



OTIMIZAÇÃO NO PRODUTO E NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE UMA POLIA DE ALUMÍNIO PARA APLICAÇÃO DE CLIMATIZAÇÃO INDUSTRIAL

Aldreone Librelato Vicente¹

Clauber Roberto Melo Marques²

Anderson Daleffe³

Hadrian Martins⁴

Henrique Cechinel Casagrande⁵

Gilson de March⁶

Jovani Castelan⁷

Resumo: O processo de otimização contempla diversos aspectos relacionados ao projeto em um processo de fabricação, e por esse motivo é de extrema importância que ao realizar uma otimização em um determinado produto seja necessário levar em consideração todas as etapas a qual esse produto é submetido. Pois somente desta forma, será possível alcançar o objetivo final de forma efetiva e sem imprevistos, minimizando possíveis falhas nos processos de fabricação. O presente trabalho tem como objetivo descrever os aprimoramentos que foram realizados no planejamento do processo produtivo de uma polia de alumínio para aplicação na área de ventilação e climatização industrial, produzida pela empresa Fundação Mademil localizada em Nova Veneza no Distrito Industrial do Caravaggio. Fazendo o uso do software de modelamento 3D SolidWorks®, foi possível alterar as características construtivas do produto obsoleto, e projetar um novo modelo capaz de suportar as mesmas condições de trabalho, visando um custo de processo menor. O real ganho para a empresa não foi sobre o valor agregado no produto otimizado, pois o tempo de fabricação e o peso do item se mantiveram bem próximos ao do produto obsoleto. A principal justificativa para que a otimização tenha sido aprovada foi a do ganho de tempo nas etapas de fabricação, com isso serão apresentadas as alterações que foram realizadas nos processos de fabricação e as principais divergências entres os produtos.

Palavras-chave: Otimização de produto. Otimização de processo. Redução de custo. Viabilidade técnica.

¹ Tecnólogo em manutenção Industrial. E-mail: aldrenelibrelato01@gmail.com

² Prof. do Centro Universitário Unisatc. E-mail: clauber.marques@satc.edu.br

³ Prof. do Centro Universitário Unisatc. Email: anderson.daleffe@satc.edu.br

⁴ Graduando em Eng. Mecânica. Email: hadrian.martins@satc.edu.br

⁵ Mestrando em Eng. Metalúrgica. Email: henrique_cechinel@hotmail.com

⁶ Prof. do Centro Universitário Unisatc. Email: gilson.march@satc.edu.br

⁷ Prof. do Centro Universitário Unisatc. Email: jovani.castelan@satc.edu.br



1 INTRODUÇÃO

Tendo como base que o estudo de caso é uma estratégia de pesquisa que responde às perguntas “como” e “porque”, e que a palavra otimização significa buscar técnicas para seleção das melhores alternativas, buscando sempre o aperfeiçoamento contínuo e com o propósito de alcançar os objetivos desejados.

Assim, surgiu a ideia de apresentar um estudo de caso sobre a otimização de um produto e seus respectivos processos de fabricação que foi realizado na Fundação Mademil.

As perguntas relacionadas ao estudo de caso seriam “como realizar o processo de otimização?” e “porque realizar o processo de otimização?”. As respostas são simples de serem respondidas, porém complexas para serem realizadas. Respondendo o primeiro questionamento: Para realizar uma otimização de um produto ou processo, é necessário possuir um conhecimento amplo de tudo o que será envolvido, porque para melhorar algo primeiramente deve-se entender como é o seu funcionamento e quais são suas limitações.

Contudo, o segundo questionamento é direcionado especificamente para o valor agregado ao produto, pois como o próprio nome diz, a otimização visa melhorar algo já existente. E para aprimorar um produto é necessário buscar alternativas para aperfeiçoar o processo de fabricação, sem que seja reduzido sua qualidade e seu desempenho.

A busca contínua por melhorias no processo produtivo ou em produtos, é um recurso que deve ser utilizado de forma constante e eficaz nas empresas. Dito isto, é possível manter-se em condição de vantagem sobre os demais concorrentes do mercado. Portanto, nesse estudo de otimização, busca-se melhorar um produto que atualmente é fornecido a partir de um conjunto de dois itens, tais como; polia e um mancal de alumínio, transformando-os em apenas um único item.

Todavia, serão apresentados os conceitos dos processos de fabricação, os quais são necessários para produção de uma polia de alumínio. Tais como, fundição seguida de usinagem.



