



ANÁLISE DE INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM UMA EMPRESA DE EXTRUSÃO DE ALUMÍNIO

Diego Redivo¹
André Abelardo Tavares²

Resumo: O presente trabalho propõe-se, diante do estudo de indicadores de energia elétrica, aplicar seus conceitos em uma empresa do setor de transformação de alumínio na cidade de Urussanga-SC. Desta maneira, realizou-se uma análise do potencial de eficiência energética no setor de extrusão de alumínio, foram indicadas quais são as maiores cargas que compõem o processo. As áreas envolvidas na medição do estudo foram: força motriz, ar comprimido e aquecimento por indução e, mensurados dados como: potência ativa e fator de potência. Mediante análise destas cargas, realizou-se ensaios. Nos motores, o teste foi realizado com um inversor de frequência, no ar comprimido foi demonstrado as perdas através dos vazamentos e no aquecimento por indução, um determinado sistema de controle de potência mostrou ser mais eficiente. Então, mediante aos dados levantados, foram posicionadas algumas melhorias no setor de extrusão e estimados quanto de eficiência elétrica pôde-se alcançar na produção de um determinado produto, se aplicados as sugestões propostas.

Palavras-chave: Potência ativa. Fator de potência. Força motriz. Aquecimento por indução. Ar comprimido.

1 INTRODUÇÃO

Diante da situação atual do setor energético brasileiro e do crescimento do parque industrial nacional, os estudos sobre eficiência energética estão se tornando de suma importância para aprimorar o consumo nos processos industriais e garantir a confiabilidade do Sistema, evitando, situações de vulnerabilidade, como ocorrido nos anos de 2000.

Nesse sentido, estudos de análise de indicadores de eficiência energética em uma planta fabril, torna-se importante na atualidade. Para isso, a pesquisa está focada em mensurar dados como tensão, corrente e fator de potência, destacar os pontos críticos de maior consumo e de menor eficiência, para assim propor melhorias.

¹Departamento de Engenharia Elétrica. Faculdade SATC. Criciúma, Brasil. Email: diego.redivobatera@gmail.com;

²Departamento de Engenharia Elétrica. Faculdade SATC. Criciúma, Brasil. Email: andre.tavares@satc.edu.br.



Para a aplicação destes conceitos, foi selecionada uma empresa de transformação de alumínio, mais precisamente, o setor de extrusão. A empresa estudada localiza-se na cidade de Urussanga, sul de Santa Catarina. Apresenta um parque fabril de mais de 48 mil metros quadrados, que se subdivide em beneficiamento de materiais primários ao processamento de alumínio, além da sua divisão dedicada ao setor plástico [1].

No ano da sua fundação em 1986, produzia apenas esquadrias de alumínio, em 2003 entrou para o ramo plástico e em 2008 que adquiriu sua primeira extrusora para a fabricação dos perfis de alumínio. Atualmente conta com duas extrusoras e com uma produção mensal de 600 a 700 toneladas de perfis extrudados [1].

Com o resultado final e a identificação dos pontos de desperdícios, ou seja, ineficientes, o estudo propõe-se aumentar a eficiência deste processo. A utilização de tecnologias voltadas a maximizar o rendimento dos equipamentos, como por exemplo, soluções para minimizar as perdas elétricas no processo, são algumas contribuições que os estudos de indicadores de eficiência energética podem apontar.

1.1 OBJETIVO GERAL

Diante da análise dos indicadores do uso de energia elétrica, aplicar os conceitos no setor de extrusão de uma empresa de transformação de alumínio, para identificar os principais agentes que causam desperdícios desse recurso e assim auxiliar a gestão do mesmo.

1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a planta industrial do setor de extrusão e identificar o perfil de consumo;
- Verificar os pontos de maior representatividade de consumo de energia elétrica;
- Identificar os principais pontos de desperdício através dos indicadores de energia elétrica;
- Propor melhorias para aprimorar os pontos estudados.



2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Brasil, por ser um país em desenvolvimento, possui forte potencial na indústria de alumínio, contudo, seu consumo *per capita* de alumínio está em uma média de 75% abaixo dos países desenvolvidos. Segundo a ABAL (Associação Brasileira de Alumínios), seu setor movimenta anualmente uma média de mais de 57³ bilhões de reais, correspondendo a 4,9% do PIB industrial [2].

O setor de alumínio é um dos que mais consome eletricidade, corresponde a 6,4% do consumo de energia da indústria brasileira. Com a análise dos últimos anos (estudos da ABAL), há uma forte tendência de aumento de demanda de produtos desse setor nos mercados interno externo, então, otimizar o processo com boas práticas de eficiência energética é essencial para aumentar a competitividade da indústria nacional no mundo globalizado [2].

2.1 EFICIÊNCIA E TECNOLOGIA NA INDÚSTRIA BRASILEIRA

Diante do pressuposto que a energia elétrica provém de recursos naturais e é a maior responsável por mover o parque industrial e a sociedade, cabe ressaltar a necessidade da conscientização da aplicação desse recurso.

Nesse sentido, os projetos de eficiência são indispensáveis na atualidade. Segundo a Eletrobrás, esses projetos trazem benefícios, como a redução de custos no uso da energia e a diminuição dos impactos ambientais [3].

Um exemplo de eficiência energética foi o proporcionado pela Eletrobrás no ano de 2009, que significou um custo evitado de R\$ 3,3 bilhões em gastos com energia elétrica. No Brasil, o maior símbolo dessa categoria de projeto é Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), desenvolvido por todas as empresas dessa estatal [3].

Esse programa, gerenciado pelo Governo Federal e coordenado pelo Ministério de Minas e Energia, tem seu objetivo voltado a promover o uso eficiente da energia elétrica no país e, assim combater o desperdício [3].

³ Referências do ano de 2015, último anuário ABAL publicado (2016).

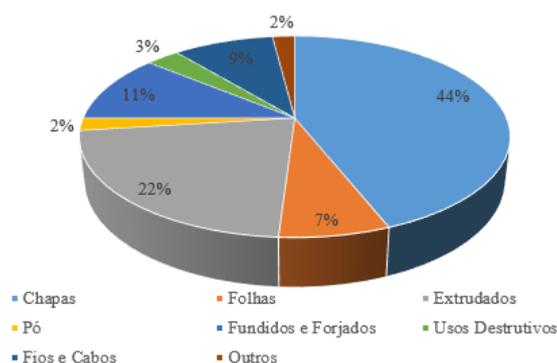
2.2 INDÚSTRIA DE ALUMÍNIO

A indústria de alumínio possui uma grande representatividade no cenário nacional, com relação à balança comercial, o setor destaca-se com 2,1% nas exportações. Na geração de empregos, a indústria está na ordem de 500 mil empregos diretos e 120 mil indiretos. Um ambiente favorável de competitividade para a indústria brasileira, desde que haja infraestrutura adequada e desoneração de investimentos [2].

O setor possui ampla projeção para o futuro, visto que o Brasil, por se tratar de uma país em desenvolvimento tem um consumo por habitante muito inferior aos países desenvolvidos. Por exemplo, a Alemanha, 35,9 kg *per capita* e o Brasil 7 kg *per capita* [2].

Para que o Brasil caminhe rumo à patamares dos países desenvolvidos, no setor do alumínio, faz-se necessárias políticas governamentais que possam auxiliar esse crescimento, com investimentos em: infraestrutura, energia e tecnologias, por exemplo [2]. A Fig. 1 representa o consumo por produto no Brasil:

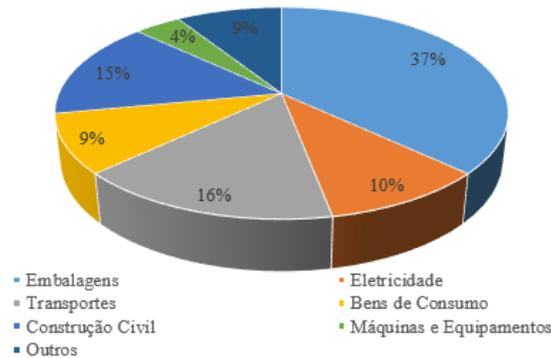
Fig. 1: Consumo por produto no Brasil.



Fonte: Adaptado [2]

Diante da Fig. 1, pode-se destacar que a indústria de extrudados possui uma participação de 22% no total de consumo por produto no Brasil, valor esse significativo neste cenário industrial. Fig. 2 apresenta o consumo por segmento no Brasil.

