \cdot A \cdot 1 \quad (5)$$

Substituindo a equação de fluxo (5) na equação (6), se tem:

$$\varepsilon_{RMS} = 4,44 \cdot N \cdot B \cdot A \cdot f \quad (6)$$

Logo pode-se demonstrar a equação da área do transformador em função da tensão induzida, concluindo-se que a área é inversamente proporcional a frequência, ou seja, quanto maior a frequência empregada ao transformador, sendo o número de 37 espiras e o campo dependendo da corrente, menor será a área total e menos corrente para magnetizar o núcleo será necessária.

$$A = \varepsilon_{RMS} / (4,44 \cdot N \cdot B \cdot f) \quad (7)$$

Utilizando transformadores de potência com áreas reduzidas, consegue-se reduzir também as perdas neste transformador, pois haverá um aproveitamento melhor da potência aparente uma vez que a indução necessária para a magnetização será menor. Como resultado, este transformador apresentará excelente desempenho na melhora do fator de potência do equipamento e aumento de eficiência.

2.5 – Ciclos de Trabalho

O ciclo de trabalho é determinante durante a análise de consumo de um equipamento, devido ao seu uso não ser em escala máxima em todo o período de tempo.

De acordo com a Norma IEC60974-1 2021, “fator de trabalho.

Razão, para um determinado intervalo de tempo, do período de carga ininterrupta e do tempo total.

Nota 1 de entrada: Esta razão, entre 0 e 1, é expressa em porcentagem.

Nota 2 de entrada: Para os objetivos deste documento, o período de tempo de um ciclo completo é de 10 min. Por exemplo, no caso de um CICLO DE TRABALHO de 60 %, uma carga é aplicada continuamente por 6 min, seguidos por um período sem carga de 4 min”.

2.6 - Demanda de Energia Elétrica

A demanda é a média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado. No Brasil, este intervalo (período de integração) é de 15 minutos, portanto, em um mês tem-se que: 30 dias x 24 horas / 15 minutos = 2880 intervalos. A demanda representa a estrutura de geração e transmissão da energia elétrica que a concessionária proporciona ao consumidor. Ela é disponibilizada perante contrato com a concessionária, onde esta se responsabiliza

em manter a estrutura de fornecimento e o consumidor, por sua vez, compromete-se a pagar por essa estrutura, usando-a ou não, pois se baseia num método de medição preditivo mais elaborado onde este não deve ultrapassar os valores contratados podendo ser cobradas multas pesadas, caso isso ocorra.

Já o consumo representa a quantidade de energia ativa consumida. Comparando com um sistema mecânico, a demanda representa o quão rápido um trabalho foi executado (potência) e o consumo representa o trabalho executado. Portanto, para um mesmo consumo, é possível ter demandas diferentes.

Para parametrizar esta demanda solicitada devem-se considerar as seguintes informações:

- Consumo de Energia Ativa: $P_{ATIVA} \times HORAS_{DIA} \times DIA_{MÊS} \times QTD_{MÁQUINAS}$ (8)
- Consumo de Energia Reativa Real: $Q_{REATIVA} \times HORAS_{DIA} \times DIA_{MÊS} \times QTD_{MÁQUINAS}$ (9)
- Consumo de Energia Reativa Permitida [PF = 0,92]: $tg(\varphi_{Ref.})P_{ATIVA}$ (10)
- Consumo de Energia Ativa Excedente: $Q_{REATIVA REAL} - Q_{REATIVA PERMITIDO}$
- Demanda: $P_{ATIVA} \times QTD_{MÁQUINAS} \times FATOR DE TRABALHO DIÁRIO$ (11)
- Consumo Potência Ativa a Vazio: $P_{ATIVA AVAZIO} \times QTD_{MÁQUINAS} \times DIA_{MÊS} \times HORA_{DIA}$ (12)
- Valor Consumo Potência Ativa a Vazio: $CONSUMO_{AVAZIO} \times TAXA LOCAL$ (13)

