

PROJETO E EXECUÇÃO DE SISTEMA MECÂNICO PARA MOVIMENTAÇÃO DE CARROS BOX NA INDÚSTRIA CERÂMICA

Rinaldo Flor Cardoso ¹

Adelor Felipe da Costa ²

Resumo: Atualmente a indústria cerâmica na região sul do Brasil se destaca entre as cerâmicas pioneiras na fabricação de pisos, porcelanatos e azulejos. Esse polo possui diferencial com relação a outros polos do país, pela fabricação de peças elaboradas de premiações nas grandes feiras de produtos cerâmicos. Para elaboração desses produtos a Eliane Revestimentos Cerâmicos busca ao máximo a estabilidade e eficiência do processo do seu início ao fim. O objetivo desse trabalho foi a elaboração de um projeto mecânico para substituir o acionamento hidráulico de uma linha de movimentação de carros *box*. O sistema hidráulico utilizado nessa aplicação apresenta alto custo de manutenção, paradas de equipamentos não programadas e geração de resíduos para descarte juntamente com óleo hidráulico. O projeto foi desenvolvido para aplicar um motoredutor acoplado a um sistema de movimentação de corrente de rolos, fazendo o movimento de avanço e retorno. Após a compra dos componentes utilizados no projeto a montagem foi desenvolvida internamente pelo departamento de manutenção. A instalação do novo sistema ocorreu durante uma manutenção preventiva onde foi possível organizar todos os materiais sem comprometer a produção. Com o novo sistema em operação foi possível constatar que o deslocamento dos carros foi realizado conforme a velocidade do antigo sistema. A carga do acionamento foi verificada, e mesmo com a linha de carros completa o motor se manteve com a corrente nominal conforme sua placa de identificação. Diante do perfeito funcionamento, foi iniciado a compra de mais componentes do projeto para continuação nas demais linhas hidráulicas.

Palavras-Chave: Cerâmica, Manutenção, Custo, Hidráulica e Motoredutor.

1 INTRODUÇÃO

A indústria cerâmica brasileira atualmente é o terceiro maior produtor de cerâmica no mundo e o Brasil é o segundo maior consumidor de cerâmica no mundo. Os maiores produtores se concentram no sul e sudeste do país e possuem as mesmas tecnologias e responsabilidades técnicas de produtos que os maiores produtores do mundo utilizam. (Anfacer, 2021). Essa posição do país está relacionada aos

¹ Graduando em Engenharia de Mecânica. Ano 2021-2. E-mail: rinaldo.cardoso@gmail.com.

² Professor do Cento Universitário UniSATC. E-mail: adelor.costa@satc.edu.br

investimentos em tecnologias e técnicas para aumentos de produtividade. A produtividade dentro da indústria depende de diversos fatores, entre eles está o suporte e emprego da manutenção das plantas industriais.

Os maiores desafios das equipes de manutenção para a indústria cerâmica é fornecer a maior disponibilidade possível dos equipamentos para atender o processo produtivo. Na ocorrência de paradas não planejadas há grandes perdas não só com a produção como desperdícios de energia elétrica, gás natural e toda força de trabalho ociosa por essas ocorrências. No processo de fabricação cerâmica há equipamentos com grau de complexidade variados, alguns exigem maior conhecimentos técnicos para operação e manutenção e outros de maior simplicidade.

Na indústria cerâmica a prevenção de paradas e a busca para otimizar e padronizar equipamentos que possibilitem agilizar a manutenção são de extrema importância para a continuidade do processo. Esses pontos levantados passam pelo treinamento e desenvolvimento da equipe que realiza a manutenção. Quanto mais treinada a equipe, melhor será o desempenho e disponibilidade dos equipamentos. Essa busca de padronização e robustez dos equipamentos da indústria reflete em reduções significativas nos custos diretos de manutenção. Indiretamente possibilitam redução nos custos de energia elétrica e outros insumos envolvidos no processo. (Engeteles, 2017).

No processo cerâmico, existem etapas que são conectadas através da utilização de carros *box* para transporte e armazenagem das peças cerâmicas. As máquinas de carga e descarga *box* recebem o carro, onde o produto cerâmico é carregado através da movimentação de rolos e correias. O carro *box* é formado de rolos, estrutura e rodados para fazer seu deslocamento sobre trilhos entre setores. Após a carga ou descarga do material, o carro é movimentado por sistema de transferências de carros *box*. Essas linhas de transferências são formadas por mecanismos de movimentação acoplado a um cilindro hidráulico que faz a movimentação dos carros ao longo do trilho, em um movimento de avanço e retorno.

Atualmente o sistema de movimentação do carro *box* é hidráulico, formado por cilindro, válvula, bomba e demais componentes. Esse sistema hidráulico apresenta altos custos de manutenção para seu funcionamento. Dentro desses custos estão as manutenções periódicas dos componentes envolvidos. Além dos custos de manutenção outros pontos desfavorecem sua utilização.

O diagnóstico de defeitos torna-se complexo pois o sistema hidráulico exige um conhecimento técnico avançado. Por diversas vezes na tentativa da solução de um problema foi realizada a substituição de mais de um componente para se chegar na solução do problema. Durante uma manutenção corretiva é difícil ser realizada por apenas um técnico pois quando envolve substituição do cilindro hidráulico é necessário o envolvimento de outros técnicos para fazer as substituições, em decorrência de seu peso e dificuldades de acesso para a manutenção.

O óleo utilizado no sistema também é outro problema que exige acompanhamento, manutenção e destinação correta em possíveis vazamentos e trocas periódicas. A indústria cerâmica busca ser um segmento sustentável e de baixo impacto ambiental. Com isso a redução na utilização de óleos hidráulicos reduz as movimentações de materiais perigosos para fora da empresa. Mesmo realizando manutenções e inspeções periódicas os vazamentos de óleo ocorrem, para fazer a limpeza, é obrigatório a utilização de produtos de contenção e sucção, para posteriormente fazer a remoção. Um ponto importante é o nível de ruído que cada vez mais está sendo analisado. A bomba de engrenagem que fornece a energia para o sistema apresenta um ruído que quando se soma com o processo acaba evidenciando ainda mais esse problema no setor de carga e descarga *box*.

Neste sentido a substituição de sistema hidráulico por sistema acionado por motoredutor e corrente de transporte torna-se estudo potencial, com vantagens de aplicação. A utilização de sistema de movimentação utilizando motoredutores é uma aplicação muito comum dentro da indústria cerâmica, pois apresenta baixos custo de manutenção e alta confiabilidade.

A montagens de engrenagens de corrente e corrente também é utilizada em larga escala dentro da indústria, assim facilitando a sua reposição e suas manutenções. O projeto desse sistema busca identificar o correto dimensionamento das partes a ser alterado. O maior desafio no dimensionamento dos componentes do sistema de motoredutor e corrente, trata-se de obter altos níveis de força, robustez mecânica, espaço físico e padronização de componentes já utilizados na indústria.