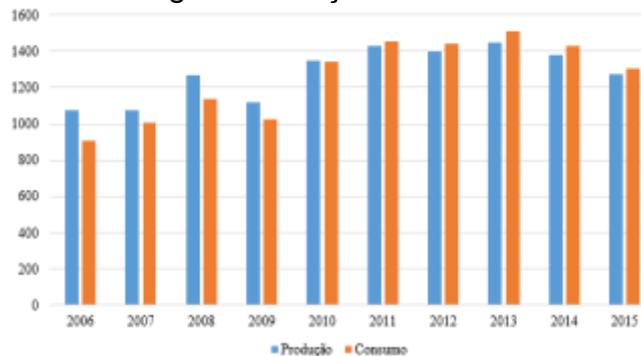
Fig. 2: Consumo por segmento no Brasil.



Fonte: Adaptado [2]

A Fig. 3 representa a produção e o consumo de alumínio (mil toneladas) no Brasil:

Fig. 3: Produção e Consumo.



Fonte: Adaptado [2]

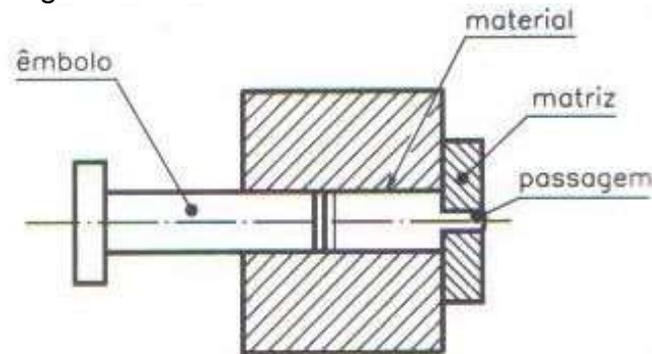
Diante dos gráficos Fig. 3, pode-se observar que a indústria de alumínio possui a característica de produção conforme demanda. Isso significa que as indústrias fabricam pontualmente seus pedidos, então não possui grandes excedentes.

Esse Mercado, tem essa característica, pois o preço do metal é cotado na bolsa internacional, *London Metal Exchang* (LME). Então, todo investimento em estoque é considerado de risco, devido a sua constante variação de preços [2].

2.2.1 Extrusão de alumínio

O processo de extrusão de alumínio consiste em forçar a passagem de um bloco de liga de alumínio através do orifício de uma matriz. A Fig. 4 ilustra sucintamente como se dá o processo:

Fig. 4: Processo de Extrusão de alumínio.



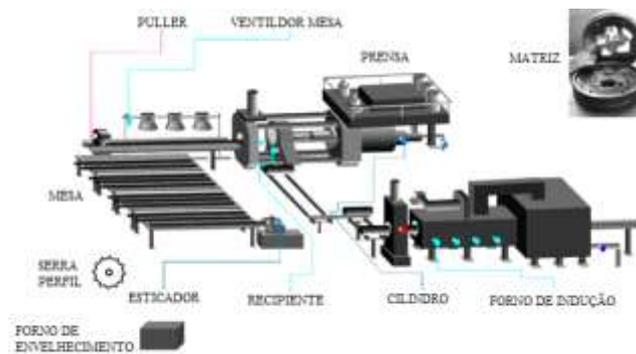
Fonte: [15]

O equipamento principal no processo de extrusão de alumínio é a prensa hidráulica. Essas prensas podem variar de mil à oito mil toneladas e, operam com outros equipamentos periféricos como [15]:

- Serra de tarugo: ou guilhotina, possui a finalidade de cortar o tarugo de alumínio (matéria-prima) no comprimento onde possa otimizar ao máximo a produção. O comprimento do tarugo é calculado para relacionar o peso linear do perfil a ser extrudado e o comprimento da mesa de transferência. Por exemplo, se a mesa possui o comprimento de 60 m, o corte do tarugo será feito, de modo que o volume do material “tarugo” possa ser compatível com o volume necessário para produzir o perfil até o final de mesa.
- Forno de aquecimento de tarugo: pode ser tanto de indução como a gás natural. Possui a finalidade de elevar a temperatura do material entre 450°C a 530°C. A temperatura a ser ajustada depende do tipo de matriz. Perfis sólidos têm uma temperatura de tarugo diferente de perfis tubulares. Esse processo é de essencial importância para diminuir o esforço do conjunto durante a operação.
- Carregador de tarugo: equipamento que transfere o tarugo aquecido do forno até a prensa.
- Ferramenta (matriz): feitas de aço especial, onde o formato do perfil desejado é vazado.
- *Puller*: elemento robótico que conduz o perfil da saída de prensa e o leva até o final da mesa de transferência.

- Mesa de transferência: espécie de plataforma formada por esteiras, onde são colocados os perfis para resfriar e transferir para as etapas posteriores, esticagem e corte.
- Esticador: equipamento hidráulico que estica toda a barra produzida, de modo que fique mais retilínea possível. Pode-se esticar 1% do comprimento total da barra produzida.
- Serra de perfil: após o processo de esticagem, as barras são cortadas no tamanho final, conforme ordem de serviço.
- Forno de envelhecimento: depois de passar pelo processo de extrusão, o alumínio, torna-se um material maleável e com baixa dureza, impróprio para utilização final. Por isso, toda a planta de extrusão necessita de um forno de envelhecimento (têmpera), onde o material fica de 4 a 5 horas em uma dada temperatura, a fim de alcançar dureza.

Fig. 5: Elementos do Processo de Extrusão.



Fonte: Adaptado de [15]

O processo de extrusão de alumínio é composto das seguintes etapas:

- Corte e aquecimento do tarugo;
- Transporte do tarugo até prensa e extrusão do mesmo;
- Resfriamento e esticamento das barras extrudadas;
- Corte na medida desejada e carregamento do forno de envelhecimento;
- Classificação, embalagem, e;
- Estocagem e Expedição.



2.3 INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Na sessão será comentado os principais indicadores de eficiência energética que compõem uma indústria de extrusão de alumínio.

2.3.1 Força motriz

Na eletricidade, as cargas motrizes são consideradas um dos fatores mais importantes no uso final. Sua aplicação vai desde os simples equipamentos de uso doméstico até os grandes complexos industriais, no acionamento de máquinas. Neste último, possui grande participação no consumo de eletricidade e é muito comum encontrar motores superdimensionados que causam consideráveis desperdícios de energia [4].

O superdimensionamento é uma das principais causas, seguido por uso inadequado de motores que operam em vazio, ou usados para acionamento de ar comprimido, sistemas que podem apresentar problemas como vazamento.

Na indústria, os motores (usados na movimentação de bombas, compressores, ventiladores, esteiras transportadoras) são os equipamentos de grande impacto no consumo de energia elétrica no Brasil, consomem em torno de 30% de toda energia nacional gerada. Como também, responde por 90% de toda energia elétrica transformada em mecânica [5; 8].

Os motores têm perdas fixas e variáveis, e quando usados sobredimensionados as perdas são mais acentuadas. Na indústria brasileira, a questão do sobredimensionamento, é uma das causas mais comuns que acarreta a diminuição da eficiência [7].

A relação entre a potência fornecida pela ponta do eixo e a energia elétrica utilizada resulta no cálculo do rendimento do motor. No caso de uma rebobinagem para recondicionar o motor, o procedimento pode descaracterizar a configuração original e fazer com que ele se torne menos eficiente [5; 6].

O uso de motores de alto rendimento, acionadores por inversores, adequação da potência, são fatores que contribuem no processo de aumento de eficiência dos motores elétricos. Na década de 1990, foram desenvolvidos motores de alto rendimento, os quais são projetados com um entreferro menor para reduzir as perdas suplementares. Mais cobre nos enrolamentos para otimizar e diminuir

perdas por efeitos Joule, o que resultou em 3 a 10% de rendimento superior em relação aos modelos *standard* de uso geral [5; 6].

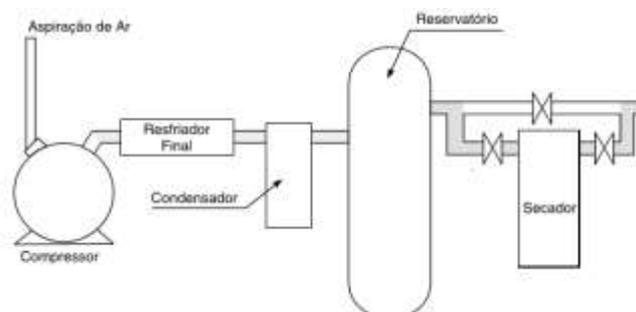
Como os motores são fabricados com potências pré-estabelecidas e seus regimes de carregamento não são constantes, não se pode dimensionar (exatamente) a potência necessária. É indicado substituir motores onde sua carga for inferior a 60% da potência nominal.

Para isso, faz-se necessário, inicialmente, listar os motores que possuem maior potência nominal, depois, medir as correntes (na situação normal de trabalho) e, por fim, analisar a curva de desempenho desses motores [9].

