

ANÁLISE DE UMA MÁQUINA DE ESMALTAÇÃO DE FIOS TREFILADOS

Maycon Bregalda Ferrari¹
Luiz Carlos Vieira Guedes²

RESUMO

O consumo de energia é um grande problema enfrentado pelas empresas na atualidade, máquinas necessitam de uma alta carga de consumo energético para a sua produtividade e muitas das vezes esses equipamentos são antigos, ou seja, não adequados os modelos eficientes dos dias atuais. Por isso há de certa forma um desperdício, dissipado em forma de calor, o que gera a um longo prazo um aumento do custo final. Percebendo a necessidade de modelar um sistema térmico, com objetivo de encontrar parâmetros de ajuste, este trabalho tem com finalidade a análise de uma máquina de esmaltação de fios trefilados, através do estudo do fluxo térmico e dos equipamentos envolvidos. Para isso, foram feitas pesquisas bibliográficas para entender melhor os princípios de transferência de calor, mecânica dos fluidos, termodinâmica além de medições práticas, que promoveram os dados básicos para o desenvolvimento do projeto. Dessa forma foi dimensionado teoricamente o sistema em um trocador de calor ideal, através do conceito de troca térmica de fluidos em sentidos opostos. Este trabalho promoveu um conhecimento melhor de parâmetros da máquina e de equipamentos que estão obsoletos no sistema. Além de novas hipóteses que possam agregar para a redução do consumo desnecessário.

Palavras-chave: Energia. Análise. Máquina de esmaltação.

¹ Aluno do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas (UNIS).

² Doutor no curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas (UNIS).

ANALISYS A WIRE-ENAMELLING MACHINE OF DRAWN WIRE

ABSTRACT

Energy consumption is a major problem faced by companies today, machines need a high energy consumption load for their productivity and often the equipment is old, that is, not suitable for today's efficient models. That is why, there is a certain waste, dissipated in the form of heat, which generates in a long-term, an increase in the final cost. Realizing the need to model a thermal system, in order to find fit parameters, this work has the purpose of analysing a wire-enamelling machine of drawn wire, by studying the thermal flow and the equipment involved. For this, bibliographical research was done to a better understand of the principles of heat transfer, fluid mechanics, thermodynamics and practical measurements, which promoted the basic data for the development of the project. In this way, the system was theoretically dimensioned based in an ideal heat exchanger, through the concept of thermal exchange of fluids in opposite directions. This work has promoted a better understanding of machine parameters and equipment that are obsolete in the system. Also to new hypotheses that can add to the reduction of unnecessary consumption.

Keywords: Energy. Analysing. Enamelling Machine.

1 INTRODUÇÃO

A máquina de esmaltação, representa uma das etapas produtivas para a obtenção de fios de cobre ou alumínio, que são destinados a indústria elétrica. Nessa etapa o material chega trefilado, ou seja, com um diâmetro determinado, entretanto sem algumas propriedades necessárias ao fio condutor, que são obtidas no processo de esmaltação.

No processo de esmaltação, que consiste em um processo químico de volatização da Poliamida-imida (PAI), o fio condutor recebe propriedades tais como: resistência mecânica, estabilidade térmica e isolamento elétrico.

Estruturalmente, a máquina é caracterizada por ser de grande dimensão, feita de chapas de aço com uma espessura considerável e revestida com isolantes tais como lã de vidro, para diminuir a troca térmica com o meio externo.

Possui na mesma estrutura, duas linhas produtivas que podem trabalhar com materiais e parâmetros diferentes, onde o fluido (ar) é succionado a partir de rotores independentes e a alimentação da máquina pode ser feita por banco de resistências ou por queimador a base de GLP.

Na linha produtiva existem máquinas operando com ambas formas de alimentação, mas a análise do projeto foi realizada em uma com alimentação elétrica.

Essa dupla opção de alimentação para a máquina de esmaltação, foi aplicada mediante a uma crise energética, vivenciada no ano de 2000. E com isso foi utilizado queimadores, que naquela época eram economicamente mais viáveis.

Entretanto nos dias atuais, no qual se busca reduzir custos devido ao baixo crescimento da economia tanto brasileira quanto estrangeira, foi necessário realizar um estudo das máquinas de esmaltação, com enfoque principal na questão energética, pois por mais que sejam eficazes, ou seja atendam às necessidades das demandas produtivas, pecam no quesito eficiência, por serem máquinas não tão atuais.