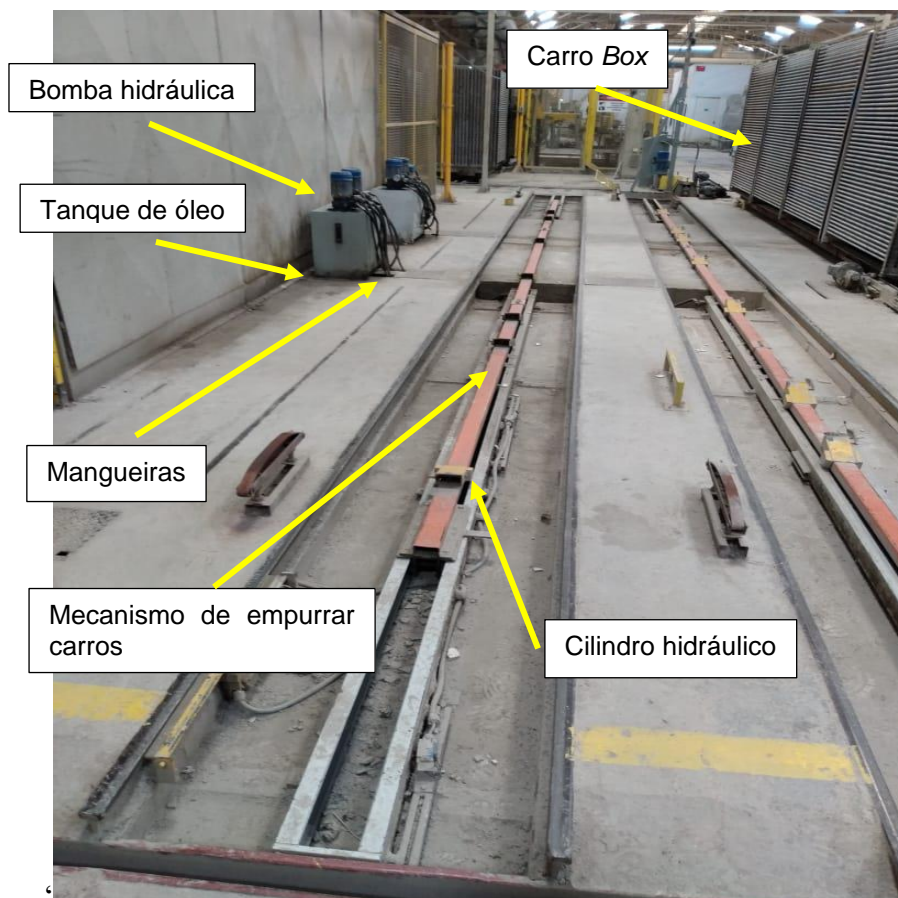
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nas seguintes seções serão abordadas as informações mais relevantes para a execução do projeto de instalação de motoredutor para movimentação de carros *box*.

2.1 SISTEMA DE TRANSFERÊNCIA DE CARRO *BOX*

Para melhor entendimento do sistema é possível visualizar através da Fig.1, o sistema de transferência de carros com seu acionamento hidráulico. O projeto que será desenvolvido pretende alterar uma das linhas de transferência e assim coletar os dados e resultados para replicar para as demais. Para execução desse projeto pretendesse manter os mecanismos que empurram o carro e também os componentes de fixação do mesmo.

Figura 1: Sistema de transferência de carro *box*



Fonte: Autor (2021)

2.1.1 Motoredutor

O motoredutor é um conjunto formado por motor elétrico e redutor. Esse conjunto possui a função de aumento de torque necessário para a movimentação de cargas e através da combinação de engrenagens internas do redutor chegar muito próximo da velocidade desejada.

Figura 2: Motoredutor de engrenagens cônicas



Fonte: SEW (2021)

O motoredutor se mostra muito vantajoso pois ele consegue de forma compacta reduzir grandes velocidade e ser acoplado diretamente na máquina acionada (MOTT, 2015). Os motoredutores podem ser encontrados em diversos tipos e modelos, conforme sua aplicação.

2.1.1.1 Dimensionamento e seleção de motoredutor

O dimensionamento de motoredutor tem como principais etapas identificar o torque de saída do redutor, relação de rotação entre a entrada e a saída e características de montagem. Dentro das características de montagem a fixação é uma característica importante a ser observada. No dimensionamento do motoredutor utiliza-se da segunda lei de Newton. A relação de força resultante que atua sobre um corpo é proporcional a massa pela aceleração por ele adquirida, que dessa forma se considera força peso, a aceleração considerada a força gravitacional sendo descrita pela Eq. (1) (HALLIDAY, 2008).

$$F = m \cdot a$$

Onde:

F = Força resultante (N);

m = Massa (Kg);

a = Aceleração (m/s²).

Para se calcular o torque no motoredutor pode ser considerado o produto de carga transmitida e o raio da engrenagem (MOTT, 2015). O torque também pode ser considerado a razão da potência transmitida pela velocidade angular Eq. (2).

$$T = F \cdot r$$

Onde

T = Torque (N.m);

F = Força resultante (N);

r = Raio (m).

Independente da aplicação o motoredutor sempre tem o movimento circular como base, para isso o movimento linear deve ser convertido para circular conforme Eq. (3), (Seleção de acionamentos SEW 2013).

$$n = \frac{V}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot (60)$$

Onde

n = Rotação de saída do motoredutor (rpm);

V = Velocidade linear (m/s);

r = Raio da engrenagem (m).

2.1.2 Engrenagens de corrente e corrente de rolos

As transmissões de movimento de cargas através de correntes de rolos é muito comum na indústria. A potência de transmissão é feita através de uma engrenagem motora que movimenta a corrente de rolos e uma engrenagem movida.

Esse tipo de transmissão tem como uma das principais características a elevada transferência de potência e o sincronismo entre a motorização e a carga que está sendo acionada (MOTT, 2015).

Figura 3: Engrenagens de corrente e correntes de rolos



Fonte: Rodex RDX (2021)

As correntes de rolos podem ser encontradas com diversas características, tamanhos e formas construtivas. A aplicação combinada com mais de uma corrente para a movimentação de cargas também pode ser encontrada. A lubrificação das correntes é um fator importante no seu dimensionamento e vida útil.

2.1.2.1 Dimensionamento da corrente de rolos

O desgaste é o principal critério que deve ser levado em conta nas transmissões por correntes de rolos. Os valores encontrados para a roda dentada e a corrente nesse critério asseguram o perfeito funcionamento da transmissão (NORTON, 2015). Para o dimensionamento pode-se utilizar a potência do projeto Eq. (4). E conseqüentemente a potência que a corrente de rolos indicada pode suportar Eq. (5).

$$P = K_s \cdot P_m$$

Onde:

P = Potência total do projeto (HP);

K_s = Fator de serviço;

P_m = Potência do acionamento utilizado (HP).

$$P = k_1 \cdot k_2 \cdot P_c$$

Onde:

P = Potência da corrente (HP);

K_1 = Fator de correção para o número de dentes da engrenagem;

K_2 = Fator de correção para o número de correntes utilizadas;

P_c = Capacidade de carga da corrente de rolos (HP).