2.3.2 Ar comprimido

Ao lado de fluídos em sistemas hidráulicos e energia elétrica em sistemas elétricos, o ar comprimido, chamado também de pneumático, é utilizado como uma forma de energia em área de aplicação industrial. Pode ser transportado em tubulações por longas distâncias, favorecendo assim, a instalação de uma central geração de ar comprimido, a qual fornece o ar necessário para os pontos de consumo, com pressão de trabalho constante. Pode, também, ser armazenado em reservatórios e executam trabalhos através da conversão de energia em motores e cilindros [10]. A Fig. 6 representa o processo de uma instalação pneumática:

Fig. 6: Esquemática de uma instalação de ar comprimido.



Fonte: Adaptado de [11]

Os elementos que compõem o sistema de ar comprimido são: compressor, resfriador, condensador, reservatório, secador e, subsequente, o ramal de distribuição. O cérebro de todo esse sistema é o compressor, é o que faz a captura do ar e a pressurização. Na atualidade os tipos de compressor mais utilizados são de: pistões, parafuso e centrífugo. Sendo indicado do tipo a pistão

para vazões abaixo de 100 m³/h, parafuso de 50 a 2000 m³/h e centrífugo acima de 1500 m³/h [10].

Os compressores do tipo parafuso são os mais difundidos em indústrias de média e grande porte, devido ao alto rendimento e baixa manutenção. Estes compressores são constituídos da junção de dois rotores acoplados em mancais dentro de uma câmara e conectados ao motor, a fim de trabalhar de forma linear, movimentando um fluxo contínuo de ar entre as roscas. A Fig. 7, a seguir, representa um modelo de compressor do tipo Parafuso:

Fig. 7: Compressor Parafuso.

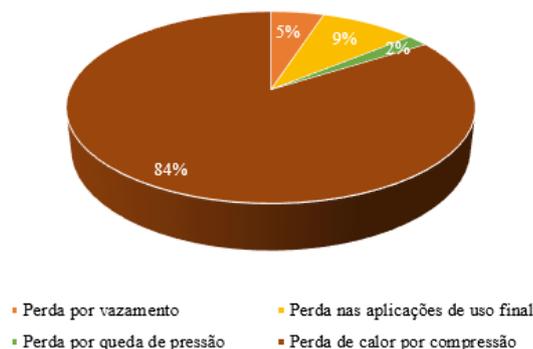


Fonte: [17]

As perdas de ar comprimido são entendidas pela fuga por vazamento ou atritos que ocorrem no sistema. Em situações onde o sistema de ar comprimido é novo, pode-se estimar que as perdas se aproximam a 5% do volume total e, com o passar do tempo, em caso de instalações mais antigas, podem chegar até a 25% [12].

A Fig. 8 apresenta um estudo da Eletrobrás referente ao percentual de cada tipo de perda no sistema de ar comprimido:

Fig. 8: Perdas no Sistema de Ar Comprimido.



Fonte: Adaptado de [12]



As perdas por calor e queda de pressão são inevitáveis no processo operacional, já as demais (por vazamento e uso final) podem ser minimizadas, através da análise e levantamento de dados [12].

O estudo das perdas evitáveis é de suma importância, pois podem reduzir o custo desse tipo de operação. No caso de vazamentos, por exemplo, o compressor trabalhará de forma excessiva, aumentando assim o consumo de energia e diminuindo sua vida útil.

2.3.3 Aquecimento por indução

Equipamentos de aquecimento por indução requerem uma compreensão de física, eletromagnetismo, eletrônica de potência e controle de processos, mas os conceitos básicos por trás de aquecimento por indução são simples.

O conceito básico de indução é dado por Michael Faraday, onde a indução começa com uma bobina de material condutor, a corrente flui através da bobina e é produzido um campo magnético em torno da bobina [19].

A equação matemática que representa a lei de Faraday, como é utilizada atualmente, foi concebida pelo físico Alemão Franz Ernst Neumann, é indicada como [20]:

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (1)$$

Sendo:

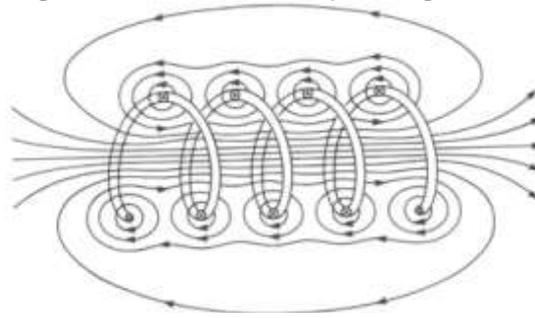
ε : força eletromotriz induzida (V);
 $\Delta\Phi$: variação do fluxo magnético (Wb) e,
 Δt : intervalo de tempo (s).

O sinal negativo em (1) indica que o sentido da “FEM⁴” induzida é em oposição a variação do fluxo magnético. A intensidade desse campo depende do desenho da bobina e da quantidade de corrente que flui através dela [19].

Fig. 9 apresenta o campo magnético (linhas) em uma bobina:

⁴ FEM – Força Eletro Motriz.

Fig. 9: Bobina e o campo magnético.



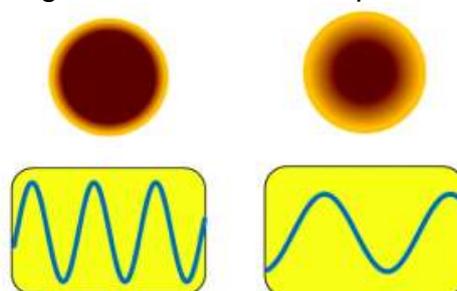
Fonte: [19]

Como a direção do campo magnético depende da direção do fluxo da corrente, então se uma corrente for alternada o campo magnético será variável de direção à mesma taxa de frequência da corrente alternada. Nesse sentido, a corrente alternada de 60 Hz fará que o campo mudo 60 vezes por segundo de direção. Quando um material condutivo é colocado no campo magnético, a tensão induzida sobre a peça resultará num fluxo de elétrons, ou seja, corrente. Essa corrente que flui através da peça irá em direção contrária à corrente da bobina [19].

A corrente que flui através de um meio possui uma resistência ao movimento dos elétrons, que aparece na forma de calor (efeito de aquecimento Joule). Os materiais que são mais resistentes ao fluxo de elétrons, liberam mais calor por quantidade de corrente que flui através dele. É possível, também, aquecer os materiais altamente condutores (cobre), utilizando uma corrente induzida, fenômeno é crítico para o aquecimento indutivo. Para um aquecimento por indução é necessário: mudança no campo magnético e um material eletricamente condutível colocado num campo magnético [19].

A profundidade do aquecimento depende muito da frequência da corrente alternada que flui através da peça e das propriedades elétricas e magnéticas da peça. A Fig. 10 apresenta a referência elétrica de profundidade: alta e baixa frequência.

Fig. 10: Alta e baixa frequência.



Fonte: [19]

Os materiais aquecidos por indução não dependem de convecção, radiação para aquecer uma peça, o aquecimento se dá pelo fluxo da corrente. Nesse processo, o aquecimento da superfície é transferido para o núcleo através da condução térmica [19].

Fornos de tarugos para extrusão alumínio operam em baixa frequência, muitas vezes utilizam a própria frequência da rede. Para controle de potência, são utilizados tiristores de alta potência, do tipo disco, onde cada fase elétrica recebe um par desse elemento ligados em antiparalelo. Deste modo, controla o fluxo de potência tanto no semi-ciclo positivo quando no semi-ciclo negativo da senoide [22]. Segue modelo de tiristor utilizado em fornos de indução.

Fig. 11: Tiristor SKT 1003/18E.

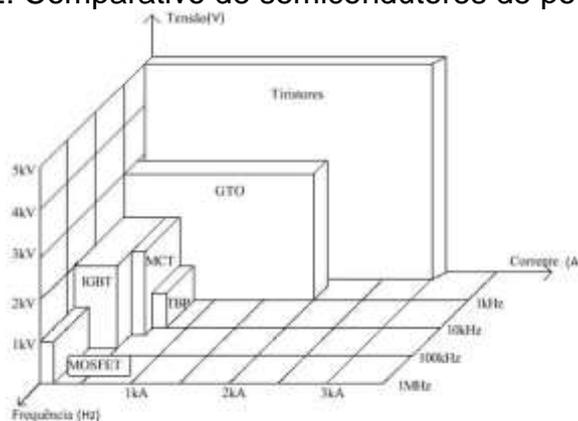


Fonte: [22]

Os tiristores são dispositivos com maior capacidade de corrente e de tensão, entre os dispositivos de estado sólido, contudo, eles não podem operar em frequências muito acima da rede elétrica, com isso, outros dispositivos são desenvolvidos para tal fim. [18]

A Fig. 12 apresenta uma comparação entre os principais dispositivos semicondutores de potência e suas características como tensão, corrente e frequência de operação.