2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

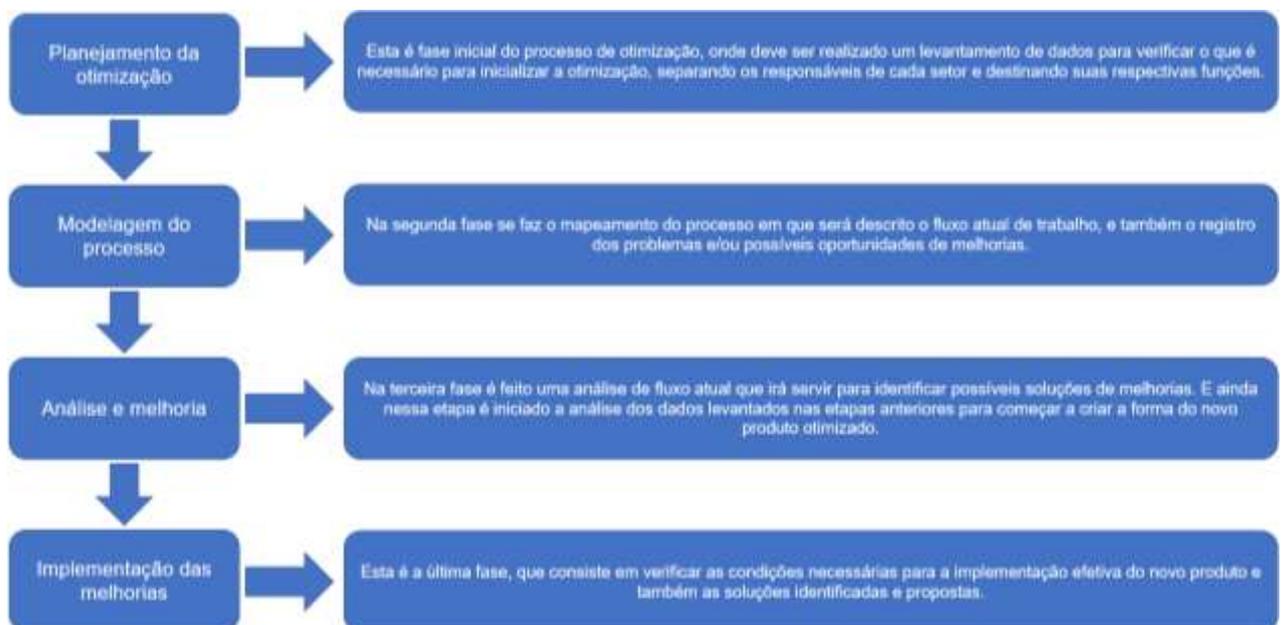
Este tópico traz o referencial teórico utilizado para o desenvolvimento deste estudo. Os temas abordados são: fundição de alumínio, usinagem de alumínio e otimização de produtos e de processos.

2.1 OTIMIZAÇÃO DE PRODUTO E DE PROCESSO

O conceito de otimização é definido por melhorar ou aprimorar algo, aumentando o rendimento e tornando as condições mais favoráveis. Tendo esse conceito bem definido, é possível compreender que a todo momento buscam-se por otimizações para facilitar e agilizar as tarefas.

Segundo o manual de otimizações de processos (2013), a otimização é constituída de quatro etapas, as quais foram adaptadas e são apresentadas em forma de fluxograma na Fig. 1.

Figura 1- Fluxograma de otimização de processo



Fonte: Do Autor



2.2 PROCESSO DE FUNDIÇÃO

Para Casotti, Filho e Castro (2011), a fundição é definida como um processo de fabricação que consiste na confecção de produtos metálicos com estruturas simples ou complexas, fabricados a partir da fusão da matéria prima, quando o material em estado líquido é derramado no interior de um molde, que por sua vez possui uma cavidade na forma do produto final.

Este processo é considerado um dos mais amplos no quesito tipo de matéria-prima, pois é possível utilizar diversas matérias, como por exemplo: aços, alumínio, ferros fundidos, entre outros. Para Baldam e Vieira (2014), os principais processos da fundição são:

- Fundição centrífuga;
- Fundição contínua (ou lingotamento contínuo);
- Fundição no estado semissólido – tixoconformação;
- Fundição em molde de areia (ou areia verde);
- Fundição em moldes permanentes por gravidade (ou fundição por coquilha);
- Fundição de precisão (cera perdida);
- Fundição sob pressão.