Figura 4: Capacidade de carga de corrente de rolos

Rotação do pinhão [rpm]	25	35	40	41	50	60	80	100	120	140	160	180	200	240
50	0.05	0.16	0.37	0.20	0.72	1.24	2.88	5.52	9.33	14.4	20.9	28.9	38.4	61.8
100	0.09	0.29	0.69	0.38	1.34	2.31	5.38	10.3	17.4	26.9	39.1	54.0	71.6	115
150	0.13	0.41	0.99	0.55	1.92	3.32	7.75	14.8	25.1	38.8	56.3	77.7	103	166
200	0.16	0.54	1.29	0.71	2.50	4.30	10.0	19.2	32.5	50.3	72.9	101	134	215
300	0.23	0.78	1.85	1.02	3.61	6.20	14.5	27.7	46.8	72.4	105	145	193	310
400	0.30	1.01	2.40	1.32	4.67	8.03	18.7	35.9	60.6	93.8	136	188	249	359
500	0.37	1.24	2.93	1.61	5.71	9.81	22.9	43.9	74.1	115	166	204	222	
600	0.44	1.46	3.45	1.90	6.72	11.6	27.0	51.7	87.3	127	141	155	169	
700	0.50	1.68	3.97	2.18	7.73	13.3	31.0	59.4	89.0	101	112	123		
800	0.56	1.89	4.48	2.46	8.71	15.0	35.0	63.0	72.8	82.4	91.7	101		
900	0.62	2.10	4.98	2.74	9.69	16.7	39.9	52.8	61.0	69.1	76.8	84.4		
1000	0.68	2.31	5.48	3.01	10.7	18.3	37.7	45.0	52.1	59.0	65.6	72.1		
1200	0.81	2.73	6.45	3.29	12.6	21.6	28.7	34.3	39.6	44.9	49.9			
1400	0.93	3.13	7.41	2.61	14.4	18.1	22.7	27.2	31.5	35.6				
1600	1.05	3.53	8.36	2.14	12.8	14.8	18.6	22.3	25.8					
1800	1.16	3.93	8.96	1.79	10.7	12.4	15.6	18.7	21.6					
2000	1.27	4.32	7.72	1.52	9.23	10.6	13.3	15.9						
2500	1.56	5.28	5.51	1.10	6.58	7.57	9.56	0.40						
3000	1.84	5.64	4.17	0.83	4.98	5.76	7.25							
<i>Tipo A</i>	<i>Tipo B</i>			<i>Tipo C</i>				<i>Tipo C'</i>						

Fonte: Norton (2015)

O comprimento da corrente pode ser dimensionado em passos de números de elos da corrente. Esse dimensionamento pode ser feito através da Eq. (6) (NORTON, 2015).

$$\frac{L}{p} = \frac{2 \cdot C}{p} + \frac{(Z1 + Z2)}{2} + \frac{(Z2 - Z1)^2 \cdot p}{4 \cdot \pi^2 \cdot C}$$

Onde:

L = Comprimento da corrente em elos;

p = Passo da corrente selecionada (mm);

C = Distância de centros (mm);

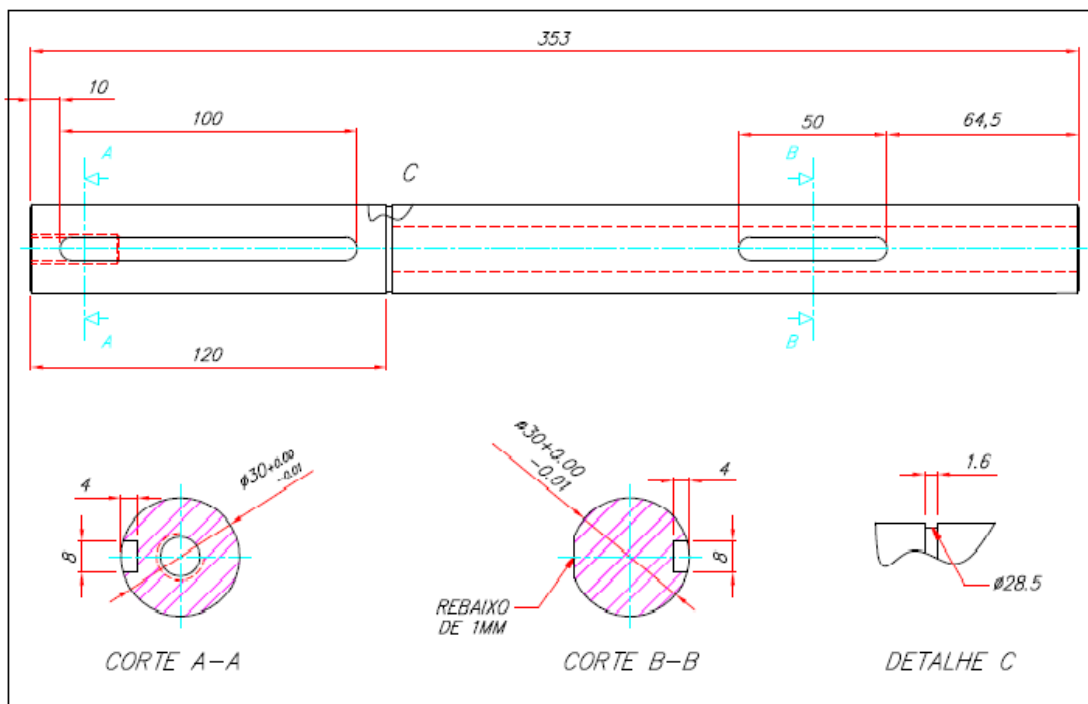
$Z1$ = Número de dentes da engrenagem de corrente motora;

$Z2$ = Número de dentes da engrenagem de corrente movida.

2.1.3 Eixos

Os eixos são elementos que possibilitam suportar cargas e fazer o movimento rotacional para finalidade de movimentar rolamentos, engrenagens e outros tipos de transmissões (MELCONIAN, 2005).

Figura 5: Eixo motriz



Fonte: Autor (2021)

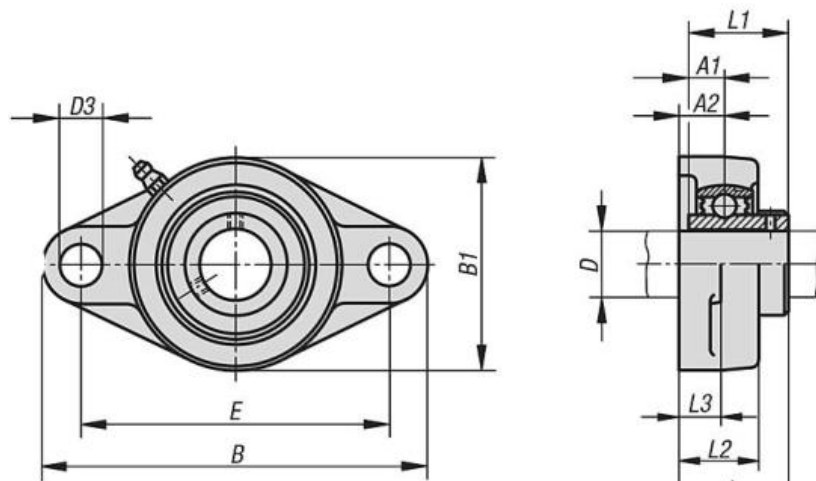
Eixos são elementos de máquinas que podem ser projetados com diversos diâmetros e características de montagem. Os materiais utilizados para fabricação dos

eixos podem ser variados, quando dimensionados em aço é importante passarem por um processo de usinagem para garantir uma perfeita montagem e garantia de durabilidade na sua aplicação.

2.1.4 Mancais e Rolamentos

O rolamento é um componente que permite o movimento entre dois ou mais componentes. Sua principal finalidade é diminuir o atrito entre os componentes acoplados ao sistema que deseja ser movimentado. A aplicação de rolamentos é muito vasta em toda a indústria. Os rolamentos são classificados em diversos tipos, tamanhos e outras características que se aplicam melhor a cada projeto (NORTON, 2015).