Fig. 12: Comparativo de semicondutores de potência.



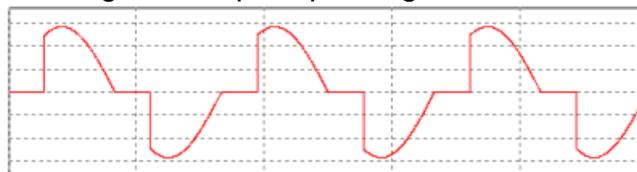
Fonte: [18]

O controle de potência dos fornos de indução para tarugo de alumínio que operam com a própria frequência da rede, utilizam os seguintes sistemas de controle para disparo de tiristores: disparo chamado ângulo de fase e trem de pulso.

2.3.4 Modulação por ângulo de fase

Na modulação por ângulo de fase, os ciclos da rede elétrica são divididos em dois semi-ciclos e, esses, por sua vez, são sub-divididos em 180° para cada semi-ciclo. O acionamento dos tiristores se dá a cada semi-ciclo da rede. A modulação acontece ligando o tiristor no ângulo que corresponde ao percentual de potência elétrica definido pelo sinal de entrada do controlador de potência. O desligamento acontece no próximo cruzamento por zero da corrente. É repassada para a carga apenas parte de cada semi-ciclo. [21]

Fig. 13: Disparo por ângulo de fase.



Fonte: Adaptado de [21]

O valor eficaz da tensão na carga pode ser calculado através da equação (2):

$$V_{carga} = \left(\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (\sqrt{2} V_{rede-eficaz})^2 \sin^2 \theta d\theta \right)^{1/2}$$
$$= V_{rede-eficaz} \left(\frac{2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha}{2\pi} \right)^{1/2} \quad (2)$$

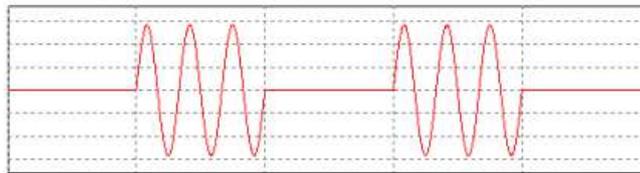
Onde, α representa o ângulo de disparo dos tiristores para cada semiciclo.

Essa modulação possui um controle mais refinado do processo. Valores baixos de sinal de entrada promovem baixos valores de tensão sobre a carga, isso é importante em processo onde há necessidade de limitar a corrente elétrica nos primeiros momentos do processo ligado. Esse tipo de acionamento é indicado para ser instalado no lado primário de transformadores. [21]

2.3.5 Modulação por ciclo integral (equivalente ao trem de pulso)

Neste tipo de modulação o controle da potência elétrica acontece pela limitação do número de ciclos da rede aplicados a carga, onde o controlador de potência determina qual o número de ciclos de rede serão repassados à carga.

Fig. 14: Modulação por ciclo integral.



Fonte: Adaptado de [21]

O valor eficaz da tensão na carga pode ser calculado como:

$$V_{carga} = V_{rede-eficaz} \sqrt{\frac{K}{N}} \quad (3)$$

Onde cada N ciclos inteiros da rede, K ciclos são aplicados a carga.

Neste modo a carga é sempre acionada nos cruzamentos de zero da tensão da rede elétrica e seu desligamento acontece no cruzamento por zero da corrente elétrica da carga. Esta característica traz vantagens importantes à instalação pois não são gerados ruídos, nem harmônicos. [21]

2.4 PERDAS ELÉTRICAS

2.4.1 Transformadores

Um transformador é um componente constituído de no mínimo dois enrolamentos, para o mesmo funcionar, um sinal elétrico CA com um nível de tensão e uma dada frequência passa pelo primeiro enrolamento e são convertidos em campo magnético, e em seguida serão convertidos pelo segundo enrolamento em sinal CA com mesma frequência, mas com nível de tensão diferente [11].

De modo geral, os transformadores são máquinas eficientes, com seus rendimentos entre 96% a 99%, com perdas muito baixas. Desta maneira, torna-se comum considerar perdas em transformadores como desprezíveis [11].



2.4.2 Fator de Potência

Alguns equipamentos elétricos, como os motores, possuem cargas indutivas. Um tipo de carga que necessita além de potência ativa (que realiza trabalho) e uma parcela de carga reativa, que serve para manter um campo eletromagnético [13].

A parcela reativa não realiza trabalho, mas aumenta a quantidade de corrente circulando nos circuitos. Por sua vez o aumento de corrente ocasiona acréscimo de perdas, tais perdas são correlacionadas pelo quadrado da corrente. Esses efeitos influenciam em aquecimento, aumento do diâmetro dos condutores, sistemas de proteção e sobrecarga em equipamentos [13]. Segue equação que representa este fenômeno quando existem a presença de harmônicos:

$$FP = \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 + TDH^2}} \quad (4)$$

Onde:

FP: Fator de potência;

THD: *Total harmonic distortion* (distorção harmônica total), e;

Cos φ : defasagem entre a primeira harmônica da corrente e a tensão.

E o THD é calculado da seguinte forma:

$$THD = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 \dots}}{V_1} \quad (5)$$

Onde:

V1: é a frequência fundamental e;

V2, V3 e V4: são os demais harmônicos.

Alguns dos principais fatores que causam baixo fator de potência na indústria:

- Motores trabalhando a vazio;
- Superdimensionamentos de motores;
- Transformadores operando com pouca carga ou a vazio;
- Fornos a arco ou de indução e;
- Sobretensão.



O Manual de Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), no módulo 8, referente à qualidade de energia, estabelece que o fator de potência no ponto de conexão deve estar compreendido entre 0,92 (noventa e dois centésimos) e 1,00 (um) indutivo ou 1,00 (um) e 0,92 (noventa e dois centésimos) capacitivo. O valor excedente aos estipulados pelo PRODIST é passível de multa por parte das concessionárias de energia, caso o fator de potência não seja corrigido [14].

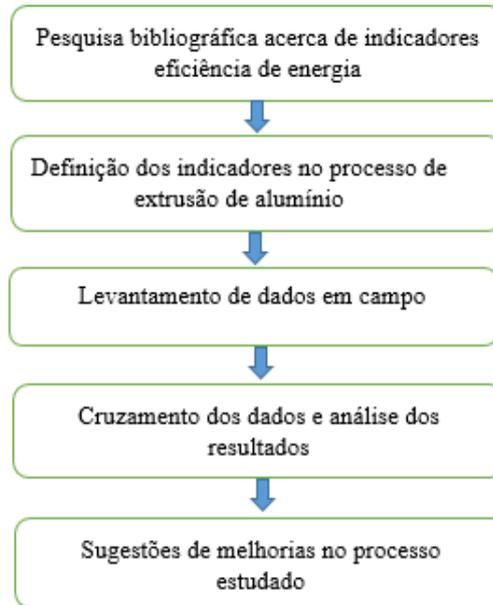
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para satisfazer o objetivo geral do estudo e a proposta adotada, conforme exposto na fundamentação, faz-se necessário o levantamento de dados para os seguintes questionamentos: quanta energia está sendo gasta no setor de extrusão; quais as maiores cargas; como se está consumindo essa energia; e, com qual eficiência.

Para responder as questões pertinentes, as abordagens: qualitativa e quantitativa se encaixam no estudo. Estas definem-se pelo fato de que a pesquisa está desenvolvida para mostrar a existência das relações particulares entre variáveis e a busca da descrição do fenômeno estudado, onde encontra nas histórias dos eventos suas interdependências, além de tentar descobrir e mostrar suposições que estão por trás dos eventos e, por fim, busca relatar, informar para mostrar sua significância [16].

Diante da exposição acima, segue Fig. 15 que corresponde aos procedimentos metodológicos:

Fig. 15: Procedimentos Metodológicos.



Fonte: Do autor (2018)

A elaboração da fundamentação teórica, iniciou-se com os principais conceitos relacionados aos indicadores de eficiência energética, buscando dados reais, através do estudo de caso no setor de extrusão de uma empresa de transformação de alumínio.

Para tanto, é necessária análise dos dados de consumo dispostos, verificando os indicadores explanados e as publicações dos órgãos gestores de energia, e assim propor possíveis melhorias.

Para levantamento de dados foi utilizado um analisador de energia modelo MARH-21 993PT com finalidade de mensurar grandezas como corrente e tensão, conforme a Fig. 16:

Fig. 16: Elementos de Medição.