2.2.1 Processo de fundição de moldes permanentes por gravidade

Para Kiminame, Castro e Oliveira (2013), o processo de fundição de moldes permanentes por gravidade (também conhecidos como fundição por coquilha) utiliza moldes permanentes, e o preenchimento do material líquido é feito somente com a força da gravidade, ou seja, não é necessário o auxílio de forças mecânicas externas como a injeção e a centrífuga. Nesta situação, os moldes podem ser fabricados de aço, ferro fundido, bronze ou grafite e podem ser utilizados até 250.000 vezes.

Conforme Baldam e Vieira (2014), o processo por moldes permanentes limitam-se a fabricação de peças pequenas, pois o valor de investimento do molde é consideravelmente mais caro quando comparado aos outros processos. Com isso a

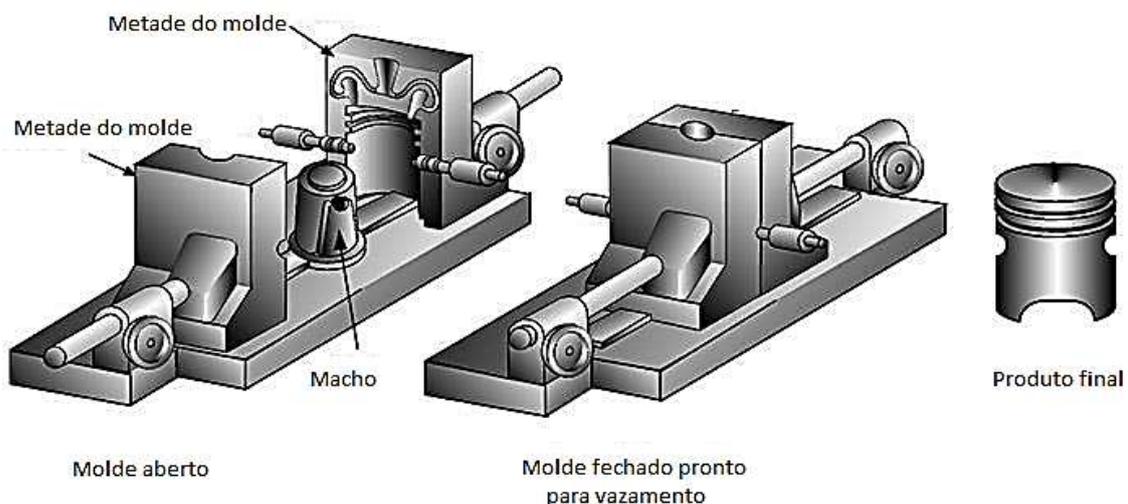
viabilidade está ligada diretamente ao lote de produção, que é a quantidade de peça produzida. Todavia, esse processo pode ser automatizado, assegurando um bom acabamento superficial das peças e, com um lote de produção entre 5 e 100 peças por hora dependendo da estrutura, admitindo também a possibilidade de comportar mais de uma figura (cavidade da peça) por molde.

2.2.2 Moldes permanentes por gravidade

Antes de o material líquido ser vazado no molde (coquilha), o mesmo é pré-aquecido, até que todos os componentes estejam com uma temperatura uniforme, para facilitar o escoamento do líquido no molde e realizar a limpeza por meio de sopros de ar (utilizando o ar comprimido), além da pulverização de elementos lubrificantes e de recobrimento. Quando o líquido se solidifica, o molde é aberto para que a peça fundida seja retirada, e posteriormente fechado para que seja possível iniciar um novo ciclo de fundição (LIVRO FUNDIÇÃO DE PROCESSOS SINÉRGICOS, 2017).

Segundo Kiminame, Castro e Oliveira (2013) o molde é uma matriz composta por componentes que tem a função de realizar o fechamento e a abertura rápida e com precisão. Onde a cavidade (que apresenta o formato da peça) é usinada. Sendo explicado na Fig. 2.

Figura 2 - Principais componentes de um molde permanente (coquilha).



Fonte: Apostila processos metalúrgicos. Aula 9-10 Fundição. Adaptado (2020).