Por esse motivo foi realizado uma análise em uma das máquinas alimentadas eletricamente, no qual foi buscado parâmetros de ajustes, que de certa forma contribuíram para construção de um memorial, já que não possui um manual técnico de fabricação para o dado modelo de máquina de esmaltação e o fabricante não existe mais. Além de melhorias feitas com substituição de partes mecânicas, que de certa forma estavam obsoletas e contribuindo para um consumo desnecessário.

2 MÁQUINA DE ESMALTAÇÃO

2.1 Máquina de esmaltação

A máquina de esmaltação de fios, pode ser caracterizada como um equipamento empregado na confecção de fios magnetos (cobre e alumínio), revestidos por um esmalte, que têm a finalidade de conferir a fio características de isolamento térmico e químico (JANSEN, 2005).

As máquinas podem ser confeccionadas tanto na horizontal quanto na vertical, o que difere uma da outra e a sua aplicação, no qual a vertical se utiliza para obtenção de fios com diâmetros mais grossos, já as horizontais são destinadas a pequenos diâmetros. Suas partes mecânicas principais são: painel eletrônico, recozedor, bobinador com trefila Tandem, tanque de esmalte, câmara de resfriamento de fios, gerador de vapor, forno de esmaltagem e painel elétrico do bobinador (JANSEN, 2005).

2.2 Processo de esmaltação

O processo de esmaltação consiste em fornecer características a um fio condutor trefilado, sendo essas características provindas da poliamida-imida (PAI), que reuni algumas características em sua composição, sendo essas resistência mecânica, estabilidade térmica e isolamento elétrico, importantes para fios utilizados em motores elétricos (DEMARCHI, 2011).

Para a realização do processo, o fio trefilado é curado dentro de uma máquina de esmaltação, através de várias passagens do mesmo, até que alcance uma certa temperatura e adquira as propriedades da resina/verniz (poliamida-imida). Esse processo de aderência é ocasionado pelo processo de transferência

de calor, no qual calor é definido segundo Young e Freedman (2008p.190), como “ uma transferência de energia de um corpo ou sistema para o outro em virtude de uma diferença de temperatura existente entre eles. ” Devido a passagem do material e um fluido em sentido opostos, com temperatura e densidades diferentes.

Um dos parâmetros visuais que se consegue detectar que a aderência da resina, não foi eficaz para a cura do material, é a eminência de “borras”, na superfície do fio esmaltado.

2.3 Sistemas de alimentação da máquina de esmaltação

As máquinas de esmaltação podem ter como fonte de alimentação energética, queimadores ou resistências elétricas, essa última necessita do acompanhamento de uma placa catalítica.

O queimador é definido como um equipamento que realiza a queima de um combustível, podendo ser sólido líquido ou gasoso, além de controlar a quantidade de ar necessária para a combustão estequiométrica (GARCIA,2013).

A placa catalítica é um equipamento que foi desenvolvido para a catalisar a oxidação de vapores de hidrocarbonetos.

Outro ponto importante em destacar, em relação a alimentação das máquinas de esmaltação, está ligado ao fluxo de ar, é o mecanismo responsável por essa função, são os rotores, máquinas de fluxo, que recebem energia do escoamento do fluido (SOUZA, 2011).

3 ESTUDO DE CASO

3.1 Estudo do funcionamento da Máquina de esmaltação

A partir da necessidade de reduzir o consumo energético, o projeto iniciou com o estudo do funcionamento da máquina de esmaltação de fios trefilados para poder assimilar seu funcionamento a um ciclo termodinâmico ou a um ciclo de troca de calor, pois como não havia um manual técnico de fabricação da máquina e nem mais o fabricante, não havia parâmetros iniciais, ou seja, o projeto partiu de hipóteses.

O funcionamento se caracterizou, por ser uma máquina que realiza a troca térmica entre um fio trefilado, o esmalte (poliamida-imida) e o ar, buscando proporcionar melhores propriedades mecânicas e elétricas, ou seja o fio trefilado entra a partir de uma abertura lateral retangular com ajuda de roldanas, passa pela máquina horizontalmente e sai por outra abertura retangular. Esse ciclo ocorre em vários passes, no qual o que determina a quantidade de passagem e a cura completa do esmalte, que ocorre em aproximadamente 300° C.