Fonte: Do autor (2018)

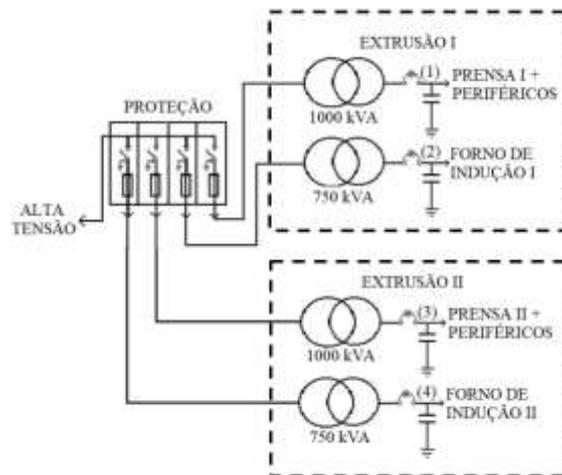
As medições realizadas foram efetuadas nos pontos 1, 2, 3 e 4 representado no diagram unifilar da subestação, Fig. 17.

Na sequência, extraído relatório de texto apartir das informações do analisador, para assim, serem feitas análises e amostragens.

3.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E MEDIÇÕES DO ESTUDO DE CASO

A unidade de extrusão de alumínio é composta por duas plantas que operam com diâmetro de tarugo de alumínio 6” (Extrusão I), e diâmetro de 7” (Extrusão II). Sendo alimentada por quatro transformadores 13,8 kV/380 V, dois com potência de 1000 kVA para alimentar de maneira individual Prensa I (extrusora I) e Prensa II (extrusora II) com seus periféricos, e dois com potência de 750 kVA para alimentar o Forno de Indução I e Forno de Indução II. Constituindo assim: a Extrusão I e Extrusão II. Segue Fig.17 com o diagrama unifilar:

Fig. 17: Diagrama Unifilar.



Fonte: Do autor (2018)

As plantas possuem quatro bancos de capacitores, dois bancos fixos para os fornos, e dois bancos automatizados para prensa e os equipamentos periféricos. Na Tab.1 indica a potência dos bancos.



Tab.1: Potência dos bancos de capacitores.

Banco	Capacitores	Potência
Forno I	96x5kVAr	480k VAr
Forno II	76x10kVAr	760k VAr
Extrusão I	1x5kVAr, 1x10kVAr, 15kVAr, 8x25kVAr	230k VAr
Extrusão II	3x10kVAr, 2x15kVAr, 4x20kVAr, 6x25kAr	290k VAr

Fonte: Do altor (2018)

Na Tab. 2 e Tab. 3, estão mostrando o conjunto de carga de cada planta de extrusão que são constituídos pela prensa, equipamentos periféricos e forno de indução.

Tab.2: Extrusão I.

Máquinas	Potência (kW)
Extrusora de alumínio	349,42
Mesa	23,47
<i>Puller</i>	11,96
Serra quente	4,07
Serra de acabamento	8,872
Esticador	18,95
Serra automática de tarugo	18,99
Forno de ferramentas	30,37
Forno de envelhecimento	23,54
Carregador de tarugo	1,854
Ventilador móvel de resfriamento	5,908
Forno de indução	500,37
TOTAL	997,77

Fonte: Do altor (2018)

Tab. 3: Extrusão II.

Máquinas	Potência kW
Extrusora de alumínio	658,1
Mesa	18,46
<i>Puller</i>	39,99
Serra de acabamento	11,47
Esticador	26,4
Serra automática de tarugo	23,32
Forno de ferramentas	62,94
Forno de envelhecimento	31,62
Carregador de tarugo	5,684
Ventilador móvel de resfriamento	17,704
Forno de indução	750
TOTAL	1645,688

Fonte: Do altor (2018)

Baseado no histórico dos levantamentos de dados, as as unidades de extrusão possuem um valor médio de demanda elétrica diária constituída de 47% de força motriz, 49% forno indução e 4% de outros. Na Fig. 18 apresenta as plantas de extrusão e os tarugos empilhados (matéria prima).

Fig. 18: Setor de Extrusão.



Fonte: Do altor (2018)

Neste trabalho, a análise de dados se deu na observação de um período de uma hora com a medição feita em minutos, por meio de relatório de texto do analisador. A seguir, serão abordadas características elétricas do setor extrusão.

3.2 FORÇA MOTRIZ

As plantas de extrusão da fábrica estão compostas por inúmeros motores de indução, correspondendo próximo da metade de todo o consumo de potência do setor, sendo utilizados em bombas, ventiladores, redutores e compressores.

A grande parte desses motores são empregados na movimentação de material, acoplado em redutores e têm uma grande sazonalidade na sua operação durante o dia. Dessa forma, não tem grande representatividade no fluxo elétrico da unidade. Ventiladores também se encaixam nessa situação, ligar ou não ligar está diretamente relacionado ao tipo de material a ser fabricado.

Já as bombas e os compressores ficam ligados a maior parte do tempo, tendo como as bombas principais de cada Prensa de alumínio como o elemento com maior consumo. Na Fig. 19 apresneta medição feita na Prensa I com seus periféricos em um dia comum de trabalho. A medição foi realizada no ponto (1) da Fig. 17. A partir dos dados coletados serão analisados a potência ativa consumida e o fator de potência.



Fonte: Do altor (2018)

Pode-se observar a grande variação de potência durante a operação, uma característica comum neste tipo de processo. Isso acontece devido aos momentos de carga da prensa e aos momentos de alívio “tempo morto” em que o ciclo de operação é composto pela espera para carregamento do tarugo na prensa e o momento de maior esforço que é a extrusão.

A medição feita na Prensa II com seus periféricos em um dia comum de trabalho, está representada pela Fig. 20. A medição foi realizada no ponto (3) da Fig. 17.

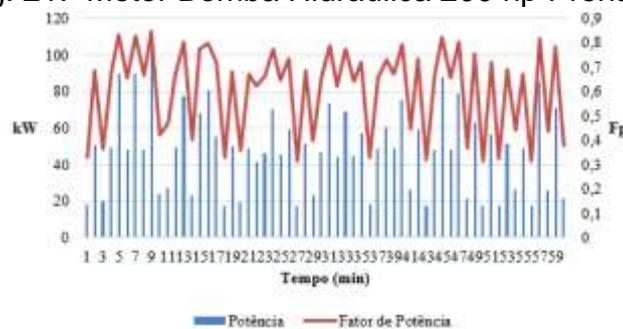


Fonte: Do altor (2018)

A análise referente as Fig. 19 e Fig. 20 representa, quase em sua totalidade, por cargas motrizes, onde o responsável por maior consumo são os motores das bombas principais de cada prensa, esse fato será analisado a seguir.

A Prensa I possui duas bombas principais de 200 hp, já a Prensa II possui três bombas sendo duas bombas de 200 hp e uma de 300 hp. As bombas principais correspondem próximo de 60% da demanda motriz durante operação diária, dado este, obtido através de análise de medições das plantas. Essas bombas trabalham em conjunto e são as responsáveis por realizar a extrusão do alumínio de maneira hidráulica. Na Fig. 21 está a medição sobre o motor de 200 hp da Prensa II, demonstrando o comportamento das maiores cargas motriz das plantas de extrusão de alumínio. Esta medição, por sua vez, foi realizada sobre terminais da *Soft Starter* de partida deste motor.

Fig. 21: Motor Bomba Hidráulica 200 hp Prensa II.



Fonte: Do altor (2018)

Como pode ser visualizado, a carga sobre esse motor varia em todo período da amostragem, o que caracteriza grande perda de rendimento, já que não possui nenhum controle de potência.



3.3 AQUECIMENTO

No setor de extrusão da empresa estudada, o processo de aquecimento de tarugo de alumínio é composto por dois fornos de indução horizontais da marca GRION, Forno I (500 kW) e Forno II (750 kW). O Forno I aquece os tarugos com diâmetro de 6” para Extrusão I e o Forno II aquece tarugos com diâmetro 7” para Extrusão II. A potência consumida pelos fornos corresponde a um valor médio de 49% do total consumido pelo processo de extrusão.

Estes fornos são compostos por transformadores abaixadores, sistemas de controle de potência e bancos de capacitores. A frequência de trabalho da bobina de aquecimento destes fornos é de 60 Hz, como visto na fundamentação, frequências baixas fazem com que haja uma maior profundidade de aquecimento na peça (tarugo), este fato é de extrema importância em processos de extrusão de alumínio. Esse tipo de aquecimento garante a uniformidade de temperatura do tarugo a ser extrudado, visto que este processo leva apenas alguns segundos.