Figura 6: Mancal e rolamento



Fonte: SKF (2021)

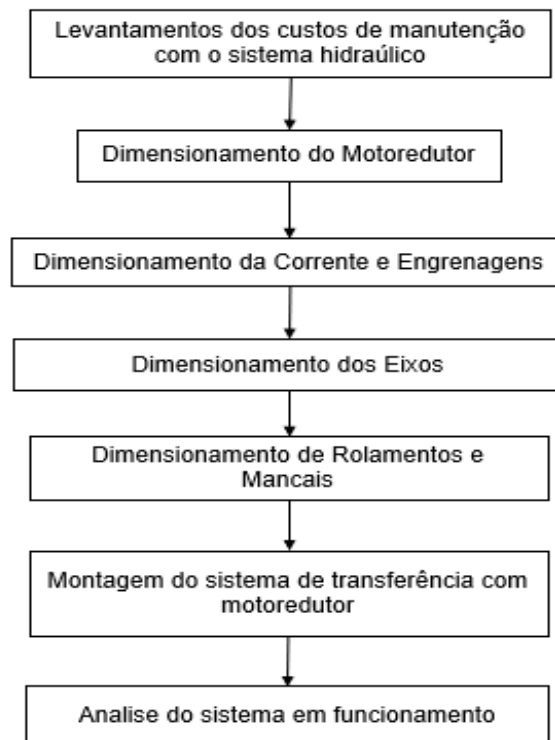
O mancal do rolamento é um acessório de fixação do rolamento. Esse pode também ser encontrado de diversos tamanhos e aplicações. Suas principais características são o baixo custo de aplicação, facilidade de montagem e alta resistência por serem na maioria em ferro fundido.

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Nessa seção será abordado o estudo para otimizar o acionamento de movimentação de carros da indústria cerâmica. Na unidade II da Eliane

Revestimentos Cerâmicos existem quatro linhas de movimentação de carros iguais a essa mencionada no trabalho.

Figura 7: Fluxograma para execução do estudo



Fonte: Autor (2021)

3.1 ANÁLISE DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE TRANSFERÊNCIA DE CARROS BOX

O estudo para desenvolvimento de um novo acionamento para movimentar os carros *box*, iniciou com o levantamento dos custos e problemas originados pelo sistema de movimentação hidráulico. Essa linha de movimentação de carro, possui capacidade de movimentar e armazenar seis carros de material cerâmico pronto para se transferir ao setor de queima. O carro possui capacidade média de 98m² de material esmaltado para ser queimado.

O carro *box* desloca-se sobre trilhos como se fossem vagões de trem. Na parte inferior do carro *box*, possui na parte frontal, uma tala onde o mecanismo de translação acionado pelo cilindro encaixa e empurra o carro fazendo o movimento. Quando a linha retorna o mecanismo de movimentação abaixa, e se posiciona para

um novo percurso. Na parte traseira do carro se encontra uma chapa de aço com um rolete preso a um pino. Esse rolete tem como principal função, baixar o mecanismo de translação quando os carros estão próximos do fim do seu percurso.

3.2 ANÁLISE DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO COM O SISTEMA HIDRÁULICO

Conforme abordado ao longo do trabalho, os custos de manutenção com o sistema hidráulico de movimentação, é uma das principais justificativas para elaboração desse projeto. Abaixo pode ser observado uma listagem da manutenção de uma linha ao longo de um ano. Nessa lista não está sendo considerado os custos de mão de obra para manutenção.

Tabela 1: Custos de manutenção

Custos de manutenção anual com sistema hidráulico				
Descrição		Dados		
Item	Substituição e ou recuperação dos componentes	Quant.	Custo Unit. (R\$)	Custo Total (R\$)
1	Bomba hidráulica	1	R\$ 1.100,00	R\$ 1.100,00
2	Cilindro hidráulico	1	R\$ 650,00	R\$ 650,00
3	Óleo hidráulico UNIVIS N46 Mobil	80	R\$ 23,00	R\$ 1.840,00
4	Válvula direcional duplo solenóide 24VCC	1	R\$ 450,00	R\$ 450,00
5	Filtro de aspiração	1	R\$ 150,00	R\$ 150,00
6	Mangueiras hidráulicas	2	R\$ 100,00	R\$ 200,00
			Custo anual total	R\$ 4.390,00

Fonte: Autor (2021)

Após feito o levantamento de custos do sistema, foi mensurado os custos de perda de produção quando ocorrido problemas hidráulicos com a movimentação dos carros. De acordo com arquivos de paradas, as manutenções corretivas do sistema levavam em média 3:00 horas. Durante as manutenções era comum a substituição de algum componente e o problema não ser resolvido. Considerando um ciclo padrão de forno a perda de produção aproximada é de 1.025m² para solução completa de um problema.

3.3 PROJETO DO SISTEMA DE TRANSFERÊNCIA COM MOTOREDUTOR

3.3.1 Projeto do motoredutor

O projeto de adequação do sistema de transferência de carro *box*, tem como objetivo substituir o acionamento hidráulico e instalar um sistema de movimentação através de motoredutor e corrente de rolos. O motoredutor a ser instalado no sistema foi dimensionado através dos princípios físicos da mecânica. Através da Eq. (1), foi identificado a força resultante do sistema, para isso foi considerado um carro cheio de material e utilizado um dinamômetro identificando a força resultante de 150N para mover o carro *box*. O torque do motoredutor foi identificado através da Eq. (2), considerando uma engrenagem de corrente com raio de 39,25mm. Esse raio da engrenagem, foi considerado para a engrenagem poder se alojar no sistema sem colidir com os outros mecanismos. A relação de velocidade do motoredutor foi utilizado a partir da Eq. (3), mensurando o tempo real de deslocamento do carro através do sistema atual.

Tabela 2: Cálculo para dimensionamento do motoredutor

Dimensionamento do motoredutor	
Descrição	Dados
Força resultante de deslocamento (N)	150
Quantidade de carros na linha	6
Força resultante total (N)	900
Diâmetro da engrenagem (mm)	78,5
Raio da engrenagem (mm)	39,25
Torque exigido pelo sistema (N/m)	35,325
Velocidade do carro <i>box</i> (m/s)	0,12
Rotação do motor na entrada do redutor (rpm)	1720
Rotação de saída necessária do motoredutor (rpm)	29,20
Escolha do motoredutor	
Potência do motoredutor (kw)	0,55
Torque máximo de saída (N/m)	182
Fator de segurança (fb)	1,2

Relação de velocidade (I)	58,6
Rotação de saída (rpm)	29,86
Forma construtiva	M1
Motoredutor de Engrenagens Cônicas	KA37 DRS71M1

Fonte: Autor (2021)

3.3.2 Projeto de engrenagem e corrente

Para a movimentação do sistema pretende-se utilizar dois eixos fixados por mancais e rolamentos, o eixo motorizado será fixado na saída do motoredutor e o eixo movido será fixado no início da movimentação. Cada eixo será montado uma engrenagem de 8 dentes para a movimentação da corrente de rolos. Nessa corrente será afixado ao mecanismo que puxa os carros *box*. Para o dimensionamento da corrente e engrenagem foram utilizadas as equações Eq. (4), e Eq. (5). O comprimento da corrente para a movimentação do sistema foi projetada através da Eq. (6).