Um ponto importante em destacar é que durante o passe do material na máquina ocorre um resfriamento, em uma seção conjugada ao sistema que realiza uma troca térmica apenas para o meio externo, para que a resina caracterizada como uma poliamida faça a aderência completa. Um exemplo que mostra que o material não está esmaltado de forma correta e a iminência de “borras”.

Em relação a partes mecânicas, a máquina é constituída de rotores de aço especial, fabricado para suportar grandes variações de temperatura e são responsáveis pela sucção de ar para a alimentação do queimador, e para a o ciclo térmico da máquina. O queimador que fornece energia térmica, pela combustão do Gás liquefeito de petróleo. Já na alimentação por energia elétrica, os componentes são banco de resistências, placa catalítica e termopares.

A placa catalítica é fixada após um banco de resistências, que têm como finalidade aumentar a temperatura de processo, através do processo de catálise dos gases da poliamida, além de participar do controle dos poluentes gerados no sistema.

A exaustão do processo térmico também é de grande importância, pois envolve a liberação de gases poluentes, oriundos da combustão de um queimador a gás, além do esmalte classificado quimicamente como uma resina que se torna volátil sob altas temperaturas.

Os parâmetros de velocidade e temperatura da máquina, são definidos segundo um manual e são ajustados segundo especificações do cliente, tais como diâmetro e material (cobre ou alumínio), e também referente as condições climáticas (umidade, temperatura) em que o processo está exposto.

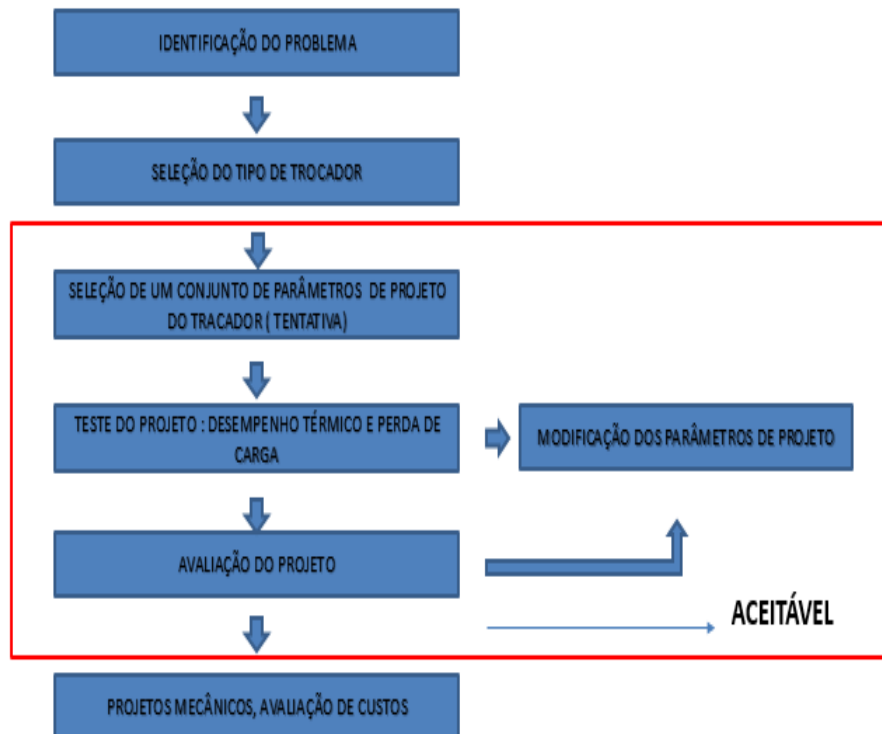
3.2 Escolha do ciclo térmico ideal

Após conhecer melhor o funcionamento e as partes principais da máquina, foi feita a etapa de assimilar o fluxo de troca de calor da máquina, com um ciclo termodinâmico, mais precisamente a um ciclo de Rankine, sistema esse que representa o funcionamento de uma caldeira e fazer um reaproveitamento do vapor que sai do exaustor com boa capacidade calorífica. Entretanto essa hipótese foi descartada, pois por definição ciclo de Rankine, é uma máquina térmica, que gera calor e trabalho é a máquina de esmaltação apenas realiza transferência energética de um corpo de maior temperatura, para um de menor temperatura, ou seja, se caracteriza como um equipamento térmico.

Com isso a máquina de esmaltação de fios trefilados foi definida como um equipamento térmico. Por isso novamente foi assimilada em hipótese, e dessa vez em um trocador de calor.