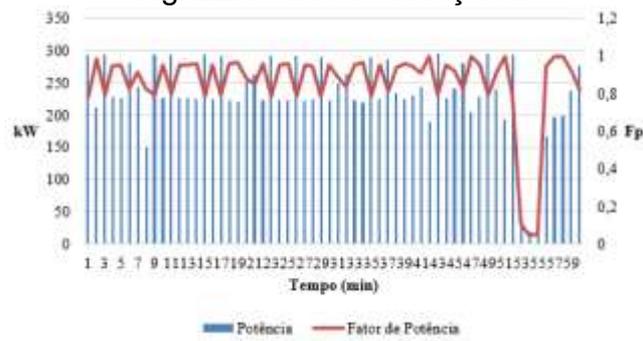
Todos os dois fornos são divididos em três zonas de aquecimento, onde o tarugo entra em uma extremidade do forno e vai se deslocando até chegar a saída do mesmo. Sua ligação é feita de forma a utilizar uma fase da rede para cada zona de aquecimento.

Seu controle de potência tem como referência o *set point* de temperatura definido pelo operador do conjunto, e a temperatura na saída do forno, medida por um termopar. Com essas duas informações o CLP (Controlador Lógico Programável) faz o controle *On- Off* do forno.

O controle de potência das zonas de aquecimento do Forno I é feito de forma manual através de seu próprio painel de controle. No caso do Forno II, o controle é feito de forma automatizada.

Na Fig. 22 está a medição feita no Forno I em um dia comum de trabalho. A medição foi realizada no ponto (2) da Fig.17.

Fig. 22: Forno de Indução I.

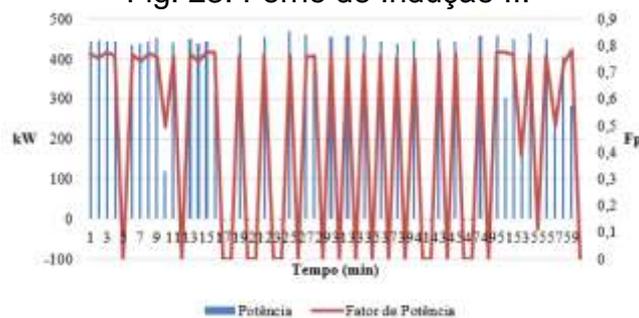


Fonte: Do altor (2018)

Pode-se observar uma uniformidade na potência consumida devido aos disparos por ciclo integral, característica que difere do sistema de disparo por ângulo de fase.

O controle de disparo por ciclo integral muitas vezes geram flutuação de tensão na rede, por liberarem grandes potências de partida, caso que não ocorre no controle por ângulo de fase, onde as partidas são suaves. Na Fig. 23 está a medição feita no Forno II em um dia comum de trabalho. A medição foi realizada no ponto (4) da Fig. 17.

Fig. 23: Forno de Indução II.



Fonte: Do altor (2018)

Ao analisar a Fig 23, pode-se observar o controle por ângulo de fase atuando, onde a os momentos com maior fluxo de potência e os pontos com menor, ajustados pelo seu CLP conforme necessidade.

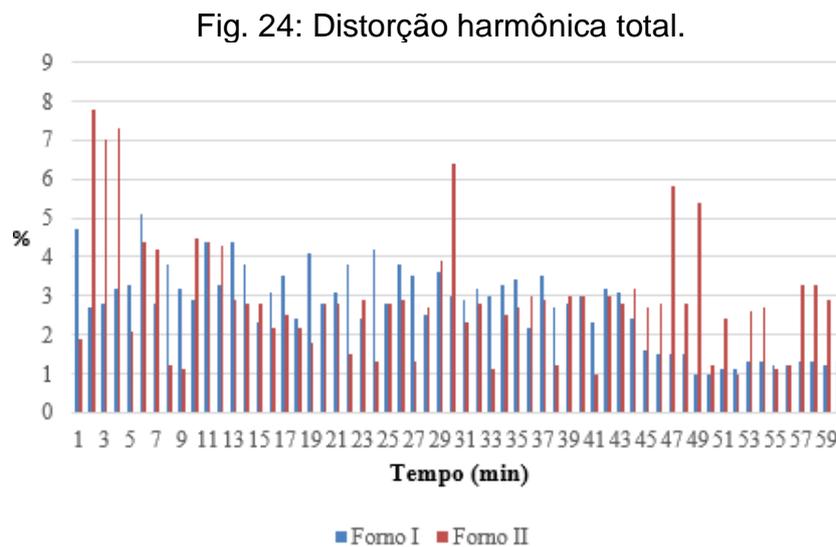
E, os momentos com baixa potência, que devido ao seu banco de capacitor fixo, fazem com que gere uma grande quantidade de carga reativa. Este efeito também ocorre sobre o Forno I, mas não foi possível visualizar por se tratar de um fluxo de potência pulsante, característico do seu sistema de disparo.

Os fornos que trabalham, normalmente, em frequência de rede (50 Hz ou 60 Hz), no aquecimento de ligas de ferro, ligas de alumínio, bronze, latão, zinco, etc,

possuem grandes vantagens, pois podem operar com fator de potência elevado, rendimento elétrico e térmico bom. Além do que não necessitam de conversores de frequência e, portanto, geram baixo conteúdo harmônico.

Segundo a PRODIST, o limite de distorção harmônica total são de 10% para tensões inferiores de 1,0kV.

Segue amostragem THD% extraído do relatório gerado pelo analisador sobre os Fornos I e II:



Fonte: Do altor (2018)

Conforme Fig. 24, observa-se que a distorção harmônica total de ambos os fornos estão dentro dos padrões aceitáveis, segundo PRODIST da ANEEL, abaixo dos 10% de limite.

3.4 AR COMPRIMIDO

Na empresa analisada, a demanda de ar comprimido, é suprida por uma central com três compressores (Atlas Copco) do tipo “parafuso”, com inversor de frequência, representados pela Tab. 4:

Tab. 4: Modelos dos compressores.

Compressor 1	
Modelo	ATLAS COPCO GAVSDFF175 380V/60Hz
Pressão final máxima	12,75 bar
Descarga livre efetiva	1051,56 m ³ /h
Potência do motor	125 cv
Rotação	3408 rpm
Ano de fabricação	2015
Compressor 2	
Modelo	ATLAS COPCO GA90VSD FF 380/220V
Pressão final máxima	12,75 bar
Descarga livre efetiva	717,5 m ³ /h
Potência do motor	125 cv
Rotação	2510 rpm
Ano de fabricação	2009
Compressor 3	
Modelo	ATLAS COPCO 18-100FF 380V/60Hz
Pressão final máxima	7,4 bar
Descarga livre efetiva	1930 m ³ /h
Potência do motor	25 cv
Rotação	3550 rpm
Ano de fabricação	2003

Fonte: Do altor (2018)

Segundo os dados do fabricante, a operação com inversor de frequência, faz com que equipamento possua uma eficiência energética 35% superior em relação aos modelos que trabalham com sistema de controle de carga e alívio [22].

Para os ensaios de vazamento, foram mensurados tanto as perdas no setor de extrusão (objeto do estudo) e na fábrica com um todo. Os compressores estão instalados em um ponto único e fazem a distribuição por todos o setores, mas com suas inúmeras válvulas no seu ramal, pode-se isolar os setores a serem

estudados. Desse modo, foi possível mensurar os vazamentos totais da fábrica e o setor de extrusão. Então, o procedimento se deu da seguinte forma:

- A fábrica não estava em funcionamento;
- Foi selecionado um dos três compressores e;
- equipamento foi acionado até estabilizar sua pressão.

Na análise com a fábrica em repouso, foi escolhido o compressor com descarga livre efetiva 1.050 m³/h. Nesse procedimento, todos os registros que conectam o ramal de ar comprimido às máquinas, foram abertos. Iniciou-se ativando o equipamento e aguardando o mesmo chegar à sua pressão de operação (7,2 bar). Durante o período de 1h, foram feitas doze medições. Após o compressor se estabilizar, observou-se que ele manteve sua operação em 22% da sua capacidade. Isso representa a capacidade necessária para suprir os vazamentos em toda a fábrica, conforme a Fig. 25:

Fig.25: Estabilização do Compressor.



Fonte: Do altor (2018)

Logo após, isolou-se o ramal de ar comprimido dos demais setores, afim de medir os vazamentos do setor de extrusão. Observou-se que o compressor trabalhou a 8% de sua capacidade para suprir os vazamentos do setor de extrusão. Com a fábrica em operação, também, foram feitas doze medições que apresentaram os seguintes dados, Tab. 5:

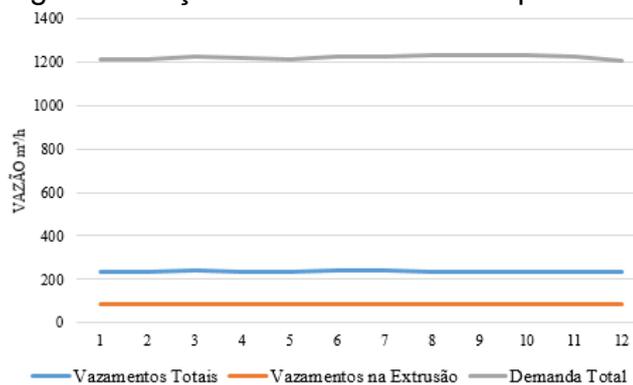
Tab. 5: Medições Compressor.