Cálculo Custo Mensal:

- Custos kW/h: $CONSUMO_{ENERGIA ATIVA} \times TAXA LOCAL$ (14)
- Custos kVAr/h: $CONSUMO_{ENERGIA REATIVA REAL} \times TAXA LOCAL$ (15)
- Demanda: $TAXA LOCAL \times DEMANDA$ (16)

3. METODOLOGIA

Este trabalho caracteriza-se como um estudo de caso, possuindo características qualitativas e quantitativas de natureza aplicada e justifica-se pelo fato da indústria necessitar o uso de equipamentos mais eficientes, visando obter maior eficiência, menores custos com energia elétrica e atender as normas da concessionária.

Serão realizadas medições de potência, tensão e corrente consumidas da rede elétrica durante o funcionamento dos equipamentos em seu uso com a máxima potência possível no laboratório de ensaios elétricos e dinâmicos da fabricante ESAB.

Os resultados obtidos através das medições serão inseridos em tabelas de análises comparativas, para melhor visualização do desempenho dos equipamentos (Origo Arc e Fabricator) durante os testes realizados.

Origo Arc 455	Fabricator ES410iC
 <p data-bbox="363 663 767 723"><i>Figura 5 - Equipamento de soldagem Origo Arc 455 – ESAB</i></p>	 <p data-bbox="884 618 1342 678"><i>Figura 6 - Equipamento de soldagem Fabricator ES410ic – ESAB</i></p>
<p data-bbox="341 804 587 837">- Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="392 842 818 875">✓ Trifásico: 220, 380 e 440V <li data-bbox="392 880 823 949">✓ Faixa de corrente de soldagem: 65 a 450 A <li data-bbox="392 954 635 987">✓ Peso: 142 Kg <li data-bbox="392 992 823 1061">✓ Tecnologia: Retificador convencional 	<p data-bbox="893 804 1139 837">- Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="944 842 1273 875">✓ Trifásico: 380/440V <li data-bbox="944 880 1377 949">✓ Faixa de corrente de soldagem: 30 a 410 A <li data-bbox="944 954 1195 987">✓ Peso: 35,2 Kg <li data-bbox="944 992 1377 1061">✓ Tecnologia: Inversor de frequência

Tabela 1 - *Comparativo entre os equipamentos de soldagem - Fonte: Autor*

Foi realizado um ensaio com os dois equipamentos nas mesmas condições. Os dados comparados foram:

- Potência Aparente;
- Potência Ativa;
- Potência ativa sem carga;
- Potência Reativa;
- Consumo sem carga;
- Consumo com carga.

As condições para realização dos testes eram as seguintes:

Tipo de aplicação	Soldagem em laboratório com banco de resistência RC500 ESAB
Tempo trabalho	10 mim
Tensão de entrada	440 V
Corrente de soldagem:	400A
Tensão de soldagem:	36V
Ciclo de trabalho	40%

Tabela 2 - *Condições para realização dos testes - Fonte: Autor*

Durante a coleta dos dados, foram utilizados os instrumentos abaixo:

- Multímetro Fluke 179 – Utilizado para medir a tensão de saída do equipamento;
- Alicates Amperímetro Fluke 355 – Utilizado na medição da corrente de soldagem do equipamento;
- Analisador de energia Fluke 434 Power Quality Analyzer – Utilizado para verificação das potências ativa, reativa e aparente, consumo e fator de potência;
- Painel de teste trifásico 75Kva do laboratório de ensaios da ESAB.

A seguir, as fotos dos instrumentos e equipamentos utilizados no estudo em questão:



Figura 7 – Testes com a Fabricator ES410IC - Fonte: Autor



Figura 8 – Testes com a Origo Arc 455-Fonte: Autor

Após coletar os dados medidos no analisador de energia dentro do intervalo de tempo estipulado de 10 minutos, utilizou-se outra planilha que possibilita a visualização dos impactos energéticos e econômicos da utilização dos equipamentos considerando a quantidade de cinquenta máquinas de solda.