Tendo em vista a construção de um modelo teórico de um trocador de calor sob os parâmetros da máquina de fios, o primeiro passo desse dimensionamento foi a definição do problema e a escolha do tipo de trocador de calor mais adequado, que nesse sistema o escolhido foi o de contracorrente de um passe. Seguindo a lógica de dimensionamento de trocador de calor, como mostra a figura abaixo.

Figura 01: Representação de um dimensionamento de um trocador de calor



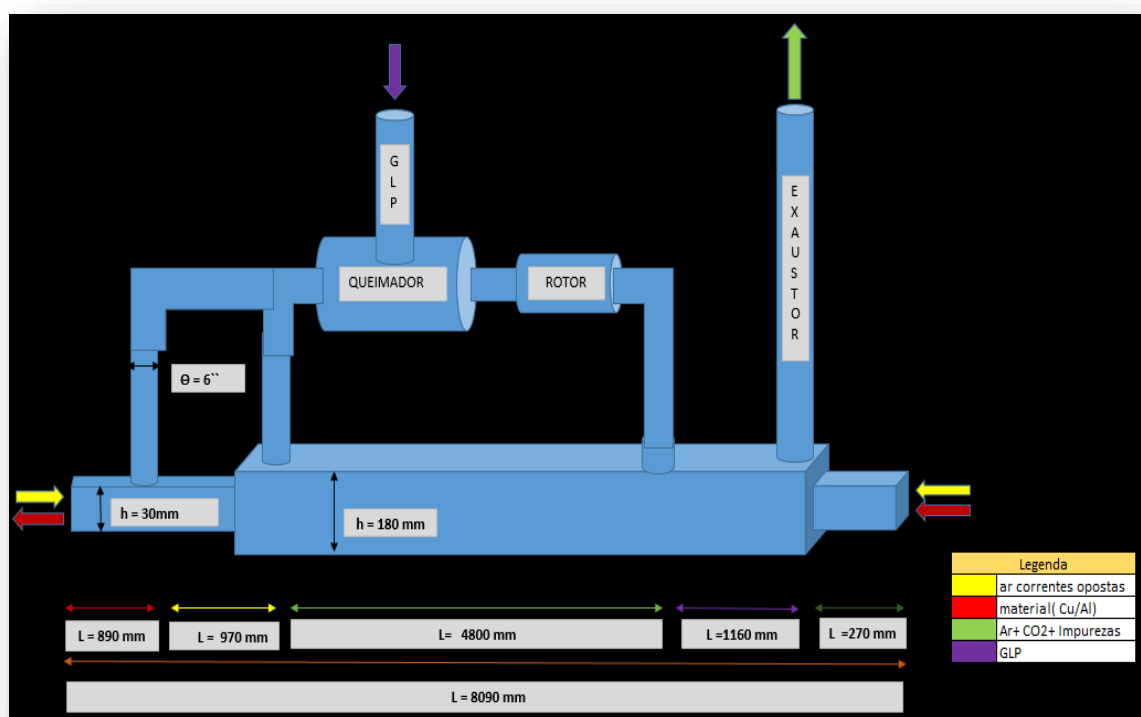
Fonte: Adaptado de Coelho (2016).

3.3 Parâmetros da Máquina

A partir da escolha do sistema térmico correto, foi modelado os cálculos para a ratificação do equipamento, em relação aos parâmetros de área, temperatura, pressão.

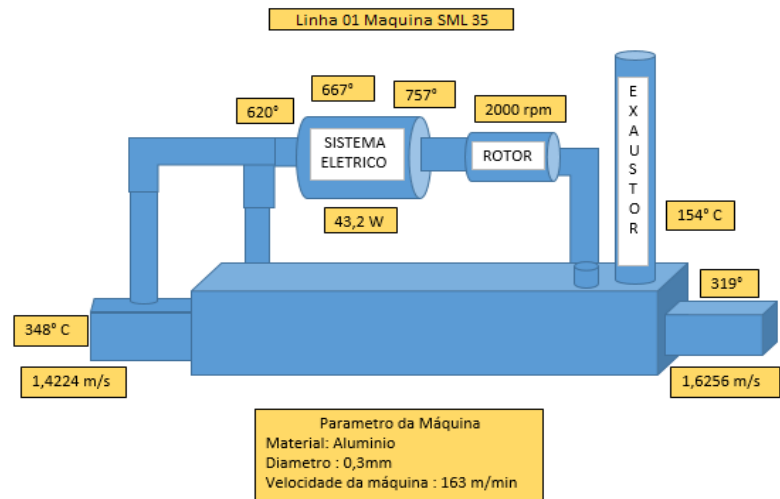
Na primeira etapa foram realizadas as medições das dimensões do equipamento, no que diz respeito ao comprimento total, abertura de entrada e saída do fio, medições da câmara onde ocorre a troca térmica e a passagem dos fios. Nessa etapa foram coletadas informações sobre a temperatura e velocidade em que o fluido se escoa. Para essas informações foram utilizados equipamentos, tais como: anemômetro e termopar.