Saída do compressor (bar)	Vazão do setor de extrusão em repouso (%)	Vazão total da fábrica em repouso (%)	Vazão da fábrica funcionando (%)	
			COMP (1)	COMP (2)
7,2	8	22	72	64
7,2	8	22	72	64
7,2	8	23	73	64
7,2	8	22	73	63
7,2	8	22	72	64
7,2	8	23	73	64
7,2	8	23	72	65
7,2	8	22	72	66
7,2	8	22	72	66
7,2	8	22	73	65
7,2	8	22	72	65
7,2	8	22	72	63

Fonte: Do altor (2018)

Com a fábrica em operação, é necessário operar com dois compressores, para suprir a demanda, representados na Tab. 5, como COMP(1) e COMP(2).

Fig.26: Relação Fábrica Parada e Operando.



Fonte: Do altor (2018)

A Fig. 26, mostra o consumo de ar comprimido com a fábrica operando e os vazamentos. Esses vazamentos representam próximo de 20% do total da demanda de ar comprimido, admitindo uma pressão de saída de 7,2 bar, um valor considerável. Ao converter os respectivos dados, pode-se chegar ao volume dos vazamentos totais da fábrica são de 233,84 m³/h e do setor de extrusão de 84,08 m³/h. E este número pode subir, visto que, quando as máquinas estão operando a tendência dos vazamentos, é aumentar, por exemplo: vazamentos internos de



cilindros. Pode-se concluir, então, que se todos vazamentos forem sanados, apenas o Compressor 1 gerando uma vazão de 990 m³/h seria o suficiente para atender a demanda da empresa.

Diante dos dados obtidos, foi realizado uma pesquisa para obter os cálculos energéticos:

- Vazão do COMP(1) a 100% (1050m³/h), e;
- Potência do compressor COMP(1) 90kW.

Com a potência que o compressor consome a 100%, pode-se encontrar as potências elétricas dissipadas pelos vazamentos, tanto na extrusão quanto na fábrica toda. Conforme abaixo:

P (Extrusão) = 7,2 kW

P (Total) = 20,02 kW

Ao comparar os vazamentos, observou-se que o objeto de estudo, ou seja, setor de extrusão, representa 35,9% dos vazamentos totais, e sua demanda média de ar comprimido fica próximo de 43% do consumo total da fábrica em dias normais de operação.

3.5 OPORTUNIDADE DE MELHORIAS NOS EQUIPAMENTOS NO SETOR DE EXTRUSÃO

Nesta sessão, serão apresentados os dados do estudo afim de propor eficiência e oportunidades de melhoria. Serão expostas as comparações entre prática e teoria.

Para melhor compreensão, é importante destacar, que no processo de extrusão do alumínio, as características da matéria prima e a matriz a serem utilizados, influenciam diretamente na parametrização da máquina.

Atualmente, a empresa opera com 10 ligas diferentes de alumínio e mais de 2300 matrizes. Em média, por dia, em cada extrusora, circulam 32 matrizes. Então, em cada produção de um dado material a máquina se comporta de maneira específica

3.6 FORÇA MOTRIZ

Com o objetivo de aumentar a eficiência das plantas do setor de extrusão de alumínio, foi selecionado um motor com a potência “200 hp 130 kW”, pertencente as bombas principais da Extrusão II. Foi executado testes com um inversor de frequência, afim de controlar a potência consumida.

Foi utilizado um inversor com controle vetorial, o recomendado quando se há necessidade de ter performance dinâmica, com respostas rápidas. Com o controle vetorial, consegue-se trabalhar com torque preciso em uma extensa faixa de operação, onde se necessita manter o torque [23].

Neste tipo de inversor, o controle da velocidade e do torque são feitos de maneira independente, através do valor eficaz da tensão e da frequência. A partir da correlação destes duas grandezas, pode-se operar com grande eficiência e manter o fator de potência em um valor ideal [23].

Uma empresa fornecedora de suprimentos elétricos cedeu um inversor para teste. Na Fig. 27, apresenta-se o inversor de frequência (MITSUBISHI A700 380/440 V 132 kW 260):

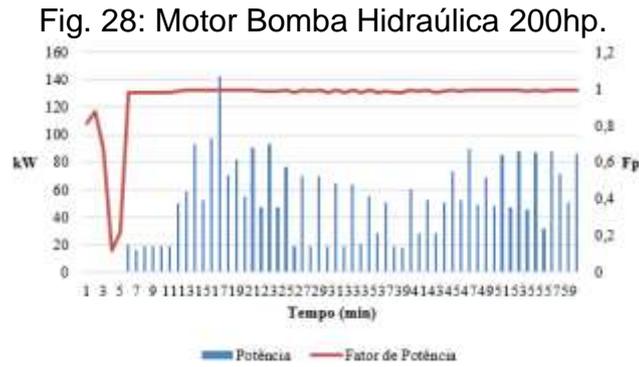
Fig. 27: Foto Inversor.



Fonte: Do altor (2018)

Esse modelo de inversor foi utilizado, pois no processo de medição sobre o motor de 200 hp, Fig .21, o equipamento mostrou-se suficiente para atender a demanda de potência em operação.

A medição ocorreu sobre os próprios terminais do inversor. Para isso, utilizou-se o analisador de energia. Na Fig. 28, está a medição realizada no motor de 200hp utilizando o inversor de frequência.



Fonte: Do alto (2018)

Cabe ressaltar, que nesta medição, foi realizada somente quando a Extrusora estava produzindo um material idêntico a medição sem inversor, representado pela Fig. 21. Comparando-se as Fig. 21 e Fig. 28, pode-se observar uma redução próximo de 20% na corrente consumida pelo motor. Além, de uma grande estabilidade no fator de potência. Desta forma, indica-se a instalação de cinco destes inversores nas bombas principais das prensas, onde se encontram as maiores cargas motriz.

3.7 AQUECIMENTO POR INDUÇÃO

Após analisar os dados coletados nos fornos de indução, sugere-se uma mudança no controle de disparo dos tiristores de potência. Este tipo de ajuste, seria a troca do sistema de disparo de ciclo integral do Forno I por um sistema idêntico ao do Forno II, ao qual é disparado por ângulo de fase, e automatizar este circuito afim de proporcionar rampas de aquecimentos com intuito de aumentar o rendimento da máquina.

Fig. 29: Sistema de disparo ângulo de fase TH 8930.



Fonte: Do alto (2018)



Diante do levantamento do histórico das plantas de produção, mais especificamente dos fornos, e com a análise de relação do consumo elétrico por kg processada, pode-se observar que forno com controle de potência por ângulo de fase consegue ser 12,2% mais eficiente em relação ao Forno I. Na Tab. 6 está um breve histórico de consumo dos fornos:

Tab 6: Histórico dos Fornos.

Período	kW/kg Forno I	kW/kg Forno II
jan/2017	Manutenção	0,2483
fev/2017	Manutenção	0,2460
mar/2017	0,2576	0,2518
abr/2017	0,2646	0,2491
mai/2017	0,2690	0,2499
jun/2017	0,2792	0,2464
jul/2017	0,2652	0,2448
ago/2017	0,2666	0,2462
set/2017	0,2643	0,2457
out/2017	0,2785	0,2367
nov/2017	0,3113	0,2428
dez/2017	0,2988	0,2344
jan/2018	0,3232	0,2515
Média	0,2798	0,2457

Fonte: Do autor (2018)

Uma observação, conforme a Tab. 6, durante os dois primeiros meses do ano de 2017 a Extrusão I estava em manutenção.

Grande parte desse resultado diz respeito ao controle preciso de potência no Forno II, conforme rampa de aquecimento programada. No caso do Forno I, existe interferência humana no controle de potência das diferentes zonas de aquecimento, caso este, que pode ocasionar menor rendimento da máquina.

Outra forma de melhorar os rendimentos desses fornos, seria acompanhar a evolução das novas tecnologias, como por exemplo, novos materiais, novos *designers* de bobinas, componentes etc.

3.8 AR COMPRIMIDO

Com relação ao ar comprimido, observou-se que o maior problema é o número de vazamentos, tanto em tubulações quanto máquinas.

Vazamentos foram facilmente encontrados em engates, conexões, filtros, lubrificadores, drenos e válvulas. Existem também vazamentos internos, como nos cilindros, que com os equipamentos adequados podem ser identificados.



A solução desse tipo de problema, baseia-se em práticas simples e eficazes de manutenção, com por exemplo, troca de componentes com problema e ajustes.

Na empresa em questão, observou-se que a maioria dos vazamentos eram em engates e conexões, componentes de baixo custo e de fácil substituição.