A planilha é dividida em quatro partes, sendo:

- a primeira parte: o campo para preenchimento de quantidade de equipamentos, quantas horas trabalhadas por dia e quantos dias trabalhados no mês.

HORAS TRABALHADAS POR DIA:	<input type="text"/>
DIAS TRABALHADOS POR MÊS:	<input type="text"/>
QUANTIDADE DE EQUIPAMENTOS:	<input type="text"/>

Figura 9 - Tabela para preenchimento de dados fabris – Fonte: Autor

- a segunda parte: referente ao preenchimento dos dados dos equipamentos, bem como os valores medidos.

DEFINIÇÃO DE EQUIPAMENTOS			
EQUIPAMENTO ATUAL		SOLUÇÃO ESAB	
EQUIPAMENTO (A)	<input type="text"/>	EQUIPAMENTO (B)	<input type="text"/>
TENSÃO ALIMENTAÇÃO	<input type="text"/>	TENSÃO ALIMENTAÇÃO	<input type="text"/>
CORRENTE DE SOLDAGEM	<input type="text"/>	CORRENTE DE SOLDAGEM	<input type="text"/>
PROCESSO DE SOLDAGEM	<input type="text"/>	PROCESSO DE SOLDAGEM	<input type="text"/>
Potência Ativa	<input type="text"/>	Potência Ativa	<input type="text"/>
Potencia Ativa Vazio	<input type="text"/>	Potencia Ativa Vazio	<input type="text"/>
Potencia Reativa	<input type="text"/>	Potencia Reativa	<input type="text"/>

Figura 10 - Tabela de preenchimento dos dados dos equipamentos comparados e seus respectivos dados – Fonte: Autor

- a terceira parte: apresenta os resultados multiplicados pela quantidade de máquinas a serem comparadas:

- Consumo de energia ativa por hora;
- Consumo de energia reativa por mês;
- Consumo de energia reativa excedente por mês;
- Consumo de energia ativa a vazio por hora.

	<p>Consumo de Energia Ativa</p> <p>0 kW/h</p> <p>Consumo de Energia Reativa Real</p> <p>0 kVAr/h mês</p> <p>Consumo de Energia Reativa Permitido (FP = 0.92)</p> <p>0 KVAr / mês</p> <p>Consumo de Energia Reativa Excedente</p> <p>0 kVAr/h mês</p> <p>Demanda</p> <p>0 kW</p>		<p>Consumo de Energia Ativa</p> <p>0 kW/h</p> <p>Consumo de Energia Reativa Real</p> <p>0 kVAr/h mês</p> <p>Consumo de Energia Reativa Permitido (FP = 0.92)</p> <p>0 KVAr / mês</p> <p>Consumo de Energia Reativa Excedente</p> <p>0 kVAr/h mês</p> <p>Demanda</p> <p>0 kW</p>
Consumo KWh em Vazio	0,00 kW/h	Consumo KWh em Vazio	0,00 KW/h
Consumo KWh (\$)	R\$0,00	Consumo KWh (\$)	R\$0,00

Figura 11 - Tabela informando os valores somados a quantidade de máquinas na planta do cliente – Fonte: Autor

- a quarta parte: informação dos custos de energia, gasto mensal em comparação com os dois equipamentos utilizados, bem como a economia mensal, referente à utilização do equipamento de melhor rendimento.