Figura 02: Desenho esquemático da máquina de esmaltação



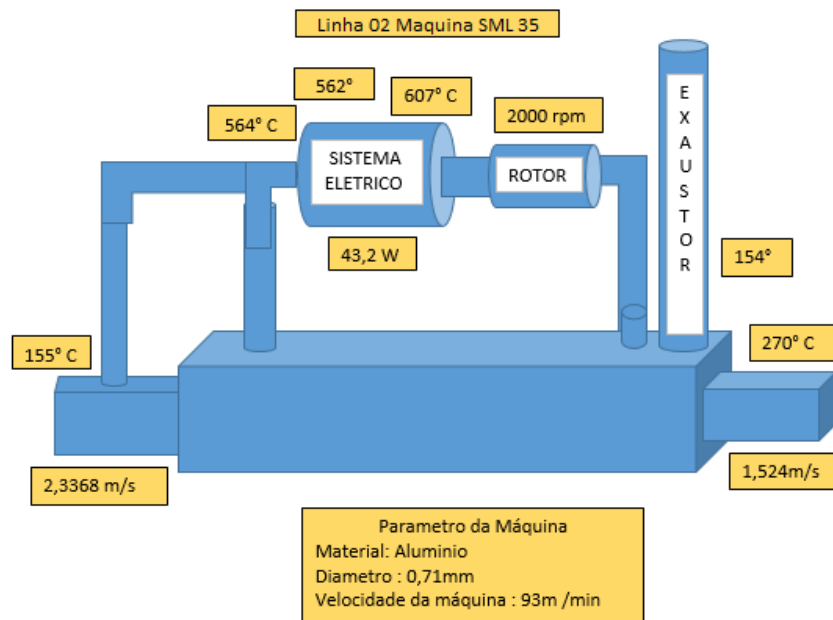
Fonte: o autor (2017)

Figura 03 : Dados técnicos SML 35 linhas 01



Fonte: O autor (2017)

Figura 04: Dados técnicos SML 35 linha 02



Fonte: o autor (2017)

3.4 Dimensionamento teórico

Com os dados coletados, o dimensionamento teórico foi iniciado com o cálculo do número de Reynolds representado pela equação 11.

$$\text{Reynolds} = \frac{15,6 \times 0,24708}{52,69 \times 10^{-6}} = 73.15331182 \times 10^3 \quad (01)$$

$$Q = \text{Velocidade média} \times \rho \times \text{área} \text{ [kg/s]} \quad (02)$$

$$\text{Vazão Mássica} = 15,6 \times 0,5804 \times 3,27 = 29,607 \text{ [kg/s]} \quad (03)$$

$$\text{Vazão} = \frac{29,607}{0,5804} = 51,01 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

Após realizado o cálculo do número de Reynolds, e constatado que o regime que o fluido escoar é laminar e calculado a vazão, foi feito o cálculo da média logarítmica de temperatura para as duas linhas (linha 01 e linha 02) da máquina de esmaltação, de alimentação de banco de resistências.

- Linha 01

$$(4) \Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)} = \frac{(940 - 621) - (793 - 592)}{\ln\left(\frac{940 - 621}{793 - 592}\right)} = 255,47 \text{ K}$$

T1 = Temperatura da câmara de alimentação [K]

T2 = Temperatura do Exaustor [K]

t1 = Temperatura de entrada [K]

t2 = Temperatura de saída [K]

- Linha 02

$$(4) \Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)} = \frac{(835 - 428) - (793 - 543)}{\ln\left(\frac{835 - 428}{793 - 543}\right)} = 322,14 \text{ K}$$

T1 = Temperatura da câmara de alimentação [K]

T2 = Temperatura do Exaustor [K]

t1 = Temperatura de entrada [K]

t_2 = Temperatura de saída [K]

Para o cálculo da média logarítmica de temperatura para o contexto da máquina de esmaltação foram utilizados parâmetros do escoamento do fluido de correntes opostas.

