

## **Eficiência no uso de energia elétrica em processos de aquecimento: um estudo de caso na indústria**

**Evaldo dos Santos Doria<sup>1</sup>, Wagner Luiz de Almeida Teixeira<sup>2</sup>, Widsley Anderson Oliveira<sup>3</sup>**  
([dossantosdoria@gmail.com](mailto:dossantosdoria@gmail.com))<sup>1</sup>, ([wagner71@hotmail.com](mailto:wagner71@hotmail.com))<sup>2</sup>, ([widsley@gmail.com](mailto:widsley@gmail.com))<sup>3</sup>

Professor orientador: Sérgio Ribeiro Silva

Coordenação de curso de Engenharia Elétrica

### **Resumo**

A energia elétrica permitiu um avanço significativo na evolução humana e continua participando diretamente de quase tudo onde as pessoas vivem, seja em residências, no comércio, no transporte, mas acreditamos que foi na indústria onde esta ciência tomou forma sendo um insumo crítico que alimenta diversos processos, pessoas, clientes e permite que tudo isto funcione. Além dos aspectos econômicos o uso eficiente da energia deve ser debatido e aplicado cada vez mais, as fontes de energia são esgotáveis e devemos ter este compromisso para que as futuras gerações desfrutem dela também. No Brasil o tema eficiência energética teve início nos anos 80 onde começaram a descrever regulamentos, programas e em ressonância a este fato, este artigo tem como objetivo estudar e propor o uso eficiente da energia elétrica em um processo de secagem de motores elétricos de tração em uma indústria do ramo ferroviário. O método de pesquisa inclui entrevista com responsáveis do processo, análise de memória de massa, dados da fatura de energia, monitoramento em tempo real e levantamento das características de funcionamento da estufa de secagem. Ao fim do estudo foi possível propor 3 alternativas eficientes de consumo da energia elétrica para os gestores da empresa.

Palavras-chave: Eficiência energética. Estufa para secagem. Tarifação em horário de ponta.

### **1. INTRODUÇÃO**

Com o aumento no consumo de energia em todo o mundo, a sociedade se viu no dever de usar de forma mais eficiente este recurso, principalmente a energia elétrica, dando origem, principalmente, no Brasil, em 1985, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) com o objetivo de impulsionar as ações voltadas para a conservação de energia. (MAMEDE, 2017, p. 692). No mundo todo, apenas 14% das fontes de energia são renováveis. (EPE, 2022). Sendo estas fontes de energia renováveis ou não renováveis, cada uma delas tem sua contribuição em termos de impactos ambientais. Sendo assim, uma forma de se preservar estas fontes geradoras de energia é aumentar a eficiência na utilização de equipamentos procurando usar racionalmente a energia elétrica. (MAMEDE, 2017, p. 692).

O conceito de eficiência energética trata-se de obter os mesmos resultados em termos de trabalho, com um menor uso de energia, sem intervir na qualidade ou desempenho desta utilização. Significa também reduzir custos financeiros com energia, investindo em processos e produtos energeticamente eficientes. (EPE, 2022).

No Brasil, a indústria consome quase 40% da energia produzida no país e desse total 46,3% vem de uma das fontes renováveis que é a hidroelétrica que, mesmo sendo um recurso natural, provoca impactos significativos ao meio ambiente. (PORTAL DA INDÚSTRIA, 2022). Não só no Brasil, mas em todo o mundo, algumas fontes de energia são responsáveis por grandes emissões de poluentes que contribuem para o efeito estufa, sendo assim, o uso

---

<sup>1</sup> Graduação em Engenharia Elétrica – Centro Universitário UNA.

eficiente da energia reduz o volume da emissão destas substâncias na atmosfera. Este uso eficiente da energia pode ocorrer na indústria, no comércio ou nas residências. (PORTAL DA INDÚSTRIA, 2022).

Uma iniciativa importante no nosso país foi a implantação do programa de eficiência de diversos produtos a partir da etiquetagem de equipamentos coordenada pela Inmetro e conhecido como Selo Procel de Energia (MOREIRA, 2021), definindo os requerimentos mínimos de desempenho e limitando o consumo máximo de determinada aplicação. Podem-se definir como ações de eficiência energética todas aquelas que promovam a redução do consumo de energia, mantendo-se o mesmo nível de serviço prestado.

Outra enorme contribuição para este tema é a ISO 50001 que estabelece requisitos mínimos e específicos que conduz a uma organização a controlar e promover melhorias de desempenho energético em sua cadeia de produção. Importante entender que o conceito de gestão de energia se aplica a qualquer organização, independentemente de seu segmento de atuação, tamanho ou perfil de consumo de energia. (FOSSA, 2017).

Nos processos industriais, são utilizados equipamentos para aquecimento que consomem volumes expressivos de energia, como por exemplo: Estufas de secagem, fornos e sistemas de geração de calor. Os elevados consumos desses equipamentos podem ser provenientes de perdas inerentes do processo produtivo, perdas da operação ou até mesmo devido às características do projeto do equipamento. (COPEL, 2005).

Este artigo tem como objetivo, identificar e promover melhoria ao uso eficiente da energia elétrica em um processo de secagem de verniz de uma indústria ferroviária. A investigação foi motivada a partir da verificação dos valores pagos da conta de luz durante o horário de pico, o uso de energia elétrica neste horário tem grande representatividade no valor final cobrado pela concessionária.

Com embasamento nas técnicas e normas sobre o assunto, o estudo tem foco em âmbitos gerais da eficiência energética em uma indústria e busca propor alternativas do uso de energia elétrica em estufas que possibilite melhorar a eficiência do consumo em relação à sua configuração atual.

## **2. DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 Eficiência energética, seus benefícios para a indústria e os programas de incentivo nacional**

O resultado do uso da energia pode ser obtido através da transformação de processos em algum produto, que pode ser algo material ou abstrato como o conforto térmico. Para que o consumo de energia seja administrado em termos de melhor eficiência, um indicador que relacione este consumo com o resultado obtido é importante. A partir desta relação consumo/resultados é que se pode buscar formas de conseguir o mesmo trabalho útil com menor consumo de energia, tornando o processo produtivo mais eficiente. (BARROS, 2015, p. 17).

Em (CAPELLI, 2013, p. 173) cinco passos são citados para que se possa conseguir uma boa eficiência energética:

1. Compreenda seu consumo atual.
2. Entenda como ele é cobrado.
3. Identifique oportunidades de economia de custos.
4. Elabore um diagnóstico energético e um plano executivo.
5. Verifique, por meio de indicadores ou medição direta, a redução da demanda ou o consumo de energia elétrica.

Com o aumento no consumo de energia e fontes cada vez mais limitadas, seja por falta de investimentos ou até mesmo pelo fato de que a oferta de energia não consegue acompanhar

a demanda, temos observado um despertar na sociedade de forma geral na importância de se criar ações e movimentos com o objetivo do uso racional da energia elétrica. (MOREIRA, 2021, p. 395).

Alguns fatores impulsionaram estes movimentos na busca por soluções mais eficientes do uso da energia de forma racional:

6. Mudanças na forma de cobrança das tarifas energéticas que, de certa forma, foi vista pelos setores geradores e distribuidores de energia como uma maneira de se compensar o aumento da demanda;

7. No Brasil, o crescimento no número de edificações que requerem certificações sustentáveis em seus projetos como LEED (Liderança em Energia e Design Ambiental, AQUA (Alta Qualidade Ambiental) e Procel-Edifica;

8. Mudanças climáticas vêm preocupando toda a nação mundial afetando diretamente o suprimento de energia sendo necessária a implantação de ações que visam garantir a eficiência dos setores produtivos. (MOREIRA, 2021, p. 395).

Por parte do governo brasileiro, ações para amenizar o impacto com o uso de energia foram adotadas nas últimas décadas, tais como: Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) que visa classificar equipamentos como eletrodomésticos, lâmpadas e diversos outros em categorias tipo A (mais eficiente) a E (menos eficiente). Essa informação é disponibilizada em uma etiqueta afixada no equipamento que mostra ao consumidor quanto eficiente é o aparelho que ele deseja adquirir. Também foi adotado o Programa Procel Edifica que, semelhante ao programa de Etiquetagem classifica as edificações em mais ou menos eficientes se tratando do projeto da edificação, sistemas de iluminação e condicionamento de ar. (MOREIRA, 2021, p. 395).