CUSTO DE ENERGIA				
TARIFAS		GASTO MENSAL SOLUÇÃO ATUAL	GASTO MENSAL SOLUÇÃO ESAB	ECONOMIA MENSAL
CUSTO kW/h:	R\$0,00	R\$0,00	R\$0,00	R\$0,00
CUSTO KVar/h:	R\$0,00	R\$0,00	R\$0,00	R\$0,00
DEMANDA:	R\$0,00	R\$0,00	R\$0,00	R\$0,00
Total		R\$0,00	R\$0,00	R\$0,00

Figura 12 - Cálculo de gastos mensais dos dois equipamentos comparados - Fonte: Próprio Autor

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para analisar os resultados tomamos como referência três elementos: desempenho, economia de energia e o impacto financeiro que um equipamento com nova tecnologia pode ter em uma empresa.

Os parâmetros utilizados no teste foram os seguintes:

- Tensão de alimentação dos equipamentos: 440VAC;
- Corrente de solda: 400A;
- Tensão de solda 36V;
- Aplicação: simulação de soldagem com eletrodo revestido usando banco de carga;
- Tempo de medição: 10min;
- Ciclo de trabalho: 40% (4 minutos a plena carga e 6 minutos a vazio).

O primeiro preenchimento para análise levou em consideração o cenário de uma empresa que trabalha em um turno de 8,8 horas por dia e 44 horas semanal. Foi utilizada para base de cálculo a premissa de aquisição de 50 novos equipamentos.

DEFINIÇÕES SOBRE O TRABALHO	
DESCREVA ABAIXO O TIPO DE TRABALHO (PEÇA, MATERIAL, ESPESSURA, ETC.)	HORAS TRABALHADAS POR DIA: 8,8
Soldagem com eletrodo revestido	DIAS TRABALHADOS POR MÊS: 22
	QUANTIDADE DE EQUIPAMENTOS: 50

Figura 13 – Parametrização de uso dos equipamentos- Fonte: Próprio Autor

Na seguinte tabela são informados os dados de potência ativa, potência reativa e potência ativa em vazio (sem carga), coletados pelo analisador de energia. Tem-se também o modelo do equipamento, tensão de alimentação, corrente de solda e processo de soldagem.

DEFINIÇÃO DE EQUIPAMENTOS			
EQUIPAMENTO ATUAL		SOLUÇÃO ESAB	
EQUIPAMENTO (A)	OrigoArc 455	EQUIPAMENTO (B)	Fabricator 410iC
TENSÃO ALIMENTAÇÃO	3ph - 440V	TENSÃO ALIMENTAÇÃO	3ph - 440V
CORRENTE DE SOLDAGEM	400A	CORRENTE DE SOLDAGEM	400A
PROCESSO DE SOLDAGEM	Eletrodo Revestido	PROCESSO DE SOLDAGEM	Eletrodo Revestido
Potência Ativa	20,1	Potência Ativa	15,8
Potencia Ativa Vazio	0,7	Potencia Ativa Vazio	0,1
Potencia Reativa	28,1	Potencia Reativa	3,1

Figura 14 – Tabela com as especificações de uso de cada equipamento de soldagem- Fonte: Próprio Autor

Nas imagens a seguir pode-se observar o resultado das medições realizadas com o analisador de energia, destacando-se o fator de potência de cada um dos equipamentos sendo representado pela sigla DPF.

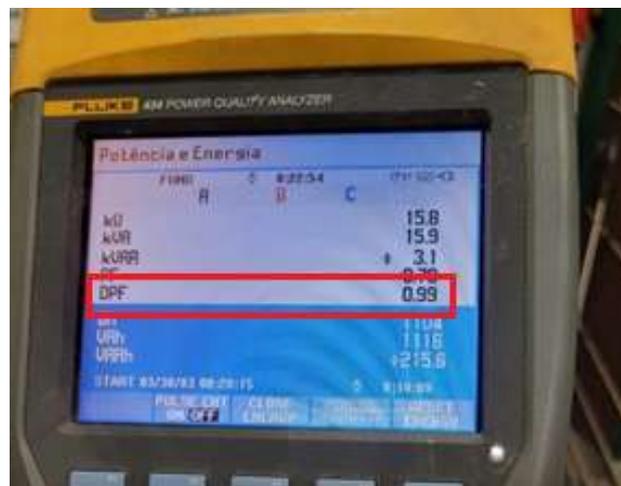


Figura 15 – Dados do teste coletados na Fabricator ES410iC após 10mim -Fonte: Próprio Autor