Com o cálculo da média de temperatura, foram realizados cálculos de fluxo de calor, do fluido (ar), do material trefilado (cobre ou alumínio). O valor do calor específico do ar, foi estabelecido perante pressão e temperatura.

- Linha 01

$$(05) Q = 1001 \times 3,27238 \times (621-592) = 95,942\text{KW}$$

$$(06) A = (2 \times B \times L) + (2 \times B \times H) + (2 \times H \times L) [m^2]$$

$$A = (2 \times 0,31 \times 4,80) + (2 \times 0,31 \times 0,029) + (2 \times 0,029 \times 4,80) = 3,27238 [m^2]$$

Temperatura de entrada = 592 [K]

Temperatura de saída = 621[K]

- Linha 02

$$(06) A = (2 \times 0,31 \times 4,80) + (2 \times 0,31 \times 0,029) + (2 \times 0,029 \times 4,80) = 3,27238[m^2]$$

$$(05) Q = 1011 \times 3,27238 \times (428-543) = |380,46| [W]$$

Temperatura de entrada = 543 [K]

Temperatura de saída = 428 [K]

Foram calculados também a capacidade calorífica da chapa estrutural de aço, e a capacidade calorífica do alumínio.

$$C = \frac{\Phi}{A \times MLDT} \quad (07)$$

- Linha 01

$$(07) C = \frac{845,19}{3,47854 \times 255,47} = 0,951080856 \left[\frac{W}{K} \right]$$

- Linha 02

$$(07) C = \frac{1,072377055 \times 10^3}{3,47854 \times 324,14} = 0,95108018 \left[\frac{W}{K} \right]$$

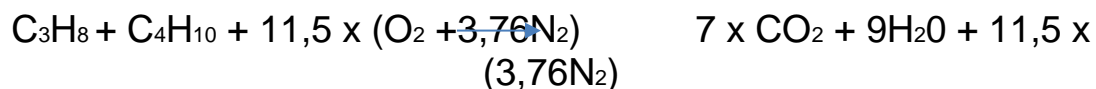
$$C = \text{Vazão Mássica} \times C_p \quad (08)$$

$$(08) C = 29,607 \times 220 = 6,51 \text{ [KW/K]}$$

3.5 Estudo do queimador

Embora a máquina de esmaltação estudada ser alimentada por placa de resistências elétricas, foi realizado o cálculo da razão ar- combustível para o queimador a gás, como forma de analisar se a relação de ar estava correta.

- Equação química



- Razão ar combustível em base molar

$$AC = \text{mols de ar} / \text{mols de combustível} \quad (09)$$

$$(09) AC = (11,5 + 11,5 \times (3,76)) / 1 = 54,74 \text{ Kmol (ar) / Kmol (combustível)}$$

- Razão ar combustível em base molar normativo

$$AC \text{ Teórico} = 9,52 \text{ Kmol (ar) / Kmol (combustível)} \quad (10)$$

- Razão ar combustível em base mássica- valores teóricos

$$Ac = AC \times (\text{Massa ar} / \text{Massa combustível}) \quad (11)$$

$$(24) \text{ } Ac = 54,74 \times (28,97^* / (44,09 + 58,12)) = 15,51 \text{ Kg (ar) / Kg (combustível)}$$

*valor normativo para a massa de ar.

- Porcentagem de ar teórico

$$\% \text{ ar teórico} = \text{razão ar combustível em base mássica} / \text{razão ar combustível em base molar} \quad (12)$$

$$(12) \% \text{ de ar teórico} = 15,51 / 9,52 = 1,62$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o dimensionamento teórico realizado sob características de um trocador de calor, foram comparados os valores obtidos com o que seria o desejável para o funcionamento ideal da máquina de esmaltação, sob base da velocidade de entrada e saída de ar, em ambas linhas de funcionamento (linha 1 e linha 2) como mostra as tabelas abaixo.

Tabela 01- Parâmetros ideais de velocidade

Velocidade nominal de entrada de ar	1,0 [m/s]
Velocidade nominal de saída de ar	1,5 [m/s]

Fonte: O autor.

Tabela 02- Parâmetros de velocidades coletados na máquina

Velocidade de entrada de ar linha 1	1,6265 [m/s]
Velocidade de entrada de ar linha 2	1,5240 [m/s]
Velocidade de saída de ar linha 1	1,4224 [m/s]
Velocidade de saída de ar linha 2	2,3368 [m/s]

Fonte: O autor.