Contudo, o uso eficiente da energia elétrica tem consequências diretas, principalmente, em redução de gastos, seja por uma simples ação em apagar a luz de um ambiente que não está sendo usado até a adoção de equipamentos como ar condicionados mais modernos e motores elétricos de alto rendimento. Além destas ações, outra ação muito importante é monitorar rigorosamente as informações das faturas de energia, principalmente, na indústria, pois são nelas que se pode avaliar o comportamento da demanda utilizada em relação à contratada, o consumo e a demanda nos horários de ponta (onde os valores cobrados por kWh são diferenciados) e também se a empresa está sendo penalizada com multas (GREENYELLOW, 2020).

Para que projetos relacionados ao uso eficiente da energia possam ser implementados, alguns conceitos devem ser conhecidos:

9. Consumo: está diretamente relacionado a energia gasta durante o tempo de utilização sendo igual à potência vezes o tempo, medido em Wh (Watt hora) ou pelos seus múltiplos KWh, MWh.

10. Demanda: é a potência instantânea solicitada pelo consumidor à concessionária de energia e, no Brasil é medida em intervalos de 15 em 15 minutos, período este que varia de país para país. A demanda é medida em KW.

11. Fator de carga (FC): É a relação entre o consumo (KWh) e a demanda (KW) vezes 730 horas (valor dependente da classe do consumidor). Esta relação varia entre 0 e 1 e, quanto mais próximo de 1 melhor é a eficiência do sistema.

12. Intervalo de integração: é o intervalo que serve de base de cálculo para a fatura de energia, ou seja, num período de 30 dias do mês considerando medições de 15 em 15 minutos teremos 2880 intervalos. (CAPELLI, 2013, p. 173).

## **2.2 Processos de aquecimento por estufa industrial e suas características**

Fornos elétricos são parte fundamental da carga instalada em vários segmentos da indústria. Isto se deve ao fato de possuírem potências elevadas e, por consequência, representarem parcela significativa da carga instalada para o dimensionamento do projeto elétrico. Outro aspecto importante refere-se às perturbações na rede elétrica produzidas por fornos de indução, ou fornos a arco, que podem gerar distúrbios afetando consumidores de energia conectados ao mesmo alimentador ou subestação elétrica.

Por outro lado, existem fornos que contribuem significativamente para a melhoria do fator de potência em uma dada rede de distribuição (MAMEDE, 2022).

A indústria conta com três grupos distintos de fornos elétricos:

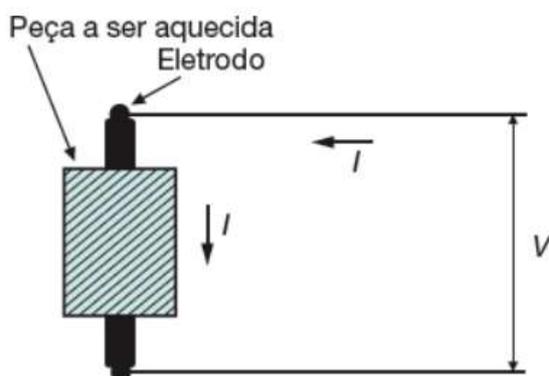
- Forno a resistência elétrica;
- Forno de indução eletromagnética;
- Forno a arco.

Os fornos a resistência são denominados aqueles os quais utilizam o calor gerado por perdas Joule em uma resistência elétrica que aquecem o material do processo através de irradiação térmica. Eles podem ser também qualificados de duas maneiras, fornos de aquecimento direto e indireto, fator este determinado para a aplicação e construção do projeto.

Os fornos de aquecimento direto (Figura 1) são aqueles onde o material a ser trabalhado é instalado em série com o circuito de aquecimento por meio de dois eletrodos, por tanto o material deve possuir característica ideais de condução elétrica para esta aplicação. A corrente elétrica que circula no dispositivo é a mesma que irá circular no material a ser processado.

São fornos com aplicação muito específica na indústria como a fabricação de eletrodos a grafite, sendo estes empregados na fabricação de fornos a arco, também para aquecimento de água para produção de vapor, manutenção da temperatura de fusão do vidro a partir de um bloco de material fundido (MAMEDE, 2022).

**Figura 1 – Forno de aquecimento direto**



Fonte: (Mamede, 2022)

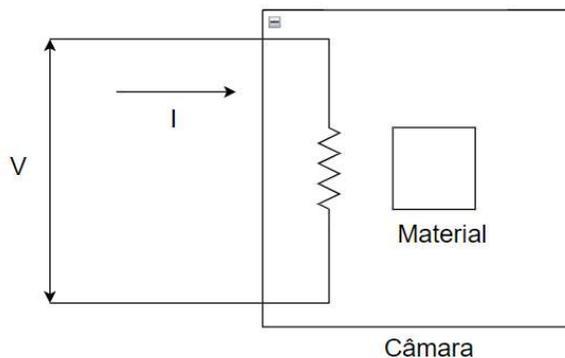
Os fornos a resistência de aquecimento indireto (Figura 2) são os mais comuns na indústria. A construção destes dispositivos é caracterizada por uma câmara isolada termicamente e um atuador de calor, no caso a resistência elétrica. O calor gerado pela resistência é transferido ao ambiente e ao material do processo via fenômeno de irradiação, conforme já mencionado.

A empregabilidade deste sistema se dá em processos de fusão de material, secagem e cozimento de diversos tipos de produtos, tratamento térmico de materiais, vulcanização em geral, etc.

O funcionamento adequado destes fornos depende do dimensionamento correto de um controlador de temperatura e também do material especificado para tratamento. Alguns exemplos de premissas para dimensionamento deste dispositivo são (MAMEDE, 2022).

- Elevada temperatura de fusão, na ordem de 25% superior a fusão do material trabalhado;
- Resistividade elevada;
- Em altas temperaturas apresentar grau de dureza elevado;
- Ser resistente a correção em temperaturas elevadas.

**Figura 2 – Forno de aquecimento indireto**



Fonte: Elaborado pelos Autores

A resistência pode ser ligada em tensão alternada mono ou bifásico (fase-neutro ou fase-fase) e em sistemas de tensão trifásico arranjado em estrela ou triângulo. Existe uma preferência para arranjos em triângulo, pois pode-se utilizar menos material resistor e por consequência economia no projeto e no custo de manutenção.

Nos projetos de câmara de aquecimento indireto, a principal característica alvo de dimensionamento é a carga específica, dada em  $W/cm^2$ . Esta irá determinar a seção da resistência de aquecimento. A carga específica representa a maior taxa de transferência de potência cedida, por unidade de superfície. Nas aplicações industriais escolhe-se valores entre  $0,5$  a  $4,5W/cm^2$  de carga específica superficial dos fios resistores (MAMEDE, 2022).

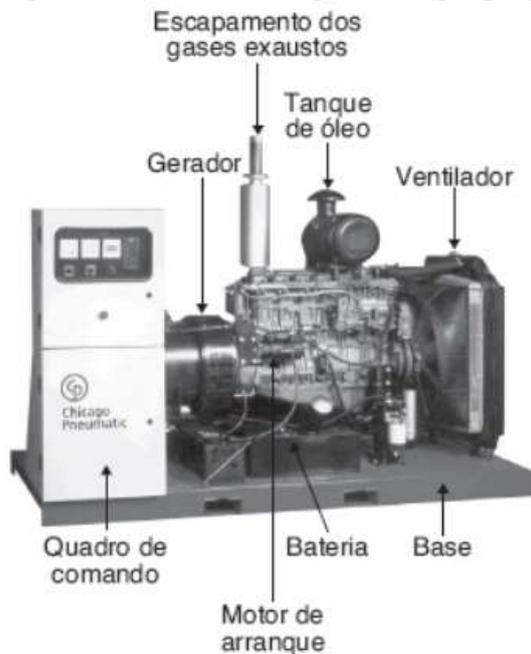
Diversas aplicações de estufas de aquecimento a resistência na indústria estão relacionadas a transferência de energia em forma de calor para grandes massas e por períodos na ordem de horas ou até dias. Por consequência, estas possuem grande representatividade na conta de energia. Usando como referência a potência típica de equipamentos de aquecimento residenciais, em um forno elétrico, a potência necessária média para efeito da instalação elétrica é de  $4500W$ , já em um forno micro-ondas é de  $750W$  (OLIVEIRA, 2017). Esta comparação ilustra que instalações para aquecimento a resistência elétrica necessitam de grande quantidade de energia elétrica para obter o resultado esperado.