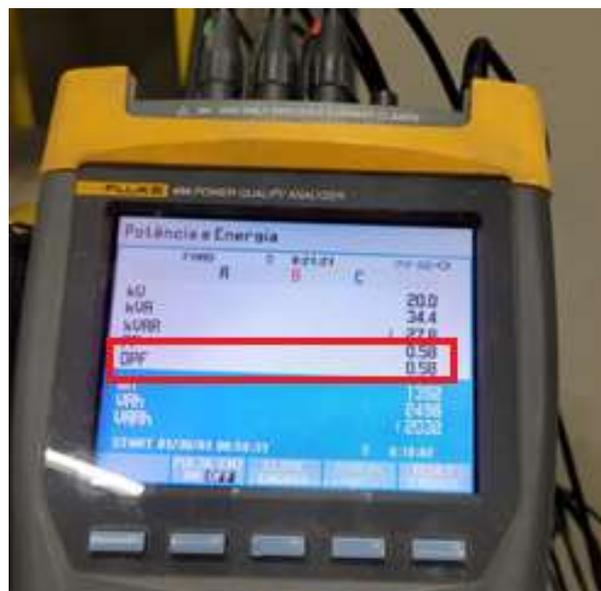


Figura 16 – Dados do teste coletados na Origo Arc 455 após 10mim- Fonte: Próprio Autor

Levando em consideração os resultados técnicos, abaixo é possível verificar a diferença de consumo com foco, principalmente, no consumo de energia reativa do equipamento Origo Arc 455 em relação ao Fabricator ES410IC. O equipamento Origo Arc 455 excede em 171,22 KVar/h enquanto a Fabricator ES410IC não chega a consumir nada em excesso de reativa.

	<p>Consumo de Energia Ativa</p> <p>176.880 kW/h</p> <p>Consumo de Energia Reativa Real</p> <p>247.280 kVar/h mês</p> <p>Consumo de Energia Reativa Permitido (FP = 0.92)</p> <p>76.058 KVar / mês</p> <p>Consumo de Energia Reativa Excedente</p> <p>171.222 kVar/h mês</p> <p>Demanda</p> <p>603 kW</p>		<p>Consumo de Energia Ativa</p> <p>139.040 kW/h</p> <p>Consumo de Energia Reativa Real</p> <p>27.280 kVar/h mês</p> <p>Consumo de Energia Reativa Permitido (FP = 0.92)</p> <p>59.787 KVar / mês</p> <p>Consumo de Energia Reativa Excedente</p> <p>0 kVar/h mês</p> <p>Demanda</p> <p>474 kW</p>
Consumo KWh em Vazio		Consumo KWh em Vazio	
6160,00 KW/h		880,00 KW/h	
Consumo KWh (\$)		Consumo KWh (\$)	
R\$3.018,40		R\$431,20	

Figura 17 – Dados do teste coletados na Origo Arc 455 x Fabricator ES410IC- Fonte: Próprio Autor

Quanto à análise econômica, é possível comparar os custos mensais com energia ativa e reativa e a demanda dos dois equipamentos. Para isso, foram utilizados os valores tarifários praticados pela CEMIG para os clientes da classe THS bandeira verde A4 no mês de Junho de 2022.

Consumo de ativa:

- Origo Arc 455: R\$ 86761,2;
- Fabricator ES410IC: R\$68129,6.

Consumo reativa:

- Origo Arc 455: R\$ 61639,78;
- Fabricator ES410IC: R\$ 0.

Demanda:

- Origo Arc 455: R\$ 8960,58;
- Fabricator ES410IC: R\$ 7043,64.