Tabela 3: Cálculo das engrenagens e corrente de rolos

Dimensionamento da corrente	
Descrição	Dados
Potência do acionamento (Kw)	0,534
Potência do acionamento (Cv)	0,715
Fator de serviço	1,0
Potência do projeto (Cv)	0,715
Força resultante (Kgf)	90,00
K1 (fator de correção número de dentes)	0,53
K2 (fator de correção número de correntes)	1,0
P (capacidade de carga de corrente simples)	2,88
Potência da corrente (CV)	1,53
Modelo da corrente aplicada	DIN 16B1 (Passo 25,40mm)
Passo (mm)	25,4
Carga de ruptura máxima. (kgf)	6000
Comprimento da corrente escolhida	
Engrenagem motora (Dentes)	8
Engrenagem movida movido (Dentes)	8
Distância entre centros (mm)	2980
Comprimento da corrente (Elos)	243

Comprimento (mm)	6163,20
------------------	---------

Fonte: Autor (2021)

3.3.3 Projeto dos eixos

Para o novo projeto de movimentação dos carros *box* foram aplicados dois eixos de movimentação. O primeiro se trata do eixo motorizado. Esse eixo será acoplado a dois rolamentos e será inserido no eixo do motorreductor para fazer o movimento rotacional. No centro do eixo será empregado uma engrenagem para fazer a movimentação do sistema. Na parte movida do sistema será aplicado um eixo suportado por dois rolamentos e mancais. Para aplicação dos eixos foi utilizado a equação que possibilita identificar o diâmetro mínimo suportar a carga do sistema. Para esse projeto utilizou-se aço SAE 1020.

$$r = \left(\frac{Mt \cdot 2 \cdot 1000}{\pi \cdot \tau} \right)^{1/3}$$

Onde:

Mt = Torque de saída do motorreductor selecionado (N/m);

r = Raio mínimo do eixo selecionado (m);

τ = Tensão de cisalhamento do eixo (MPa).

Tabela 4: Propriedades mecânicas para aço utilizado no projeto

Tipo de aço	Limite de Escoamento (MPa)	Resistência a Tração (MPa)	Tensão de cisalhamento (MPa)
SAE 1020	350	420	125

Fonte: Autor (2021)

Tabela 5: Cálculo para dimensionamento dos eixos

Dimensionamento de eixos de movimentação	
Descrição	Dados
Tensão de cisalhamento (MPa)	125,0
Torque Máximo do motorreductor escolhido (N/m)	182,0

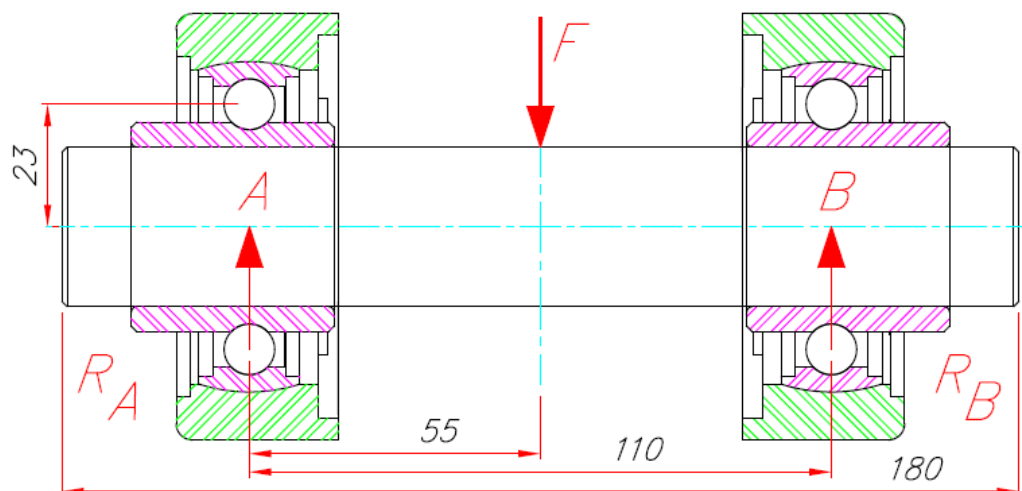
Raio externo do eixo (mm)		9,75
Diâmetro mínimo do eixo (mm)		19,50
Escolha dos eixos		
	Comprimento (mm)	Diâmetro (mm)
Eixo motorizado	353,00	30,00
Eixo movido	180,00	30,00

Fonte: Autor (2021)

3.3.4 Projeto dos rolamentos e mancais

Para o projeto será considerado a utilização de quatro rolamentos e quatro mancais. Os rolamentos a serem utilizados no projeto são rolamentos rígidos de esfera com o anel interno prolongado para facilitar a fixação nos eixos. Esses rolamentos possuem o anel externo convexo. Os mancais utilizados são mancais que possuem um flange com fixação de dois parafusos. Esses mancais serão fixados um em cada lado da estrutura para comportar os rolamentos e conseqüentemente os eixos. No dimensionamento de rolamentos foi necessário identificar a capacidade de carga estática e capacidade dinâmica. Utilizando as reações sobre os rolamentos e a força aplicada sobre o eixo pode ser elaborada uma equação para identificar os esforços. Eq. (8).

Figura 8: Dimensões e esforços sobre rolamentos



Fonte: Autor (2021)

$$\Sigma MA = 0$$

$$F \cdot A - R_B \cdot B = 0$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_A + R_B - Fr = 0$$

Onde:

F = Força resultante no eixo (N);

A = Distância do centro do rolamento ao centro do eixo (mm);

B = Distância do centro do rolamento ao centro do segundo rolamento (mm);

RA = Reação sobre o primeiro rolamento (N);

RB = Reação sobre o segundo rolamento (N).

Para dimensionamento de rolamentos se faz necessário calcular a capacidade de carga dinâmica que os rolamentos suportam através da equação Eq. (9).

$$C = P \cdot \left(\frac{Lh \cdot 60 \cdot n}{10^6} \right)^{1/\rho}$$

Onde:

C = Capacidade dinâmica do rolamento (N);

P = Resultante sobre o rolamento (N);

Lh = Vida útil do rolamento (horas);

n = Rotações no rolamento (rpm);

ρ = Fator utilizado para rolamentos de esfera.

Tabela 6: Cálculo para dimensionamento do rolamento

Dimensionamento de rolamentos e mancais	
Descrição	Dados
Força resultante (N)	900,00
Força resultante (Kgf)	90,00
Distância "a" do rolamento ao centro do eixo (mm)	90,00
Distância "b" do rolamento ao centro do eixo (mm)	180
Rotação (rpm)	29,86
Vida útil (horas)	30000

Rb (Kgf)	45
Ra (Kgf)	45
Capacidade de carga dinâmica (Kgf)	806,22
Capacidade de carga dinâmica (N)	8062,2
Capacidade de carga dinâmica (KN)	8,0622
Mancal e rolamento escolhido	
Mancal FL206	
Rolamento de esferas de contato angular de uma carreira YAT206	

Fonte: Autor (2021)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo será abordado os resultados e as conclusões que foram obtidas depois da montagem e a colocação em funcionamento do novo sistema de movimentação de carro *box*.