### 2.3 Medidas econômicas de geração de energia

Medidas interessantes que contribuem para a redução da fatura de energia elétrica do setor industrial e comercial são os geradores elétricos a combustão (também conhecidos como grupo geradores – Figura 3), esta alternativa é de grande empregabilidade para consumidores que precisam reduzir seu consumo de energia, ou demanda, no horário de ponta.

A aplicação dos geradores de corrente alternada a combustão permeia em toda indústria de geração termelétrica moderna, já outras formas de geração de energia que envolvem conversão eletromecânica dependem também da operação dos geradores CA, porém acionados por turbinas eólicas, hidráulicas e outras (OBADOWSKI, 2019).

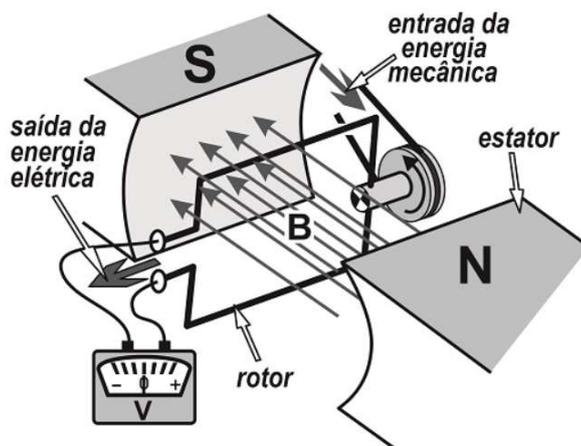
**Figura 3 – Unidade de geração (grupo gerador) de pequeno porte.**



Fonte: (MAMEDE, 2022)

O princípio básico dos geradores é baseado na aplicação da lei de Faraday da indução eletromagnética e em termos de construção, dispõem de uma parte fixa, chamada estator e de uma parte rotativa, chamada rotor (Figura 4). Em algumas máquinas o rotor possui bobinas em que a força eletromotriz é induzida, enquanto o campo magnético é criado no estator. Em outras máquinas, as bobinas estão fixas no estator, enquanto o campo magnético gira com o rotor. O movimento do campo em relação as bobinas causam a força elétrica motriz induzida no estator e por consequência a tensão elétrica nos terminais de saída (FLARYS, 2013).

**Figura 4 – Gerador de corrente alternada**



Fonte: (MANAVELLA, 2020)

## 2.4 Análise de investimento e cálculo de retorno investido

Para iniciarmos um estudo de retorno de investimento em eficiência energética é necessário partir de um diagnóstico energético. Esse diagnóstico apresentará as principais informações relacionadas à ação de eficiência energética que será desenvolvida. O diagnóstico energético irá direcionar o planejamento e desenvolvimento de um projeto de eficiência energética, e a sua elaboração.

É necessária uma inspeção de campo para que seja realizado o levantamento das características da instalação, dos equipamentos e do regime de utilização. Baseado nas informações obtidas no levantamento de campo, é elaborado o diagnóstico energético, visando tornar mais eficiente o consumo de energia.

Com base no diagnóstico energético podemos identificar pontos a serem otimizados, por exemplo, substituir um sistema de iluminação constituído por lâmpadas a vapor metálico por outras do tipo LED (Diodo Emissor de Luz). Posteriormente essa decisão deve ser submetida a uma avaliação financeira que justifique o tempo de retorno do capital investido no empreendimento.

Payback (Retorno) é o tempo de retorno desse investimento inicial até o momento em que os rendimentos acumulados se tornam iguais ou superior ao valor investido. Podemos encontra-lo somando os valores dos fluxos de caixas negativos com os fluxos de caixas positivos, até que a soma resulte a zero. (MOREIRA, 2021).

$$II = FC_1 + FC_2 \quad (1)$$

onde:  $II_0$  = Investimento inicial  
 $FC_1$  = Fluxo de caixa 1  
 $FC_2$  = Fluxo de caixa 2

Caso os retornos ou fluxos de caixa forem iguais, deve-se dividir o investimento inicial diretamente pelo valor de um dos fluxos de caixa.

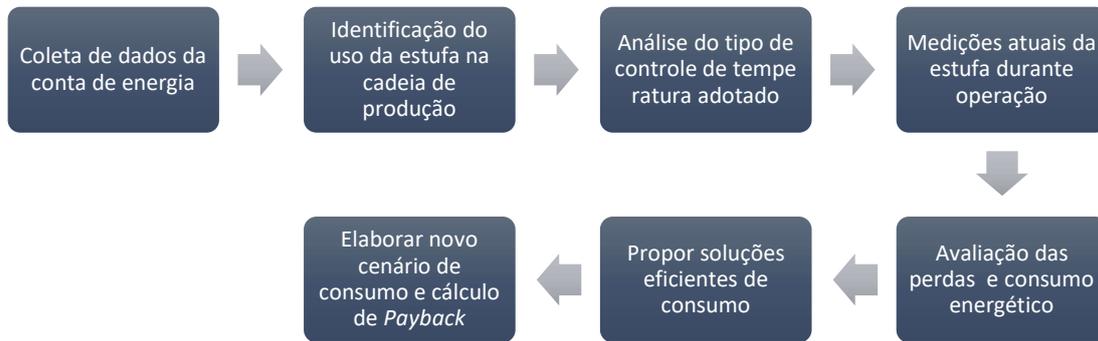
$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento inicial}}{\text{Fluxo de caixa}} \quad (2)$$

### 3. METODOLOGIA

O estudo de caso consiste em uma abordagem prática em um processo de impregnação de motores de tração de uma indústria do ramo ferroviário com o objetivo de promover um diagnóstico energético fundamentado na seção 2 deste artigo, propor soluções para o uso eficiente da energia elétrica e por consequência a redução do valor pago na conta de energia.

O diagnóstico energético adotado norteou o planejamento e desenvolvimento da proposta de eficiência energética e o estudo de payback apresenta o retorno sobre o investimento. As etapas do projeto são apresentadas abaixo:

#### **Figura 5 – Estrutura do diagnóstico energético**



Fonte: Elaborado pelos Autores.

A coleta de dados da conta de energia é obtida a partir da memória de massa que a concessionária da região fornece. Já o mapeamento do uso das estufas dentro da cadeia produtiva é obtido junto ao time de engenharia de processo. Estas informações permitem entender o perfil de consumo e a representatividade da demanda necessária para o funcionamento da estufa.

A análise da tecnologia adotada no controle de temperatura e as medições atuais de corrente durante funcionamento apresentam respectivamente se o sistema é suficiente para controlar a temperatura de trabalho desejada e se o sistema está funcionando de acordo com as condições projetadas em termos de consumo de corrente e isolamento térmico.

Com os dados levantados nas etapas anteriores realiza-se uma avaliação técnica sob aspectos de perdas de energia e tarifação do consumo energético.

Por fim, elabora-se uma proposta de consumo mais econômica para a cadeia produtiva, juntamente com a projeção do novo consumo de energia e o cálculo do retorno do investimento.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fatura de energia da empresa (Figura 6) apresenta elevado consumo em horário de ponta (17 às 20 horas de segunda a sexta-feira), aproximadamente 48% de representatividade na fatura de energia mesmo não possuindo atividades em segundo turno. Em função deste dado, foi organizado uma reunião com o time de manutenção da empresa a fim de identificar a fonte deste alto consumo. O responsável informou que o setor de motores de tração representa 46% do rateio da energia elétrica da fábrica e que o processo desta área possui duas estufas para secagem de verniz, que são ligadas às 17 horas e permanecem em trabalho por um período de 11 horas todos os dias úteis.