Tabela 03 – Média de velocidades

Velocidade linha 1	1,52 [m/s]
Velocidade linha 2	1,93 [m/s]
Velocidade nominal	1,25 [m/s]

Fonte: O autor

Tabela 04 – Fluxo de ar

Fluxo nominal linha 1	69 [KW]
Fluxo nominal linha 2	280 [KW]
Fluxo linha 1	85 [KW]
Fluxo linha 2	430 [KW]

Fonte: O autor

Tabela 05 – Diferença do fluxo nominal/real

Diferença fluxo nominal / linha 1	16 [KW]
Diferença fluxo nominal / linha 2	150 [KW]

Fonte: O autor

De acordo com alguns testes de medição, alguns levantamentos podem ser levados em consideração. As temperaturas, parâmetros de processo da máquina além do material não são constantes. A vazão de entrada de ar na máquina também é variável, ou seja, em cada guia há uma quantidade de ar que entra para o sistema,

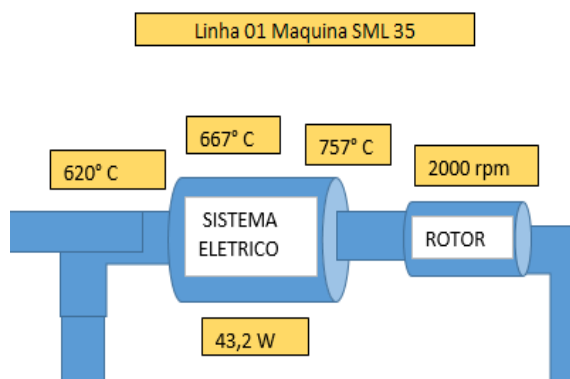
o que no dia de aferição ficou caracterizado por vazões que diminuía da extremidade para o centro da máquina, e a vazão de saída negativa.

Os fluxos teóricos, com as temperaturas referente ao processo de esmaltação de alumínio com diâmetros de 0,4mm e 0,71mm, na mesma máquina, entretanto em linhas diferentes, houveram uma divergência. O que pode ter levado a essa diferença são as incrustações ou algum vazamento na estrutura física da máquina, que contribuíram para a diferença da quantidade de ar de sucção.

Adaptações podem ser levadas como hipóteses, tais como: trocar o rotor para um com pás para trás por ser o mais eficiente entre os demais, utilizar medidores de vazão em mais de um ponto na máquina, trocar o queimador por um mais atual, verificar se os motores e equipamentos não estão obsoletos.

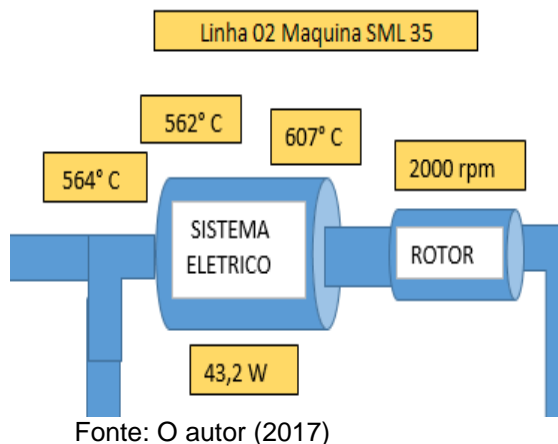
Outro ponto é a placa catalítica, que pelo seu funcionamento deveria aumentar a temperatura do fluido em aproximadamente quarenta graus, que passa do banco de resistência em uma máquina elétrica, e uma parte é reaproveitada para o processo. Com isso demonstra que seu funcionamento não está correto e a necessidade de uma troca, como mostra as figuras abaixo.

Figura 10: Temperaturas da placa catalítica linha 01



Fonte: O autor (2017)

Figura 11: Temperaturas da placa catalítica linha 02



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelo fato da máquina de produção de fios ser antiga, não ter todas as especificações, no que diz respeito a todas as partes e elementos, além do mais o fabricante não existe mais, o processo de modelamento e otimização ficou restrito.

O propósito inicial seria estabelecer um trocador de calor ideal, para que se pudesse aproveitar o fluxo, em um reaproveitamento do calor que é gerado e rejeitado pelo exaustor. Entretanto realizar uma conexão direta do exaustor com a câmara de combustão, não seria vantajoso já que a temperatura da entrada da câmara é maior que a presente no exaustor com isso o fluxo seria contrário. Já que a dissipação de calor ocorre de um corpo de maior temperatura para um de menor temperatura.