4.1 MONTAGEM DA LINHA DE TRANSFERENCIA DOS CARROS *BOX*

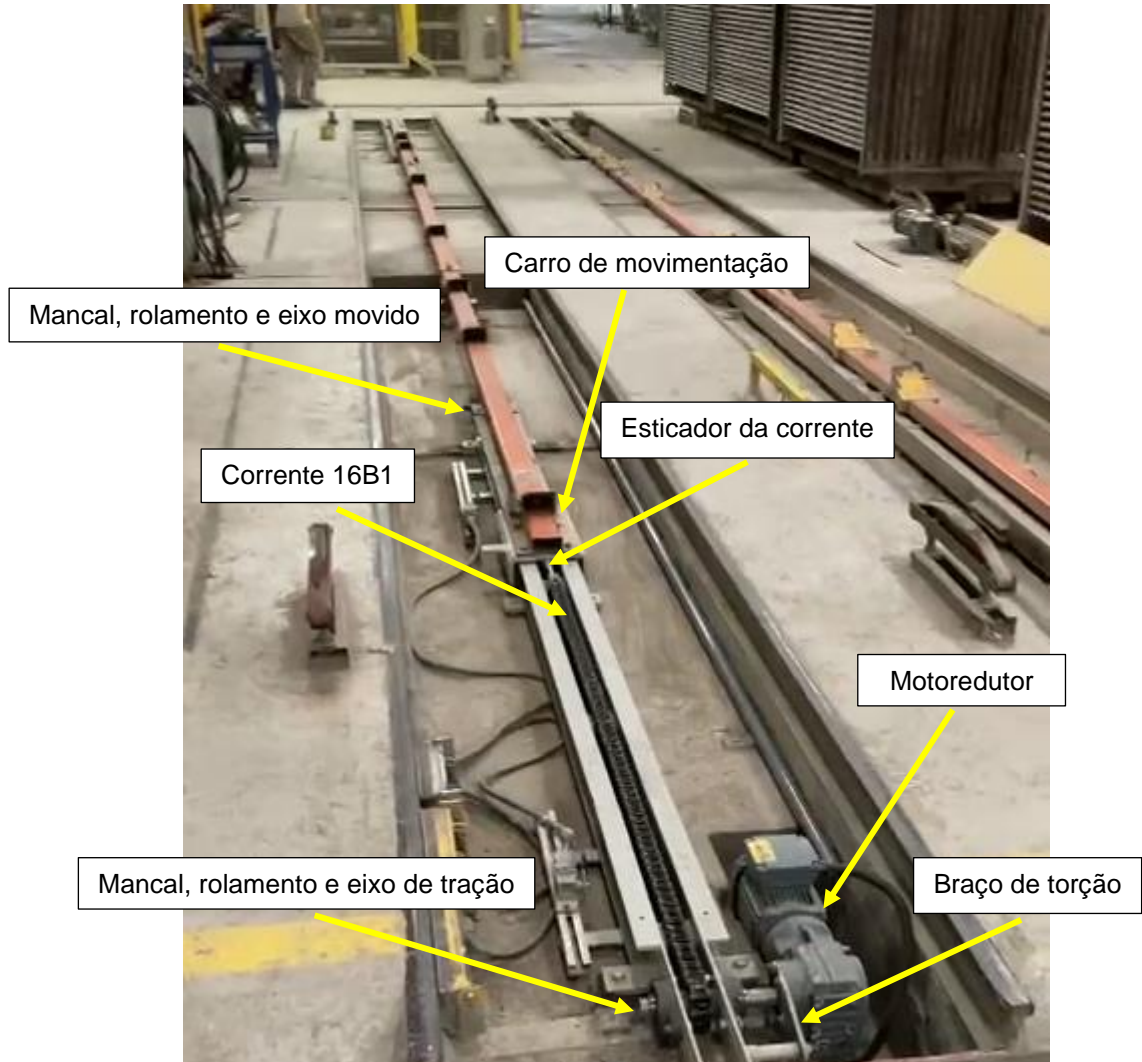
Com o encaminhamento da elaboração do projeto e o recebimento dos itens dimensionados teve início o processo de montagem do novo sistema. O projeto de montagem seguiu o projeto da Fig. 7, onde todos os detalhes foram observados. Iniciou o processo com a montagem da estrutura. Foi utilizado a mesma estrutura que era utilizada com o cilindro hidráulico. Porém a mesma passou por processos de corte e solda. As vigas “U” foram viradas e soldadas para seguir com a nova geometria. Nas extremidades as mesmas foram furadas para recebimento dos mancais de fixação dos rolamentos.

Após a conclusão de montagem das vigas as mesmas foram limpas e pintadas com tinta cinza RAL 7032. Os rolamentos e mancais foram montados e posteriormente fixados na estrutura. As engrenagens de corrente e eixos foram ajustados e montadas na linha juntamente com os mancais.

A corrente foi o próximo item a ser montado, a corrente foi passada entre as engrenagens de corrente no eixo motor e eixo movido. Com a passagem concluída a corrente foi fixada no carro de movimentação. No carro foi instalado dois tirantes de esticamento da corrente. Utilizando uma emenda em cada extremidade o carro foi

acoplado ao sistema.

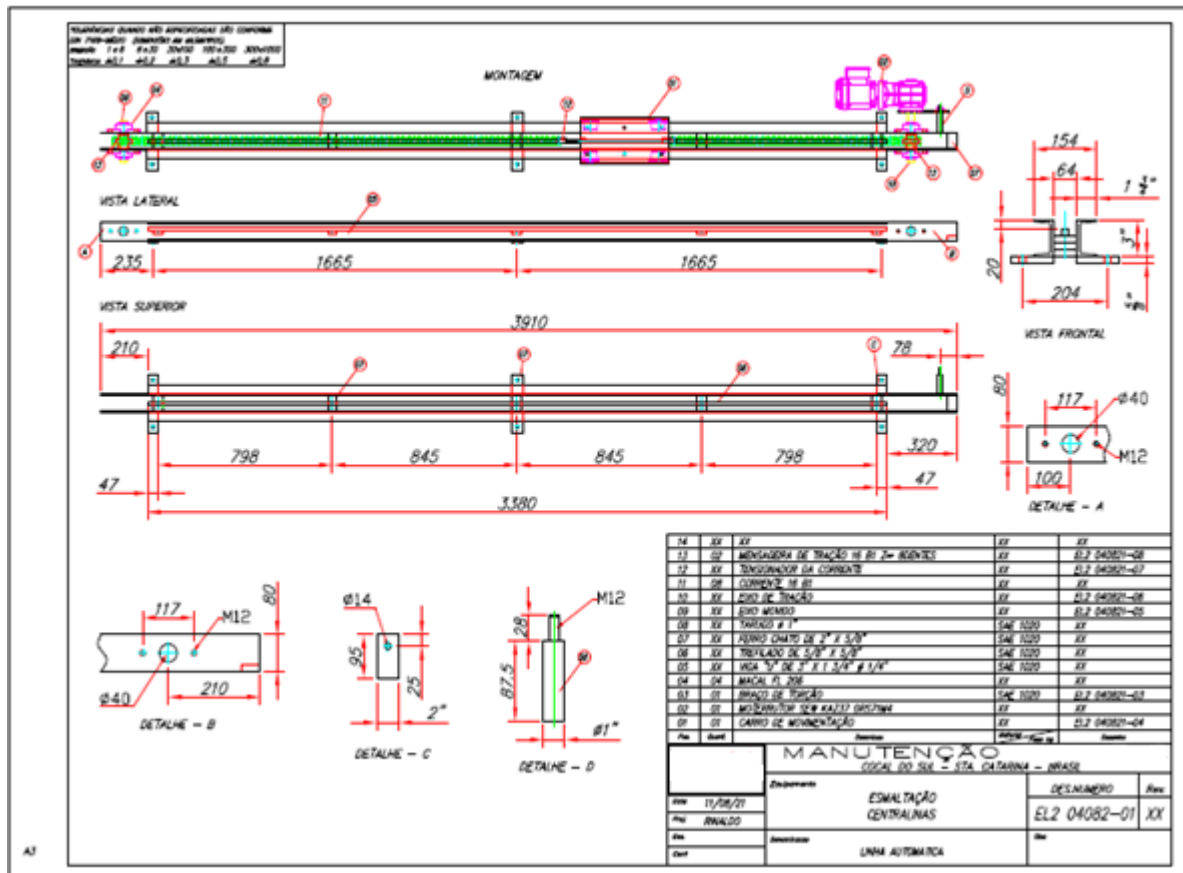
Figura 9: Linha montada com motoredutor



Fonte: Autor (2021)

O braço de torção foi montado no motoredutor, utilizando 4 parafusos allen de fixação M8x30mm. Assim o motoredutor pode ser acoplado ao eixo juntamente com a chaveta de movimentação. A fixação do braço de torção foi feita e com todos os componentes já fixados, foi feito um teste preliminar da linha antes de colocá-la em funcionamento. Foi instalado uma alimentação elétrica trifásica 380V onde através de uma chave de partida reversora foi possível testar os movimentos de avanço e retorno. Nesse momento foi verificado se os componentes não sofreram nenhum tipo de aquecimento ou ruído elevado.