Os moldes permanentes são usados principalmente em ligas metálicas de alumínio, ligas de cobre, magnésio, zinco e ferro fundido. Entretanto, se o molde for utilizado para fazer peças em ferro fundido, a durabilidade do mesmo deve ser considerada devido a elevada temperatura de fusão do material. Os aços não são fundidos em moldes permanentes, devido a sua temperatura de fusão, pois comprometeria a estrutura do molde, o que causaria a inviabilidade do processo (LIVRO FUNDIÇÃO DE PROCESSOS SIDERÚRGICOS 2017).

Dentre as vantagens do processo de fundição utilizando molde permanente, destaca-se a qualidade de acabamento superficial, o controle dimensional, a estrutura mais refinada, e as peças com maior resistência mecânica em função do tempo de solidificação mais rápido, causado pelo contato entre o material líquido e o material do molde.

2.3 LIGA DE ALUMÍNIO: SAE 329

Segundo a Alumiza (2019), a liga de alumínio SAE 329 é apropriada para fundição em coquilha e em areia. Seu uso geralmente é em peças com características mecânicas médias, que não necessitam de uma boa resistência a corrosão e também não exijam estanqueidade. Como vantagem, apresenta boas características de usinagem.

Abaixo, está especificado respectivamente a composição química da liga na Tab.1, as propriedades físicas e mecânicas na Tab.2 e as características tecnológicas na Tab.3.

Tabela 1 - Composição química da liga SAE 329

Elemento	Composição Química	
	Mínimo (%)	Máximo (%)
Silício (Si)	5,50	6,50
Ferro (Fe)		1,10
Cobre (Cu)	3,00	4,00
Manganês (Mn)		0,80
Magnésio (Mg)		0,50
Níquel (Ni)		0,50
Zinco (Zn)		1,00
Estanho (Sn)		0,25
Outros		0,50
Alumínio (Al)		Restante

Fonte: Adaptado de Alumiza (2020)



Tabela 2 - Propriedades físicas e mecânicas da liga SAE 329.

Propriedades físicas e mecânicas	
Peso específico (g/cm ³)	2,75
Intervalo de solidificação (°C)	605 – 510
Coeficiente de dilatação térmica (20 a 200 °C)	0,00
Condutividade elétrica (IACS %)	30,00
Resistência a Tração (kg/mm ²)	16/19 (Coquilha) e 15/17 (Areia)
Alongamento (%)	2,0 / 4,0 (Coquilha) e 1,0 / 3,0 (Areia)
Dureza Brinell (HB)	85 / 95 (Coquilha) e 70 / 80 (Areia)

Fonte: Adaptado de Alumiza (2020)

Tabela 3 - Características tecnológicas da liga SAE329.

Características tecnológicas	
Fluidez	Boa
Resistência a corrosão	Ruim
Usinabilidade	Boa
Temperatura de vazamento (°C)	680 – 750

Fonte: Adaptado de Alumiza (2020)

Com os dados das tabelas acima, verifica-se que a liga de alumínio SAE329 tem as características ideais para ser utilizada como material de composição para as polias de alumínio. Para esta aplicação é necessário que o material seja mais leve, e que tenha características mecânicas medianas, sem a necessidade de suportar rigorosas condições de trabalho.

2.4 PROCESSO DE USINAGEM

De acordo com Silva (2008), o processo de usinagem representa um processo de fabricação mecânica que tem como principal objetivo retirar o excesso de material (sobremetal) existente na peça, utilizando ferramentas específicas para o processo. Com isso, os processos de usinagem conseguem fazer a forma, a dimensão e o acabamento do produto de acordo com o que é solicitado. O sobremetal retirado é chamado de cavaco, que representa uma porção de material que é retirada pelas ferramentas de usinagem.

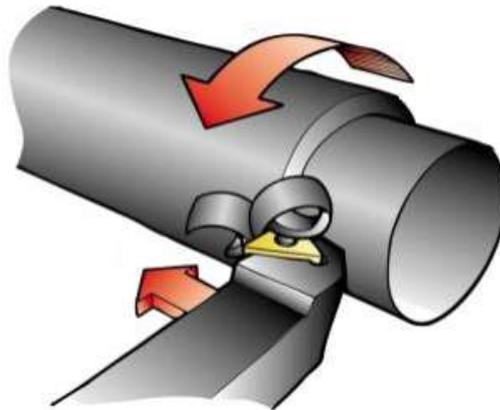
Na atualidade, existem diversos softwares que auxiliam na tomada de decisão para determinar a melhor ferramenta que se adequa ao processo de usinagem. Os softwares são capazes de determinar com precisão o tempo decorrido

deste processo. Contudo, o programa não consegue determinar com exata precisão devido situações inesperadas durante o processo (ZAPPELINI et al, 2023).