Comparando os custos com energia tem-se uma economia de R\$ 82098,31/mês.

Abaixo estão apresentados, em formato de tabela, os dados dos custos e retorno de investimento. São eles:

CUSTO DE ENERGIA				
TARIFAS		GASTO MENSAL SOLUÇÃO ATUAL	GASTO MENSAL SOLUÇÃO ESAB	ECONOMIA MENSAL
CUSTO kW/h:	R\$0,49	R\$86.671,20	R\$68.129,60	R\$18.541,60
CUSTO KVar/h:	R\$0,36	R\$61.639,78	R\$0,00	R\$61.639,78
DEMANDA:	R\$14,86	R\$8.960,58	R\$7.043,64	R\$1.916,94
Total		R\$157.271,56	R\$75.173,24	R\$82.098,32

MONETIZAÇÃO				
PREÇO EQUIPAMENTO	R\$	6.440,34	MÉTODO DE PAGAMENTO	
Nº EQUIPAMENTOS		50	VALOR INVESTIMENTO	R\$ 322.017,00
VALOR INVESTIMENTO	R\$	322.017,00	ENTRADA	R\$ -
PAYBACK		4 meses	PAYBACK	ano

Figura 18 – resultados dos testes comparativos Origo Arc 455 x Fabricator ES410IC- Fonte: Próprio Autor

Ao levar em consideração a análise do fator de potência verificam-se dois pontos extremamente favoráveis à Fabricator 410IC: além de apresentar um fator de potência dentro do exigido pela concessionária, que é de no mínimo 0,92; A Fabricator apresenta um fator de potência capacitivo, que contribui para o equilíbrio energético no ramo industrial, que em sua maioria apresenta fator de potência indutivo.

FP Fabricator = Potência ativa/potência aparente
 FP Fabricator = 15,8KV/ 16Kva
 FP Fabricator = 0,99

FP Origo Arc 455 = Potência ativa/potência aparente
 FP Origo Arc 455 = 20,1KV/ 34,7Kva
 FP Origo Arc 455 = 0,58

A seguir, fotos dos resultados citados obtidos pelo analisador, referentes à potência ativa, reativa e fator de potência.



Figura 19 – Dados coletados potência ativa, reativa e fator de potência Origo Arc 455- Fonte: Próprio Autor



Figura 20– Dados coletados potência ativa, reativa e fator de potência Fabricator ES410IC- Fonte: Próprio Autor

Alguns fatores contribuem para estes resultados favoráveis a Fabricator, são eles: tipo de tecnologia, inversora x retificadora e transformador. Enquanto a Fabricator usa um transformador compacto, de núcleo ferromagnético que dissipa

menos calor e pesa em torno de 3,080KG a Origo Arc 455 usa um transformador convencional de núcleo móvel de silício, que apresenta mais perdas por efeito Joule e pesa cerca de 108KG.

5- CONSIDERAÇÕES FINAIS

No âmbito de pesquisa, buscou-se comparar a eficiência elétrica em equipamentos de soldagem por eletrodo revestido, a fim de se observar o quanto a utilização de um equipamento mais moderno pode trazer de benefícios já imediatos ao início de sua utilização, comparados a tecnologias mais antigas.

Após a análise de todos os resultados obtidos nos testes em laboratório realizados nos equipamentos de soldagem, foram confirmadas as expectativas dos autores. Foi constatado que o equipamento que possui tecnologia inversora apresentou uma maior eficiência elétrica, o que resultou em uma economia de 21% no consumo de energia, levando em consideração que o consumo de energia reativa obteve uma economia de 100%, comparado com o equipamento com tecnologia retificadora.