Figura 10: Projeto final da linha com acionamento por motoredutor



Fonte: Autor (2021)

4.2 CUSTOS DA IMPLANTAÇÃO DO PROJETO

Com os estudos e projetos do trabalho concluídos foi iniciado o processo de cotação de serviços e compra do material para montagem da linha. Os itens necessário para fazer usinagem foram encaminhados. Os desenhos foram anexados no sistema Eliane SGIE e passaram por um processo de cotação eletrônica, e posteriormente foram selecionados pelo comprador para seguir no processo de liberação. Os itens comerciais como rolamento, mancal, corrente e os outros itens também foram inseridos no sistema e passaram pelo mesmo processo de cotação e liberação. O motoredutor utilizado no processo não foi necessário a sua aquisição, pois, o mesmo estava disponível em virtude da desativação de equipamento que utilizava o mesmo. O carro de movimentação da linha foi utilizado os mesmos, componentes do sistema hidráulico apenas foi alterado seu modelo. A montagem foi realizada internamente pela manutenção da unidade II.

Tabela 6: Orçamento para aquisição de componentes do projeto

Orçamento do Projeto					
Descrição			Dados		
item	Componentes	Cod. Eliane	Quant.	Custo	Custo total
1	Braço de torção para motoredutor SEW KAZ37	EL2 040821 -03	1	R\$ 67,00	R\$ 67,00
2	Carro de movimentação da linha automática	EL2 040821 -04	1	R\$ 280,00	R\$ 280,00
3	Eixo movido da linha automática	EL2 040821 -05	1	R\$ 169,00	R\$ 169,00
4	Eixo motor da linha automática	EL2 040821 -06	1	R\$ 169,00	R\$ 169,00
5	Esticador da corrente	EL2 040821 -07	1	R\$ 33,00	R\$ 33,00
6	Engrenagem de Movimentação	EL2 040821 -08	2	R\$ 188,00	R\$ 376,00
7	Motoredutor KA37 DRS71M4 0,55kW	-	1	R\$ 2.785,00	R\$ 2.785,00
8	Rolamento UCR 206	-	4	R\$ 34,00	R\$ 136,00
9	Mancal FL 206	-	4	R\$ 16,00	R\$ 64,00
10	Eletrodo 4600		0,5	R\$ 34,90	R\$ 17,45
11	Parafuso zincado M12x40mm		8	R\$ 1,05	R\$ 8,40
12	Parafuso zincado M8x30mm		4	R\$ 0,48	R\$ 1,92
13	Arruela lisa M12 Zincada		8	R\$ 0,25	R\$ 2,00
14	Arruela lisa M8 Zincada		8	R\$ 0,25	R\$ 2,00
15	Porca zincada M12		8	R\$ 0,48	R\$ 3,84
16	Disco de corte 4"		4	R\$ 1,39	R\$ 5,56
17	Emenda para corrente DIN 16B-1	-	2	R\$ 4,09	R\$ 8,18
18	Corrente DIN 16B-1	-	6,16	R\$ 249,00	R\$ 1.533,84
				Total	R\$ 5.662,19

Fonte: Autor (2021)

4.3 RESULTADO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Conforme mencionado no início do trabalho a redução nos custos de manutenção e paradas não programadas seriam os pilares para a implantação do

projeto. Também foram abordados outros temas que poderiam agregar melhores aproveitamento dos recursos disponíveis. A energia elétrica empregada no sistema também foi um item que apresentou redução de aproximadamente 50% chegando a uma redução anual de R\$ 1.615,68. Esses dados são dados aproximados utilizando as potências dos motores e o custo do KW/h atual (outubro/2021). Abaixo pode ser verificado na Tab. 7, os dados utilizados para comprovar esse resultado.

Tabela 7: Cálculo do consumo de energia elétrica

Consumo de energia elétrica		
Horas		24
Dias		30
Meses		12
KWh (R\$)		0,34
Potência (KW)	Descrição	Custo (R\$)
1,1	Motor utilizado no acionamento hidráulico	R\$ 269,28
0,55	Motor utilizado no acionamento do Redutor	R\$ 134,64
	Redução mensal em energia elétrica	R\$ 134,64
	Redução anual em energia elétrica	R\$ 1.615,68

Fonte: Autor (2021)

4.4 RESULTADO E COMPARAÇÃO DO RUÍDO

Entre os resultados obtidos com a implantação do projeto esta uma possível redução de ruído no setor. Isso porque a bomba de engrenagem mais o ruído da troca de sentido do cilindro encremetam ainda mais ruído no setor. Para comprovar ou não a redução de ruído foi utilizado um sonômetro CRIFFER RBC3. O sonômetro foi posicionado próximo as centrais hidráulicas. Os parametros foram tomadas através de três provas.

- Prova 1 todas as bombas trabalhando e cilindros trabalhando;
- Prova 2 desligando uma bomba hidráulica e um cilindro;
- Prova 3 desligando as três centrais hidráulicas.

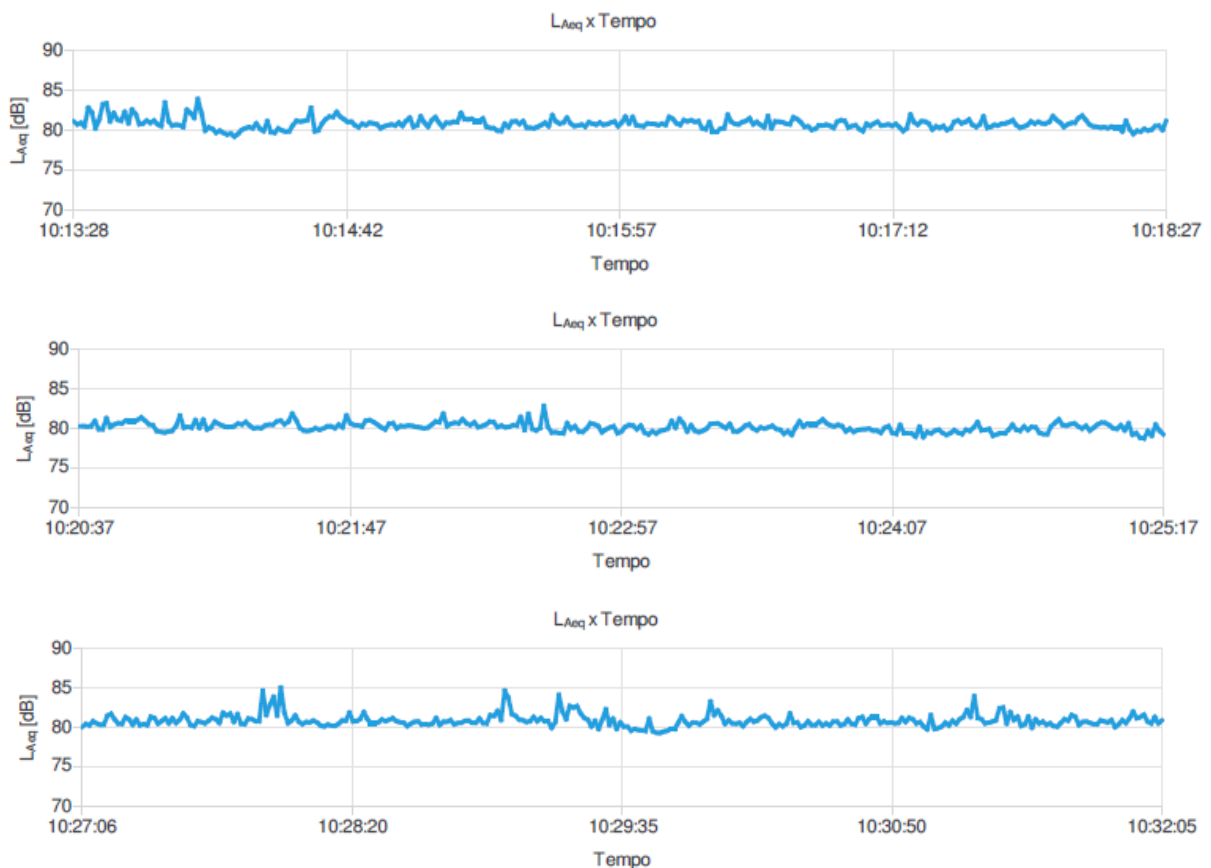
Cada prova teve 00:05 horas de duração onde foi possível os seguinte resultados.