**Figura 6 – Fatura mensal de energia**

Informações Gerais		Valores Faturados																																																																																											
<p>Aplicado desconto de 49,63 %.</p> <p>Tarifa vigente conforme Res Aneel nº 3.046, de 21/06/2022.</p> <p>Conforme DECRETO Nº 48.093, DE 10 DE DEZEMBRO DE 2020, não será exigido o recolhimento do ICMS sobre a parcela de Demanda de Potência não utilizada.</p> <p>Base de cálculo reduzida nas componentes Distribuição, Transmissão e Encargos conf. art. 2º da Lei nº 194/22</p> <p>Pela legislação tributária, os descontos a que se refere o Decreto Federal 7.891/13 também integram a base de cálculo do ICMS, PASEP e COFINS.</p> <p>AGENTE DE RELACIONAMENTO: EDUARDO C. A. SILVA</p> <p>E-MAIL: eduardo.csilva@cemig.com.br</p>		<b>Descrição</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Tarifa/Preço</b>	<b>Valor(R\$)</b>																																																																																								
		Componente Fio kW HFP	1.000	17,20586706	17.205,85																																																																																								
		Componente Encargo kWh HFP	141.295	0,12812189	18.102,97																																																																																								
		<b>Componente Encargo kWh HP</b>	<b>14.995</b>	<b>1,38490301</b>	<b>20.766,60</b>																																																																																								
		Energia Reativa kWh HFP	3.418	0,30683680	1.048,74																																																																																								
		Energia Reativa kWh HP	177	0,30683680	54,27																																																																																								
		Encargo Cta Covid REN 885/2020	156.290	0,01116197	1.744,49																																																																																								
		<b>Encargos/Cobranças</b>																																																																																											
		Ajuste de Desconto C. Fio HFP			2,85																																																																																								
		Ajuste de Desconto C. Enc HP			3,22																																																																																								
		Contrib Ilum Publica Municipal			52,90																																																																																								
		<b>Abatimentos e Devoluções</b>																																																																																											
		Desconto Comp. Fio HFP			-8.209,36																																																																																								
		Desconto Comp. Encargo HP			-8.991,83																																																																																								
<p><b>NOTIFICAÇÃO DE DÉBITO(S)</b></p> <p>Até 03/10/2022 constava(m) o(s) seguinte(s) débito(s):</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Mês/Ano</th> <th>Valor (R\$)</th> <th>Débitos que sujeitam ao corte:</th> </tr> <tr> <th>Mês/Ano</th> <th>Valor (R\$)</th> <th>Prev. Corte</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>A religação estará condicionada à inexistência de débitos vencidos na unidade consumidora. No mês em que ocorrer suspensão/religação será cobrado, no mínimo, o custo de disponibilidade.</p>		Mês/Ano	Valor (R\$)	Débitos que sujeitam ao corte:	Mês/Ano	Valor (R\$)	Prev. Corte																																																																																						
Mês/Ano	Valor (R\$)	Débitos que sujeitam ao corte:																																																																																											
Mês/Ano	Valor (R\$)	Prev. Corte																																																																																											
<p><b>Histórico de Consumo</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Mês/Ano</th> <th colspan="2">Demanda(kW)</th> <th colspan="2">Energia(kWh)</th> <th rowspan="2">HR</th> </tr> <tr> <th>HP</th> <th>HFP</th> <th>HP</th> <th>HFP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SET/22</td> <td>478</td> <td>573</td> <td>14.995</td> <td>141.295</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>AGO/22</td> <td>404</td> <td>905</td> <td>15.713</td> <td>142.550</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>JUL/22</td> <td>413</td> <td>642</td> <td>15.430</td> <td>144.321</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>JUN/22</td> <td>421</td> <td>959</td> <td>13.694</td> <td>125.521</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>MAI/22</td> <td>913</td> <td>914</td> <td>16.330</td> <td>138.521</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>ABR/22</td> <td>959</td> <td>908</td> <td>13.805</td> <td>124.246</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>MAR/22</td> <td>858</td> <td>968</td> <td>16.486</td> <td>146.572</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>FEV/22</td> <td>450</td> <td>672</td> <td>10.690</td> <td>111.045</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>JAN/22</td> <td>386</td> <td>592</td> <td>14.385</td> <td>130.303</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>DEZ/21</td> <td>587</td> <td>591</td> <td>16.421</td> <td>127.850</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>NOV/21</td> <td>474</td> <td>593</td> <td>18.048</td> <td>148.281</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>OUT/21</td> <td>421</td> <td>527</td> <td>14.826</td> <td>139.714</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>SET/21</td> <td>436</td> <td>549</td> <td>14.211</td> <td>132.659</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>		Mês/Ano	Demanda(kW)		Energia(kWh)		HR	HP	HFP	HP	HFP	SET/22	478	573	14.995	141.295	0	AGO/22	404	905	15.713	142.550	0	JUL/22	413	642	15.430	144.321	0	JUN/22	421	959	13.694	125.521	0	MAI/22	913	914	16.330	138.521	0	ABR/22	959	908	13.805	124.246	0	MAR/22	858	968	16.486	146.572	0	FEV/22	450	672	10.690	111.045	0	JAN/22	386	592	14.385	130.303	0	DEZ/21	587	591	16.421	127.850	0	NOV/21	474	593	18.048	148.281	0	OUT/21	421	527	14.826	139.714	0	SET/21	436	549	14.211	132.659	0				
Mês/Ano	Demanda(kW)		Energia(kWh)		HR																																																																																								
	HP	HFP	HP	HFP																																																																																									
SET/22	478	573	14.995	141.295	0																																																																																								
AGO/22	404	905	15.713	142.550	0																																																																																								
JUL/22	413	642	15.430	144.321	0																																																																																								
JUN/22	421	959	13.694	125.521	0																																																																																								
MAI/22	913	914	16.330	138.521	0																																																																																								
ABR/22	959	908	13.805	124.246	0																																																																																								
MAR/22	858	968	16.486	146.572	0																																																																																								
FEV/22	450	672	10.690	111.045	0																																																																																								
JAN/22	386	592	14.385	130.303	0																																																																																								
DEZ/21	587	591	16.421	127.850	0																																																																																								
NOV/21	474	593	18.048	148.281	0																																																																																								
OUT/21	421	527	14.826	139.714	0																																																																																								
SET/21	436	549	14.211	132.659	0																																																																																								
		<b>Reservado ao Fisco</b>																																																																																											
		08A9.1D0C.C59C.0EF9.8D9F.A37F.34F2.E89F																																																																																											
		<b>Base de cálculo (R\$)</b>	<b>Alíquota (%)</b>	<b>Valor (R\$)</b>																																																																																									
		ICMS	5,892,00	18,00	1.060,53																																																																																								
		PASEP	57.862,39	0,69	399,21																																																																																								
		COFINS	57.862,39	3,18	1.839,99																																																																																								

Ouvidoria CEMIG: 0800 728 3838 - Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - Telefone: 167 - Ligação gratuita de telefones fixos emóveis

Fonte: Companhia Energética de Minas Gerais

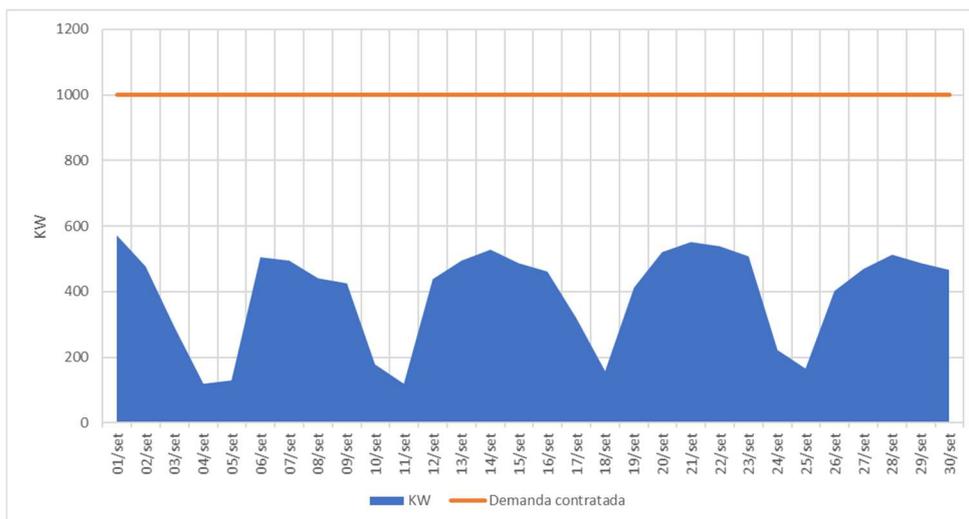
Foi solicitado à companhia de energia da região os dados de massa do mesmo período da fatura mencionada acima com o objetivo de, entre outras informações, analisar o valor do Fator de Potência (indica quanto da potência elétrica consumida está de fato sendo convertida em trabalho útil – Figura 7), verificar o consumo no horário de ponta, fora de ponta e verificar a demanda ativa utilizada pelo cliente (Figura 8).