Sendo assim foi possível demonstrar que a atualização destes equipamentos contribui para o menor consumo de energia elétrica, atendendo às exigências da concessionária relacionadas ao fator de potência, também foi possível identificar que o investimento realizado para atualização destes equipamentos dentro de uma indústria se torna viável devido à economia de energia, visto que os custos para aquisição destes equipamentos é compensado em, aproximadamente, 4 meses.

6 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a ESAB por disponibilizar a estrutura física de seus laboratórios para realização dos ensaios. À CEMIG, por disponibilizar informações de tarifação e demanda para realização dos cálculos, aos professores orientadores pelo suporte na elaboração deste artigo e ao Centro Universitário UNA pela infraestrutura de seus laboratórios.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 8 – Qualidade de Energia Elétrica. 11 rev. 2020. Disponível em: < <https://www.aneel.gov.br/modulo-1>>. Acesso em: 21mai. 2022.

FONSECA, Cesar Augusto da Silva; CARNEIRO, Marcos Antonio da Silva; SILVA, Sergio Borges. Demanda contratada de potência elétrica.: Base de cálculo do ICMS no fornecimento de energia a grandes consumidores. **Revista Jus Navigandi**, ISSN 1518-4862, Teresina, ano 11, n. 1157, 1 set. 2006. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/8879>. Acesso em: 4 jun. 2022.

MÓDULO 8 - QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA. In: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Módulo 8 do PRODIST. 2016. Disponível em: Acesso em 26 mai. 2022.

PROCEL INDÚSTRIA. In: PORTAL DA INDÚSTRIA. Guia Básico - Energia Elétrica: Conceito, Qualidade e Tarifação. 2009. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes-eEstatisticas/?title=&month=4&year=2014&search=True>>. Acesso em 25 mai. 2022.

PROCEL INDÚSTRIA. In: Ministério de Minas Energia. Manual de tarifação da energia elétrica. 2011. Disponível em http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual%20de%20Tarif%20En%20EI%20-%20Procel_EPP%20-%20Agosto-2011.pdf>. Acesso em 19 abr. 2022.

TORO, Vincent Del. Fundamentos de Máquinas Elétricas. Editora LTC – Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, RJ, 1999, 550 p.

TAMIETTI, Ricardo Prado. Compensação Reativa e a Correção do Fator de Potência. Bel Horizonte, MG. 2007, 380 p

FERREIRA, Evandro Quintão. Treinamento ESAB, Princípio de construção de equipamentos de solda. Belo Horizonte, MG, 2021, 64 slides.

FERREIRA, Evandro Quintão. Treinamento SAE (Serviço autorizado ESAB) Manutenção de equipamentos de solda. Belo Horizonte, MG, 2021, 126 slides.

ESAB. Manual de Usuário – ORIGO ARC455, 18 pg.

ESAB. Manual de Usuário – Fabricator ES410 IC, 26 pg.

MARCHI, Diego. Projeto e estudo de viabilidade técnica e financeira da correção do fator de potência em indústria têxtil utilizando bancos de capacitores. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/197847/TCCDiegoMarchi.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 23 mai. 2022.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 1 – Introdução. 10 rev. 2018. Disponível em: < <https://www.aneel.gov.br/modulo-1>>. Acesso em: 27 mai. 2022.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Resolução Normativa Nº 414, de 9 setembro de 2010. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>>. Acesso em: 18 mai. 2022

SCARPIN, Bruno. O que é fator de potência. Cubi Energia, 2017. Disponível em: <<https://www.cubienergia.com/o-que-e-fator-de-potencia/>>. Acesso em: 15 de abr. 2022.

SILVA, Marcos César Isoni. Correção do fator de potência de cargas industriais com dinâmica rápida. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica (Eletrônica de

Potência –aplicação em Qualidade de Energia). UFMG, Belo Horizonte, 2009.
Disponível em: <<https://www.ppgee.ufmg.br/defesas/129M.PDF>>. Acesso em: 30
mai. 2022..

IEC 60950-1, Information technology equipment – Safety – Part 1: General
requirements. 2021