Tabela 8: Avaliação de ruído com sonar

Data: 10/09/2021		Realizado por: Rinaldo Flor Cardoso		
Pontos de medição				
Evento	Nome	L [dB] Aeq	L [dB] AFmax	L [dB] Cpeak
1	P1	80,91	86,46	101,93
2	P2	80,24	86,61	100,58
3	P3	80,99	88,47	103,11

Fonte: Autor (2021)

Figura 11: Gráfico de ruídos respectivamente prova 1, prova 2 e prova 3.



Fonte: Autor (2021)

Após as análises das três provas foi constatado que não teve redução de ruído através da análise do sonômetro. A redução no setor não pode ser percebida pois existem outros fatores no setor que podem distorcer as análises. A parada total do setor não é possível pois pode comprometer a alimentação do forno. O que pode se perceber que quando a bomba é desligada a bomba deixa de fazer o ruído característico de circuito hidráulico em funcionamento.

4.5 RESULTADO DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO

O melhor aproveitamento dos recursos está entre as principais defesas para elaboração desse projeto. Ficou evidente com a instalação do sistema que a redução nos custos de manutenção serão alcançadas. De acordo com os registros de manutenção o sistema hidráulico trabalhando tem custo anual de aproximadamente R\$ 4.390,00. Esses valores já foram explicados nos experimentos. Foi elaborado um plano de manutenção do novo sistema, que praticamente consiste em fazer a lubrificação dos componentes utilizados no projeto. O período e quantidades de lubrificantes utilizados foi considerado com outros equipamentos que já possuem essas características no setor. Custo anual de manutenção do novo sistema é de aproximadamente R\$ 182,76. Em análise do sistema funcionando pode se perceber a robustez dos componentes. Levando em consideração a aplicação do sistema com motoredutor para as outras 3 linhas, pode-se alcançar uma redução aproximada de R\$ 16.996,96 ano. Os custos de parada de forno nas manutenções corretivas não foram mensurados.

Tabela 9: Cálculo do custo de manutenção anual do novo sistema

Custo anual de manutenção do novo sistema				
Item	Quant. de rolamentos/corrente	Período de lubrificação (mês)	Quant. Lubrificante	Total de lubrificante
Rolamentos	4	4	0,01	0,16
Corrente	1	12	0,07	0,8
Lubrificação da corrente				0,6 L
Lubrificação dos rolamentos anual				0,160 Kg
Item	Descrição	Quant.	Custo Unit. (R\$)	Custo Total (R\$)
1	Óleo do redutor Mobil Gear 600 XP220	0,5	R\$ 28,31	R\$ 14,16
2	Graxa Mobil Unirex	0,16	R\$ 135,00	R\$ 21,60
3	Óleo Super moto chain lub Mobil	0,8	R\$ 175,00	R\$ 147,00
			Custo total anual	R\$ 182,76

Fonte: Autor (2021)

5 CONCLUSÕES

Com a instalação do motoredutor para movimentação de carros *box* foi possível alcançar os benéficos sugeridos pela implantação do projeto. A redução anual nos custos de manutenção será de aproximadamente 4% comparados a manutenção do sistema hidráulico. As manutenções corretivas sofreram uma redução desde seu diagnóstico do defeito até a solução do problema.

O aproveitamento dos recursos disponíveis também foram alcançados na implantação do projeto, foi possível a redução de 50% no consumo de energia elétrica com a implantação do motoredutor. A redução de ruído também foi proposta nesse projeto, mesmo não sendo possível comprovar a redução através do sonômetro é perceptível pelos colaboradores do setor uma melhoria no ambiente de trabalho.

O custo de implantação do projeto foi de aproximadamente R\$ 5.662,00 esse valor pode ser amortecido em aproximadamente 11,3 meses. Para isso foi considerado os retornos de manutenção e energia elétrica. Essa implantação como já mencionada pode ser aplicada para outras linhas, podendo aumentar ainda mais os benefícios da instalação do projeto.

Analisando o funcionamento do sistema foi possível comprovar que o dimensionamento dos componentes foi assertivo pois em funcionamento não foi percebido nenhum tipo de problema na movimentação dos carros. Mesmo sendo pouco tempo do sistema em funcionamento é possível dizer que os problemas de manutenção nessa linha serão mínimos.

REFERÊNCIAS

ANFACER. Setor Cerâmico Brasileiro: **Anfacer**, 20 de jun. de 2018. Disponível em: <<https://www.anfacer.org.br/.shtml>>. Acesso em: Abril de 2021.

ENGETELES. Manutenção planejada: **Engeteles**. 17 de jan. de 2017 Disponível em: <https://www.engeteles.com.br/serie-tpm-pilar-2-manutencao-planejada/.shtml>>. Acesso em: Abril de 2021.

HALLIDAY, David, RESNIK Robert, KRANE, Denneth S. Física 1, volume 1, 8 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

HIBBELER, R.C. “**Dinâmica: Mecânica para engenharia**”. Tradução Jorge Ritter et al. 12 ed. São Paulo (SP): Person Prentice Hall, 2011

MELCONIAN, Sarkis. **“Fundamentos de elementos de máquinas: Transmissões, fixações e Amortecimentos”**. et al. 1 ed. São Paulo: Érica, 2015

Melconian, S., **“Mecânica técnica e resistência dos materiais”**, Ed. Érica Ltda, São Paulo, 360p.

MOTT, R.L. **“Elementos de Máquinas: em projetos mecânicos”**. Tradução Poliana Magalhães Oliveira e Giuliana Niedhardt et al. 5 ed. São Paulo: Person Education do Brasil, 2015

NORTON, R.L. **“Elementos de Máquinas: Uma abordagem integrada”**. Tradução João Batista de Aguiar et al. 2 ed. Porto Alegre (RS): Bookman, 2015

RODEX. Seleção de produtos: **Rodex**. Disponível em: <http://www.rodex.com.br/site/produtos/.shtml>>. Acesso em: Maio de 2021.

SEW. **Seleção de Acionamentos - Métodos de Cálculo e Exemplos**, São Paulo, 2013.

SKF. Rolamentos e acessórios: **SKF**. Disponível em: <https://www.skf.com/br/produtos/rolamentosdeesfera/unidadesflangeadas>. Acesso em: Maio de 2021.