**Figura 7 – Fator de potência**



Fonte: Elaborado pelos Autores.

**Figura 8 – Demanda contratada versus demanda ativa**



Fonte: Elaborado pelos Autores

Na análise em loco, foi identificado nos dados de placa das estufas que a potência nominal é de 100KW cada uma. Calculando o consumo de energia em kWh no horário de ponta para estes dois dispositivos, chega-se a um valor de 70% do componente total de encargo do consumo de energia aferido em horário de ponta.

$$\text{Custo} \frac{kWh}{\text{mês}} = \text{Potência total} \times \text{Horas} \times \text{Dias} \times \text{Tarifa HP} \quad (3)$$

$$\text{Custo} \frac{kWh}{\text{mês}} = 100KW \times 2\text{estufas} \times 3\text{horas} \times 22\text{dias} \times 1,38\text{tarifa HP}$$

$$\text{Custo} \frac{kWh}{\text{mês}} = R\$ 18.216,00$$

As estufas trabalham com controle ON/OFF para atingir a temperatura desejada no processo de secagem, este sistema é caracterizado por ligar e desligar a saída do controlador em regime permanente, onde a variável descreve uma trajetória oscilatória em torno do setpoint.

O controlador também está configurado para trabalhar com histerese ajustada para 8% do valor de setpoint, ou seja,  $170^{\circ}\text{C} \pm 13,6^{\circ}\text{C}$ , assim o atuador de calor é desligado quando a temperatura da estufa atinge  $183,3^{\circ}\text{C}$  e religa em  $156,4^{\circ}\text{C}$ .

A temperatura interna é coletada via 2 termopares do tipo J, localizados estrategicamente dentro da estufa. A tensão de trabalho é de 380V trifásico e possui 12 resistências confirmadas em 4 grupos de 3 resistências conectadas em estrela para realizar o aquecimento do ambiente interno.

**Figura 9 – Controlador ON/OFF com histerese e Estufa**



Fonte: Elaborado pelos Autores

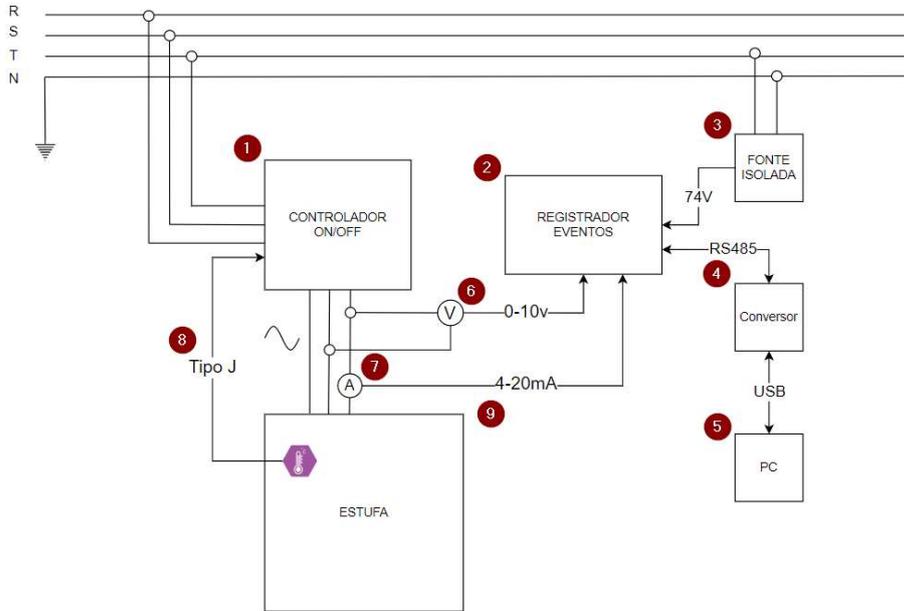
O acionamento do sistema é dependente da ação de um funcionário, possuindo apenas um timer para o desligamento automático configurado em 11 horas, dividido em 1 hora para a rampa transitória e 10 horas para o regime permanente.

O processo de secagem do verniz possui baixa flexibilidade no que diz respeito a alterações no ciclo de trabalho e as estufas são sempre acionadas às 17 horas, ou seja, é inviável para a cadeia de produção, por exemplo, programar a estufa em um período diferente do dia, de maneira que este processo não atravesse o horário de ponta. A inflexibilidade de horário decorre da necessidade de que os motores submetidos à secagem estejam prontos para seguir o processo produtivo logo ao primeiro horário do dia seguinte.

Visando aprimorar a análise do perfil de consumo de energia da estufa e propor uma solução mais assertiva, foi organizado um monitoramento da tensão e corrente elétrica durante todo o período de funcionamento padrão do equipamento com o objetivo de traçar o regime de consumo de energia real dos dispositivos. Neste trabalho foi utilizado um registrador de eventos que tem a capacidade de registrar em arquivo log dos valores de tensão e corrente em tempo real a cada 1,5 segundos. Para a leitura de tensão foi aplicado um transdutor de tensão de entrada de 0-500Vac e saída proporcional a 0-10V e um transdutor de corrente de efeito Hall configurado para leitura de 0-290CA e saída proporcional a 4-20mA. Os equipamentos são ligados a uma fonte isolada e a um nobreak para evitar oscilações e queda da rede elétrica e

comprometer o ensaio de monitoramento. Por fim um software é encarregado de se comunicar com o registrador de eventos via comunicação RS485 e um conversor Serial/USB. Os componentes da montagem são mostrados na Figura 10 e na Figura 11 apresenta-se uma foto dos componentes utilizados.

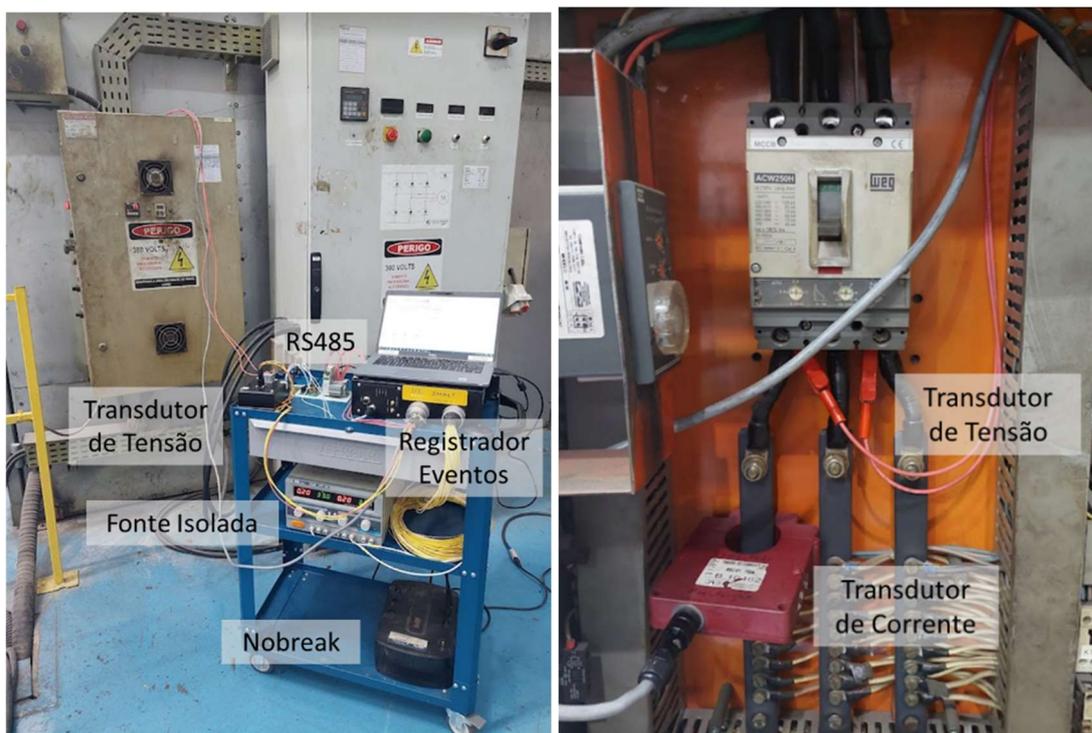
**Figura 10 – Diagrama de ligação para a coleta de dados reais da estufa**



Fonte: Elaborado pelos Autores

1. Controlador ON/OFF com histerese 380Vac.
2. Registrador de eventos (*datalogger*).
3. Fonte isolada 60V/6A.
4. Conversor RS485 para USB.
5. PC com software de monitoramento.
6. Transdutor de tensão com entrada de 0-500Vac e saída 0-10V.
7. Transdutor de corrente com entrada de 0-290Aac e saída 4-20mA.
8. Termopar tipo J.
9. Estufa de secagem de verniz.