Um ponto importante em ressaltar, é em relação aos resultados obtidos nos cálculos, já que eles foram dimensionados a partir, de especificações do dia em que foram colhidas as informações da máquina. Por isso há fatores que influenciam diretamente, são esses: o clima, solicitação do cliente, tipo de material, dimensionamento técnico da máquina.

Ou seja, o modelamento matemático foi definido na teoria, entretanto não foi possível a realização da prática para a sua confirmação, e com isso não se obteve um ponto ótimo de trabalho para o redimensionamento dos parâmetros do equipamento. A perda de calor é um problema visível na máquina, com ajustes em partes mecânicas como a troca de rotores por modelos mais novos, queimadores mais eficientes e a troca da placa catalítica com defeito poderia diminuir o consumo da máquina.

REFERÊNCIAS

BISTAFA, Sylvio R. **Mecânica dos Fluidos**: noções e aplicações. São Paulo: Edgard Blücher, 2013.

BORCHARDT, I.G.; GOMES, A.F. **Termometria Termoelétrica**: termopares. Porto Alegre: Sagra, 1979.

BUCUSSI, Alessandro A. **Introdução ao conceito de energia**, 2007. 32f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

COELHO, João. **Energia e Fluidos, volume 3**: Transferência de calor. São Paulo: Edgard Blücher, 2016.

CORREIA, Nestor. **Conceitos de energia e trabalho princípios gerais da termodinâmica**. [20-?]. Disponível em: <http://nead.uesc.br/arquivos/Fisica/termodinamica/material_apoio/M1U9_conceito_energia_e_trabalho.pdf >. Acesso em: 18.mai.2017

DEMARCHI, Angelita de A. **Síntese caracterização de materiais híbridos de poliamida-imida (PAI) e copolissilsesquioxanos de 3-aminopropiltriétoxissilano (APES) e feniltriétoxissilano (PTES)**. 2011.19f. Dissertação (mestrado em Ciências e Engenharia dos materiais) - Univerisdade do Estado de Santa Catarina, Joinvile, 2011.

GARCIA, Roberto. **Combustíveis e combustão industrial**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2013.

GOMES, Maria. **Apostila de mecânica dos fluidos**. UFJF, 2012. Disponível em: <<http://ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/09/Apostila-de-Mec%C3%A2nica-dos-Fluidos.pdf>>. Acesso em: 18.maio.2017.

GONÇALVES, Marcelo G. **Monitoramento e controle de processos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Petrobras; Brasília: SENAI/DN, 2003.v.2

INCROPERA, F.P. et al. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 643p.

JANSEN, José. **Síntese e caracterização de verniz eletroisolante para cura dual UV/térmica**. 2005.207f. Dissertação (doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear) – IPEN Autarquia Associada a Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

MORAN, M.J.; SHAPIRO, H.N. **Princípios de termodinâmica para engenharia**.6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

PERUSSI, Ronaldo. **Análise do desempenho de trocadores de calor de fluxo cruzado por simulação numérico**. 2010.138f. Dissertação (mestrado em Engenharia Mecânica) - Escola de engenharia de São Carlos, São Carlos,2010.

ROSÁRIO DA BARBOSA, Marcelo. **Princípios fundamentais da transferência de calor**. São Paulo:USP,2004.Disponivelem:<http://sites.poli.usp.br/p/jesse.rebello/termo/Trabalho_Transcal.pdf>. Acesso em: 24.Maio.2017.

SAVI, A.A.; COLUCCI, C. C. **Termodinâmica**. 10. ed. Maringá: Editora da Universidade de Maringá, 2010.v.10

SCHNEIDER, Paulo S. **Medições de velocidades e vazão de fluidos**. Porto Alegre. UFRGS. 2000

SOUZA, Zulcy. **Projeto de máquinas de fluxo**. turbinas hidráulicas com rotores axiais. Rio de Janeiro, 2011.

TEIXEIRA JÚNIOR, Antônio de S. Leis da Termodinâmica. **Revista de Ensino de Ciências**. São Paulo, n. 3, p. 29-33, abr. 1981.

TUBULAR EXCHANGER MANUFACTURES ASSOCIATION. **Standard of tema**. Nova York:1982.



WHITE, Frank M. **Mecânica dos fluidos**. 6.ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física II: termodinâmica e ondas**. 12. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008.