4 INDICADORES DO PROCESSO

A análise dos indicadores foram resumos direcionados a área de interesse específica, e são embasados nos dados de medição obtidos das máquinas, bem como, nas projeções de seu rendimento.

O estudo foi realizado, de forma quantitativa e qualitativa, através da observação na produção de um produto denominado “A” na planta de Extrusão I. Com a finalidade de demonstrar a participação de cada equipamento na produção do mesmo. Na Tab. 7, está o levantamento do consumo medido na produção do produto A:

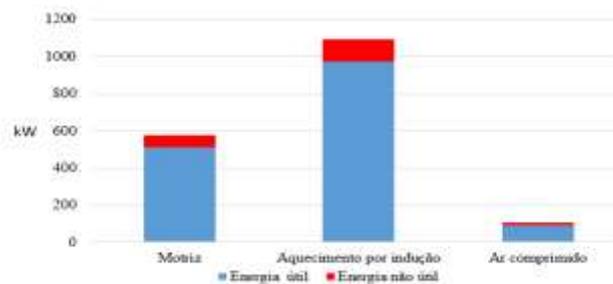
Tab. 7: Consumo detalhado do produto A.

Máquinas	Nº de Motores	Consumo em kW
Extrusora de alumínio	5	369,6
Mesa	13	0,6
<i>Puller</i>	3	10,9
Serra quente	2	6,6
Serra de acabamento	3	19,0
Esticador	2	16,3
Serra automática de tarugo	5	36,4
Forno de ferramentas	1	14,6
Forno de envelhecimento	6	37,3
Carregador de tarugo	2	0,5
Ventilador movel de resfriamento	3	0,0
Forno de indução		973,0
Ar comprimido		90,99
TOTAL		1575,79

Fonte: Do altor (2018)

Para melhor representar o potencial de eficiência por tipo de energia, foram separados os principais responsáveis pelo consumo elétrico. Indicações do valor para energia útil, representado pela Fig. 30, são estimados com base nos dados apresentados e relacionados com as projeções de eficiência, considerando aplicadas as modificações sugeridas pelo estudo deste trabalho. Na Fig. 30, apresenta os indicador de eficiência sobre a produção de um produto na Extrusão I.

Fig. 30: Indicador de energia útil:



Fonte: Do alto (2018)

Considera-se a base de unidade como potência ativa, a Fig. 30 representa o quanto de eficiência pode-se alcançar com algumas modificações e melhores práticas em uma planta de extrusão de alumínio. Se considerarmos o consumo elétrico por kg processado, pode-se chegar no número de 0,460 kW/kg durante a produção do produto A, e se aplicado as modificações sugeridas o consumo seria de 0,405 kW/kg. Uma redução no consumo elétrico de 11,9%, na produção deste produto.

5 CONCLUSÕES

Para compreensão do estudo, a análise se deu de caráter experimental diante da observação de indicadores, de maneira, que foi feita uma caracterização macro das cargas dos processos em questão.

As sugestões propostas, nesse trabalho, refletem o quanto de eficiência energética pode ser alcançada com a implantação de tecnologias e boas práticas.

Na questão motriz, indica-se a instalação de cinco inversores de frequência nas bombas principais de cada extrusão, afim de proporcionar maior rendimento desses motores. Se aplicados esses inversores, poderiam representar 5,64% de redução na demanda elétrica motriz das plantas do setor estudado.



No que se refere a indução, sugere-se a substituição do sistema de disparo dos tiristores de potência do Forno I, por um sistema de disparo de ângulo de fase semelhante ao Forno II, e automação do mesmo, pois, o sistema de disparo por ângulo de fase mostrou ser eficiente. Se esta modificação ocorrer pode impactar 5,9% na demanda elétrica consumida pelos fornos.

E por fim, no que diz respeito ao ar comprimido, como já comentado, somente com boas práticas de manutenção são suficientes para sanar o grande número de vazamentos encontrados no setor de extrusão. Isso representa uma diminuição de 16% na potência dissipada na geração de ar comprimido.

Esses dados demonstram a importância do uso de indicadores de qualidade no processo produtivo, visto que incidem diretamente no custo de produção. Algumas proposições para estudos futuros ficaram dispostas no trabalho como por exemplo, um estudo aprofundado sobre fornos de indução e tecnologias aplicáveis ao mesmo, quais as tecnologias que poderiam obter maior sucesso no controle dessas cargas motrizes e, no quesito ar comprimido, a possível viabilidade de substituição deste por sistemas equivalentes como a hidráulica.

REFERÊNCIAS

- [1] ALUMASA. [Site Institucional]. Disponível em <www.alumasa.com.br>. Acesso em 18 de março de 2018.
- [2] ABAL – Associação Brasileira do Alumínio. **Fundamentos e Aplicações do Alumínio**, Ponto e Letra: São Paulo, 2016.
- [3] ELETROBRÁS. **Resultados PROCEL 2017**. Brasília : IEL/NC, 2017. Disponível em: <www.procelinfo.com.br>. Acesso em 20 de março de 2018.
- [4] GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Administração de Energia: Força Motriz**. Governo do Estado de São Paulo. 2001. Disponível em https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/204017/mod_resource/content/1/Manual_ForcaMotriz.pdf. Acesso em 18 de março de 2018.
- [5] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Relatório de Atividades CGIEE. 2014**. Disponível em <http://www.mme.gov.br/documents/1138787/0/Relatorio+CGIEE+2014_formato+oficial.pdf/041985b1-dd26-4d56-a2c5-bb0e9733dd5c>. Acesso em 20 de março de 2018.
- [6] ELSTEIN. Elstein web site. Disponível em: <http://www.elstein.com/en/> . Acesso em 18 março 2018 .
- [7] HALLIDAY, et al. **Fundamentos da Física**. vol. 4, nº 8, 2009.



- [8] ELEKTRO. **Segmento Industrial: Sistemas Motrizes**. 2007.
- [9] CLETO, A. C. C. **Motores elétricos de alto rendimento**. Dissertação (Mestrado em engenharia eletrotécnica e de computadores), Faculdade de engenharia da universidade do porto, 2012.
- [10] BOSCH. **Manual técnico: tecnologia de ar comprimido**. Campinas, 2008. Disponível em <http://www.bosch.com.br/br/ferramentas_pneumaticas/produtos/downloads/ManualPneumatica_ARComprimido.pdf> . Acesso em 20 de março de 2018.
- [11] MENDES, H. M. **Estudo de indicadores de energia elétrica para indústria do ramo plástico: análises do potencial de eficiência energética**. SATC: 2016.
- [12] ELETROBRÁS, PROCEL. **Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido**. Brasília, 2014.
- [13] ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3 ed. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília, 2008.
- [14] PROCEL. **Resultados PROCEL 2014**. Disponível em <http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2015/docs/rel_procel2015_web.pdf>. Acesso em 25 de março de 2018.
- [15] <http://joinville.ifsc.edu.br/~valterv/Tecnologia_de_Fabricacao/Aula%206_Extrusao.pdf> . Acesso em 18 de março de 2018.
- [16] RAUEN, Fábio José. **Roteiros de Iniciação Científica: os primeiros passos da pesquisa científica desde a concepção até a produção e a apresentação**. Palhoça: ed. Unisul, 2015.
- [17] METALPLAN. **Manual de Ar Comprimido**. São Paulo, 1 ed. 2006, 51 p.
- [18] LEME, R. M. **Características dos Fornos a Indução com Conversores IGBTs. 2011, 46 f. Monografia (Curso de Engenharia Elétrica)**. Universidade de São Francisco. Itatiba, 2011.
- [19] INDUCTOTHERM BRASIL GROUP. **Processo de Fusão, Aquecimento e Forja**. Disponível em: <<http://inductothermgroup.com.br/processes/>>. Acesso em 10 de Março de 2018.
- [20] LUIZ, Adyr Moisés. **Fundamentos da Física: eletromagnetismo, teoria e problemas resolvidos**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.
- [21] SEGUNDO Alan Kardek Rêgo. RODRIGUES, Cristiano Lúcio Cardoso. **Eletrônica de Potência e Acionamentos Elétricos**. Ouro Preto: Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Ouro Preto, 2015. 130 p. :il.
- [22] ATLAS COPCO BRASIL Ltda. - **Compressor Technique: compressores de parafuso rotativo lubrificado**. Disponível em: <www.atlascopco.com.br>. Acesso em 15 de abril de 2018.



[23] ARAUJO, Amanda Guerra de. **Controle Vetorial de um Motor de Indução trifásico Aplicado em Sistemas de Posicionamento**. Dissertação de Mestrado. João Pessoa: 2011. Acesso em 18 de junho de 2018. Disponível em:
<<http://tede.biblioteca.ufpb.br/bitstream/tede/5315/1/arquivototal.pdf>>