**Figura 11 – Setup para monitoramento em tempo real**



Fonte: Elaborado pelos Autores

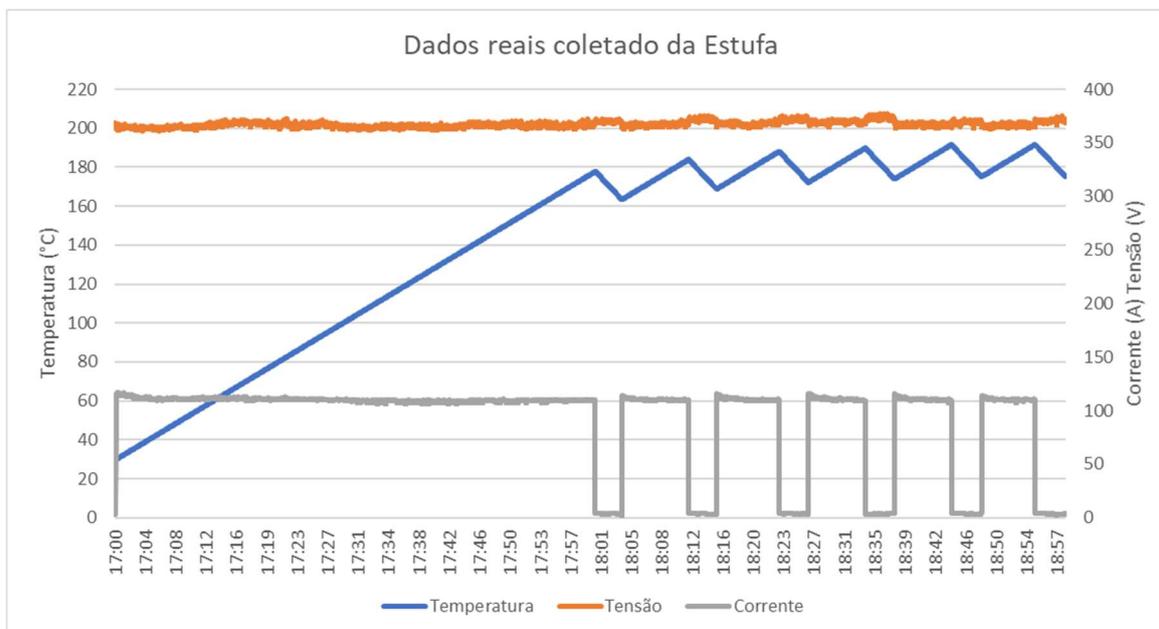
A Figura 12 a seguir mostra os resultados obtidos pelos equipamentos de medição. O ciclo completo possui duração de 11 horas e como o processo se repete em regime permanente, o gráfico representa o comportamento das variáveis até às 19:00.

Os dados da Figura 12 demonstram que a variável de temperatura partiu em 30°C e atinge o setpoint após 1 hora de funcionamento e permanece em torno de 170°C  $\pm$  13,6°C conforme configuração da histerese visualizado no controlador da estufa.

A tensão média da rede ficou em 370V e possui baixa oscilação mesmo nos momentos onde as resistências são energizadas, isto é um ponto positivo pois indica que não existem perdas de tensão no circuito da rede elétrica.

A corrente média medida pelo registrador de eventos permaneceu em 110A quando as resistências estão energizadas e está respeitando os limites do disjuntor principal que é de 250A nominal e 85KA de corrente de curto circuito.

**Figura 12 – Resultado da análise em tempo real**



Fonte: Elaborado pelos Autores

Em função dos dados obtidos nas medições, é possível calcular a potência do dispositivo e a energia demandada da rede elétrica durante as 3 horas do horário de ponta efetivamente. Observa-se também que a tensão de rede e a corrente não oscilam durante o tempo em que a estufa permanece ligada (controlador em ON).

$$P = \sqrt{3} \times Vf \times I \quad (4)$$

$$P = \sqrt{3} \times 365 \times 115$$

$$P = 72,7 \text{ KW}$$

Conforme mencionado, as estufas são sempre ligadas às 17 horas, sendo que o horário de ponta está compreendido nas 3 horas entre as 17 horas e as 20 horas. Logo na primeira hora do período de ponta o equipamento consome sua potência máxima para o aquecimento inicial até a temperatura desejada (rampa de aquecimento) gerando elevado consumo de energia.

Em seguida, nas próximas duas horas, o equipamento entra em ciclo de ON/OFF no regime permanente. Visualizando o perfil da corrente elétrica na Figura 12, o controlador permanece em ON durante 8 minutos e OFF durante 4 minutos fechando um período total de 12 minutos. Este período será repetido durante as 10 horas de funcionamento em torno 170°C, ou seja, 50 vezes e desta forma pode-se calcular o real consumo de energia elétrica em kWh durante o horário de ponta.

$$Fator \text{ ON} = \frac{\text{Tempo ON}}{\text{Tempo total}} \quad (5)$$

$$Fator \text{ ON} = \frac{60 \text{ min (rampa)} + 10 \times 8 \text{ (10 ciclos de 8 min)}}{180 \text{ min}}$$

$$Fator \text{ ON} = 77,7\%$$

O cálculo acima indica que a estufa permanece ligada durante 77,7% do tempo em horário de ponta.

$$\text{Custo real } \frac{kWh}{\text{mês}} = \text{Potência total} \times \text{duração} \times \text{dias} \times \text{tarifa} \times \text{fator ON} \quad (6)$$

$$\text{Custo real } \frac{kWh}{\text{mês}} = 145,4 \times 3 \times 22 \times 1,38 \times 0,77$$

$$\text{Custo real } \frac{kWh}{\text{mês}} = \text{R\$ } 10.197,13$$

Portanto o custo real das estufas representa 49% do total da componente de encargo kWh em horário de ponta segundo a fatura de setembro da empresa.

#### 4.1 Propostas de melhoria para eficiência energética

Nesta seção analisa-se algumas alternativas que podem ser utilizadas para reduzir o consumo de energia das estufas durante o horário de ponta. As alternativas são detalhadas e analisadas do ponto de vista de seu custo benefício.

##### 4.1.1 Alternativa 1 – utilização de grupo gerador diesel

Esta alternativa trata da aquisição de dois grupos geradores, um para cada estufa, para serem utilizados em horário de ponta. Os geradores têm potência de 100 KVA e os custos de aquisição são descritos na tabela 1 a seguir.

Dados obtidos:

1. Valor das duas unidades do gerador de 100 KVA cotado por nossa equipe = R\$ 152.000,00;
2. Valor médio do diesel adquirido atualmente pela empresa = R\$ 6,21;
3. Tempo de funcionamento dos geradores = 3 horas, 22 dias durante 12 meses por ano;
4. Consumo de diesel dos geradores = 11 L/h por gerador;
5. Gasto anual com preventiva dos dois geradores = R\$ 2.000,00;
6. Valor do kWh consumido na ponta = R\$ 1,38 / kWh;
7. Potência das duas estufas = 145,4 KW;
8. Fator ON = 0,77.

$$\text{Custo } \frac{\text{diesel}}{\text{ano}} = \text{Horas} \times \text{Dias} \times \text{Meses} \times \text{Consumo Diesel} \times \text{Preço Diesel} \quad (7)$$

$$\text{Custo } \frac{\text{diesel}}{\text{ano}} = 3 \times 22 \times 12 \times 11 \times 6,21 = \text{R\$ } 108.203,04$$

$$\text{Custo } \frac{\text{Total Gerador}}{\text{ano}} = \text{Custo } \frac{\text{diesel}}{\text{ano}} + \text{Preventiva} \quad (8)$$

$$\text{Custo} \frac{\text{Total Gerador}}{\text{ano}} = \text{R\$ } 108.203,04 + \text{R\$ } 2.000,00 = \text{R\$ } 110.203,04$$

$$\text{Custo} \frac{\text{Total HP}}{\text{ano}} = 12 \times \text{Custo real} \frac{\text{kWh}}{\text{mês}} \quad (9)$$

$$\text{Custo} \frac{\text{Total HP}}{\text{ano}} = \text{R\$ } 122.365,56$$

$$\text{Fluxo de caixa} = \text{Custo} \frac{\text{Total HP}}{\text{ano}} - \text{Custo} \frac{\text{Total Gerador}}{\text{ano}} \quad (10)$$

$$\text{Fluxo de caixa} = \text{R\$ } 122.365,56 - \text{R\$ } 110.203,04 = \text{R\$ } 12.162,52$$

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento inicial}}{\text{Fluxo de caixa}} \quad (2)$$

$$\text{Payback} = \frac{\text{R\$ } 152.000,00}{\text{R\$ } 12.162,52} = 12,5 \text{ anos}$$

**Tabela 1 – Cálculo de retorno do investimento.**

Investimento em dois geradores R\$	Diesel/litro R\$	Custo com diesel/ano R\$	Preventiva /ano R\$	Custo total geradores/ano R\$	Custo total HP /ano R\$	Fluxo de caixa R\$ /ano	Payback /ano
152.000,00	6,21	108.203,04	2.000,00	110.203,04	122.365,56	12.163,52	12,5
152.000,00	5,00	87.120,00	2.000,00	89.120,00	122.365,56	33.247,56	4,6
152.000,00	4,00	69.696,00	2.000,00	71.696,00	122.365,56	50.672,56	3,0

Fonte: Elaborado pelos Autores.

A proposta é bem vantajosa comparado ao custo anual gasto com a rede elétrica em HP, mas está diretamente atrelada ao custo do diesel. O tempo de retorno de investimento se altera significativamente para alteração no preço do combustível para os valores de R\$ 5,00 e R\$ 4,00.

A aplicação desta melhoria passa então pela análise da gestão da empresa que deve decidir em função do tempo de retorno desejado.

#### **4.1.2 Alternativa 2 – Alteração de Processo Fabril**

Deslocar horário de início do processo de secagem para as 16 horas, desta forma a rampa de subida termina as 17 horas imediatamente antes do horário de ponta. Com essa alteração o período de maior consumo de energia com o equipamento ligado em sua potência máxima passa

a ocorrer antes do período de maior tarifação, tendo assim o uso mais eficiente da energia sem necessidade de investimento, apenas alteração no processo.

$$Fator ON_2 = \frac{Tempo ON}{Tempo total} \quad (11)$$

$$Fator ON_2 = \frac{Tempo ON}{Tempo total}$$

$$Fator ON_2 = \frac{15 \times 8 (15 \text{ ciclos de } 8 \text{ min})}{180 \text{ min}}$$

$$Fator ON_2 = 66,6\%$$

$$Custo real_2 \frac{KWh}{mês} = Potência total \times duração \times dias \times tarifa \times fator ON_2 \quad (12)$$

$$Custo real_2 \frac{KWh}{mês} = 145,4 \times 3 \times 22 \times 1,38 \times 0,66$$

$$Custo real_2 \frac{KWh}{mês} = R\$ 8.740,40$$

**Tabela 2 – Economia anual prevista alterando horário do processo de secagem**

Custo Atual	Custo com melhoria	Economia gerada
R\$ 122.365,56	R\$ 104.884,80	R\$ 17.480,76

Fonte: Elaborado pelos Autores.

#### 4.1.3 Alternativa 3 – Redução em 50% da potência em regime permanente.

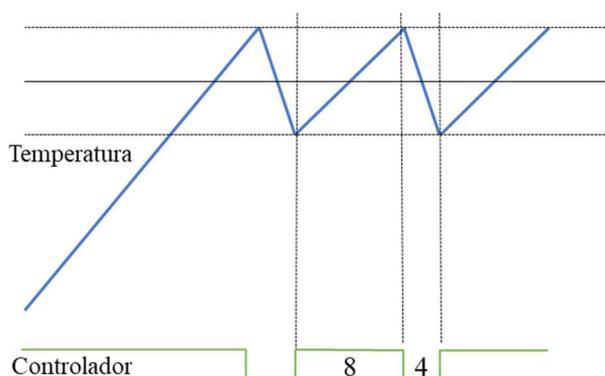
A proposta 3 propõe redução de 50% da potência da estufa quando o processo estiver em regime permanente de temperatura, isto ocorre logo após 1 hora de funcionamento conforme pode ser visualizado na Figura 12, portanto é uma melhoria que abrange tanto o HP quanto HFP, ou seja, uma vez atingido o setpoint, o controlador remove metade das resistências e permanece nesta configuração até o fim do processo de 10 horas.

A potência total da estufa será utilizada apenas para o início do processo onde a variável deve percorrer a temperatura ambiente até o setpoint em menor tempo. A vantagem utilizando este método é a redução de consumo de energia para manter a variável dentro do setpoint economizando nas duas tarifações (HP e HFP).

Para melhor entendimento da proposta observe a Figura 13, gráfico em verde, o controlador libera tensão para a resistência durante 8 minutos e a temperatura sobe até atingir o valor máximo, logo após a resistência é desligada por 4 minutos e a estufa perde temperatura. Este processo oscilatório possui período de 12 minutos e irá se repetir até o fim do ciclo de 600 minutos de cura.

Vale ressaltar que este método proposto é teórico, não houveram ensaios de monitoramento real do novo comportamento e orçamento para a aplicação.

**Figura 13 – Curva do controlador ON/OFF atualmente (100% da potência durante todo ciclo).**



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Desta maneira é possível calcular o consumo atual no regime permanente das estufas (10 horas de funcionamento).

$$\text{Período } (T) = 12 \text{ minutos}$$

$$\text{Repetições} = \frac{\text{Tempo em regime permanente (min)}}{\text{Período}} \quad (13)$$

$$\text{Repetições} = \frac{600}{12}$$

$$\text{Repetições} = 50 \text{ vezes}$$

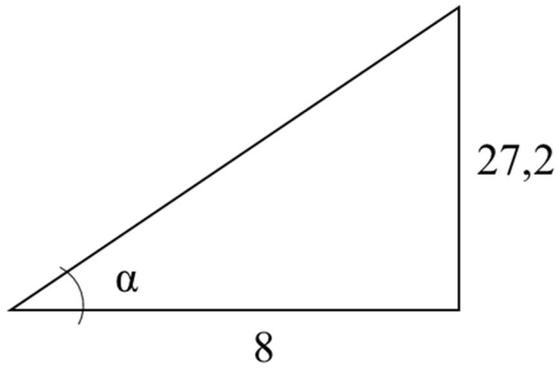
$$\text{Consumo} = \text{Potência (2 estufas)} \times \text{Tempo ON} \times \text{Repetições} \quad (14)$$

$$\text{Consumo} = 145,4 \text{ KW} \times \frac{8}{60} \times 50$$

$$\text{Consumo} = 968 \text{ KWh}$$

Foi utilizado a trigonometria para estimar o consumo das estufas nesta proposta. O cateto oposto da Figura 14, representa a histerese configurada em 8% do setpoint (170°C ± 13,6°C). O cateto adjacente representa o tempo que o controlador permanece com as resistências ligadas durante o ciclo permanente.

**Figura 14 – Triângulo retângulo que representa a rampa de subida das estufas atualmente.**



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Aplica-se a tangente para descobrir o ângulo do triângulo do sistema atualmente.

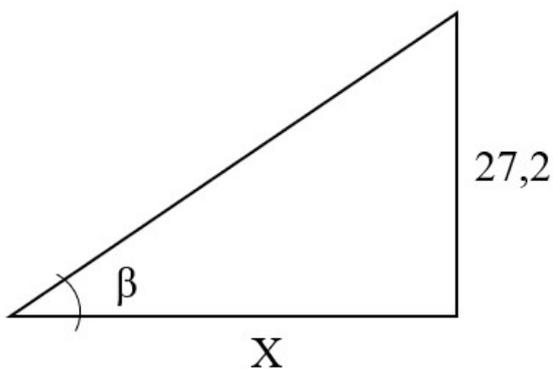
$$Tg \alpha = \frac{\textit{Cateto Oposto}}{\textit{Cateto Adjacente}} \quad (15)$$

$$Tg \alpha = \frac{27,2}{8}$$

$$\alpha = 73,6^\circ$$

Como esta alternativa propõe a reduzir em 50% dos atuadores de temperatura conforme mencionado anteriormente, entende-se que o ângulo da rampa de subida irá reduzir pela metade também. Utilizando desta premissa, é possível desenhar o triângulo para a nova potência proposta.

**Figura 15 – Triângulo retângulo teórico que representa a rampa de subida das estufas aplicando a Alternativa 3.**



Fonte: Elaborado pelos Autores.

$$\beta = \frac{\alpha}{2} \quad (16)$$

$$\beta = \frac{73,6^\circ}{2}$$

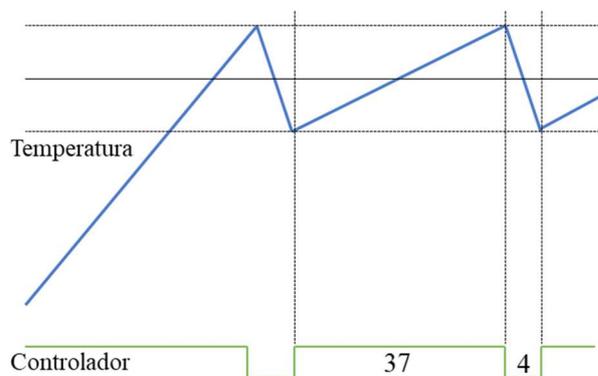
$$\beta = 36,8^\circ$$

Agora a variável a ser calculada é o tempo em que os atuadores permanecem ligados até a temperatura atingir o nível máximo programado.

$$Tg\ 36,8^\circ = \frac{27,2}{X}$$

$$X = 37\ \text{minutos}$$

**Figura 16 – Curva do controlador ON/OFF aplicando a Alternativa 3.**



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Refazendo os cálculos de consumo para a realidade proposta:

$$\text{Período } (T_2) = 41\ \text{minutos}$$

$$\text{Repetições}_2 = \frac{\text{Tempo em regime permanente (minutos)}}{\text{Período } T_2} \quad (17)$$

$$\text{Repetições}_2 = \frac{600}{41}$$

$$\text{Repetições}_2 = 14,6\ \text{vezes}$$

$$\text{Consumo}_2 = \text{Potência em 50\% (2 estufas)} \times \text{Período } T_2 \times \text{Repetições}_2 \quad (18)$$

$$\text{Consumo}_2 = 145,2 \times 0,5 \times \frac{37}{60} \times 14,6$$

$$\text{Consumo}_2 = 653,6\ \text{KWh}$$

Cálculo de economia:

$$Economia = 1 - \frac{Consumo_2}{Consumo\ Atual} \times 100\% \quad (19)$$

$$Economia = 1 - \frac{653,6\ KWh}{968\ KWh} \times 100\%$$

$$Economia = 32,5\% \text{ em regime permanente}$$

Na aplicação desta alternativa a empresa irá economizar 32,5% do consumo elétrico durante o ciclo térmico em regime permanente. Outro ponto positivo é a economia em manutenção pois os atuadores neste sistema irão ligar e desligar menos vezes durante o ciclo e isto proporciona uma maior vida útil dos componentes.

## 5. CONCLUSÕES

O estudo teve início com a análise da fatura de energia da empresa onde foi observado o elevado consumo de energia em horário de ponta, representando 49% do total da fatura, o fato chamou bastante a atenção pois a empresa não possui atividades em segundo turno que justificasse este consumo.

A memória de massa teve contribuição para visualizar de forma mais detalhada que a demanda contratada está superdimensionada, o maior consumo registrado no período foi de 573,32 KW, bem abaixo dos 1000KW disponível. O fator de potência registrou momentos abaixo 0,92, ou seja, a empresa vem sendo penalizada por produzir reativo. Portanto, existe a possibilidade em explorar um projeto de aplicação de correção do FP e readequação da Demanda Contratada, mas não foi estudo deste artigo pois as multas aplicadas e a economia no ajuste da demanda contratada possuem menor representatividade na conta de energia se compararmos com o encargo do consumo em horário de ponta.

A pesquisa de campo foi de extrema importância para identificar que eram as estufas a fonte de consumo excessivo de energia em horário de ponta. Além disto, dados chave sobre como as estufas são empregadas no processo de fabricação dos motores de tração e características elétricas das estufas como dados de placa e tipo de controle empregado também foram apresentados neste momento, tudo isto teve contribuição para a assertividade das propostas de consumo eficiente de energia apresentadas neste artigo.

A escolha para o levantamento dos dados da estufa utilizando o registrador de eventos foi fundamental para calcular a real potência dos equipamentos e visualizar o comportamento da temperatura, corrente e tensão durante todo o ciclo e contribuiu muito para definição das características necessárias para o grupo motor gerador. Outro aspecto visualizado que chamou a atenção é a rampa de resfriamento da temperatura, quando os resistores são desligados, que descreve uma trajetória mais acentuada que a subida, isto indica que existe possibilidade de aplicar uma melhoria na isolação térmica e assim contribuir ainda mais na eficiência energética dos dispositivos.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos, primeiramente a Deus, pela nossa saúde, superando as dificuldades enfrentadas durante a COVID-19, por nos ter concedido sabedoria e forças para superarmos mais esta etapa de nossas vidas. Aos nossos pais, mesmo que de longe, irmãos, irmãs, e,

principalmente às nossas esposas e filhos pela paciência e compreensão pelos momentos que tivemos de nos dedicar aos estudos. Agradecemos aos nossos professores e coordenadores pelo aprendizado, aos colegas pela amizade e experiências compartilhadas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, Benjamim Ferreira de. **Eficiência Energética – Técnicas de Aproveitamento, Gestão de Recursos e Fundamentos**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2015.

CAPELLI, Alexandre. **Energia Elétrica: Qualidade e Eficiência para Aplicações Industriais**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2013.

COPEL. **Companhia Paranaense de Energia. Manual de Eficiência Energética na Indústria**. Disponível em: <<https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/handle/123456789/5171>>. Acesso em: 8 out. 2022.

EPE. **Empresa de Pesquisa Energética. Matriz Energética e Elétrica**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 9 out. 2022.

FLARYS, Francisco. **Eletrotécnica Geral: Teoria e Exercícios Resolvidos**. São Paulo: Editora Manole, 2013. E-book. ISBN 9788520436653. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520436653/>>. Acesso em: 12 out. 2022.

FOSSA, Alberto José. **Guia para Aplicação da Norma ABNT NBR ISO 50001: Gestão de Energia**. São Paulo, 13 mar 2017. 84 páginas.

GREEN YELLOW. **Eficiência Energética: o que é e quais os benefícios**. Disponível em: <<https://greenyellow.com.br/2020/10/05/eficiencia-energetica-o-que-e-e-quais-os-beneficios/>>. Acesso em: 8 out. 2022.

MAMEDE, João M Filho. **Instalações Elétricas Industriais, 9ª edição**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2017.

MAMEDE, João M Filho. **Instalações Elétricas Industriais, 9ª edição**. - [Reimpr.]. - Rio de Janeiro: LTC, 2022.

MANAVELLA, Humberto. **Alternadores de automóveis: Oficina Brasil, 2020**. Disponível em : <<https://www.oficinabrasil.com.br/noticia/tecnicas/gerador-automotivo-mais-conhecido-como-alternador-e-a-fonte-de-energia-dos-veiculos>>. Acesso em: 12 out. 2022.

MOREIRA, José Roberto Simões. **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

OBADOWSKI, Vinícius N.; BEZERRA, Erick C. **Máquinas elétricas I**. Porto Alegre: Grupo A, 2019. E-book. ISBN 9788595028821. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595028821/>>. Acesso em: 12 out. 2022.

OLIVEIRA, Washington P. **Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária ND-5.1**: Rede de Distribuição Aérea e Edificações Individuais, 3 ed. Minas Gerais, 2017.

PORTAL DA INDUSTRIA. **Eficiência Energética**. Disponível em: <<https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/eficiencia-energetica/>>. Acesso em: 8 out. 2022.