Segundo Cavalheiro (1998) a usinagem é considerada o processo de fabricação mais popular do mundo, convertendo os cavacos algo em torno de 10% de toda a produção de metais, além de gerar emprego para dezenas de milhões de pessoas.

As Fig. 3 e Fig.4, demonstram respectivamente a retirada do material (cavaco) de forma didática e como é realizado o processo real.

Figura 3 - Retirada de material no processo de usinagem.



Fonte: Adaptado de Kennametal (2014)

Figura 4 - Retirada de material no processo de usinagem.



Fonte: Femec (2020)



De acordo com Romeiro (2007), o processo de usinagem abrange a metalurgia de diversos tipos de processos, que possuem o objetivo de dar forma e acabamento a um produto. Entre esses processos podemos destacar a fresagem, a perfuração e o torneamento. Cada processo corresponde a um tipo de usinagem que tem como objetivo fazer o melhor acabamento, e produzir o máximo de peças possíveis, podendo ser utilizadas em conjunto ou separadamente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para este estudo observam-se a oportunidade de otimizar um conjunto de itens que atualmente é necessário mais de um produto para formá-lo, sendo uma polia e um mancal, ambos de alumínio (apresentados abaixo pelas Fig. 5 e Fig.6 respectivamente, e sua montagem como conjunto pela Fig.7 e Fig.8) e que há possibilidade de transformá-los em apenas um produto (apresentada abaixo pela Fig.9).

Figura 5 - Polia de alumínio antiga.



Fonte: Do autor (2020)

Figura 6 - Mancal de alumínio antiga.



Fonte: Do autor (2020)

Figura 7 - Montagem mancal polia.



Fonte: Do autor (2020)

Figura 8 - Vista de corte da montagem.



Fonte: Do autor (2020)

Figura 9 - Peça atual.



Fonte: Do autor (2020)

Figura 10 - Vista em corte da peça atual.



Fonte: Do autor (2020)

Conforme observado acima, a estrutura da polia proposta apresenta uma grande semelhança a estrutura do conjunto antigo, pois está sendo desenvolvida com base no projeto anterior, isso deve ao fato de produzir um item novo, semelhante ao existente.

3.1 OTIMIZAÇÕES REALIZADAS NO PROCESSO DE FUNDIÇÃO

O primeiro processo de fabricação de uma polia de alumínio é a fundição, assim, serão apresentadas as otimizações realizadas nesta etapa. Partindo do ponto que são necessários dois ciclos de fundições para fundir o conjunto (polia e mancal), pode-se destacar o principal ponto de diferença entre o conjunto já obsoleto e o otimizado.

Dessa forma, será feita redução de dois ciclos de fundição para um, levando em conta que não se deve considerar apenas a ocupação do maquinário (chamado de coquilhadeira apresentada na Fig.11) que irá ser utilizado a coquilha, mas, contar com os insumos que são necessários para abastecer o setor.

Salienta-se o uso de energia elétrica para o forno de fundição e para as coquilhadeiras, matéria-prima líquida (alumínio), tintas refratárias que auxilia na desmoldagem das peças, entres outros. Ressalta-se o custo com operador e outras despesas que são necessárias para manter o setor de fundição em funcionamento.

Figura 11- Projeto da coquilhadeira x coquilhadeira real



Fonte: Do autor (2020)

Além de reduzir o número de processos de fundição, será possível alterar a forma construtiva da coquilha, sendo considerada nos projetos obsoletos apenas com as partes denominadas como: Base, lateral e tampa. E para o novo projeto otimizado, a coquilha possui além das partes já citadas anteriormente, componentes para fazer a extração da polia. Estes componentes tem a função de facilitar a operação necessária para a retirada da polia da coquilha, que anteriormente era feita através de forma manual pelo operador. Atualmente, com a adição desses componentes extratores, a retirada da polia passou a ser feita pela própria coquilhadeira.

Todavia, conforme aumentado o número de componentes da nova coquilha, tornou-se mais complexa de fazer a montagem, refletindo no tempo de Setup e com que o custo de aquisição aumentasse. Caracterizando como um ponto negativo para a otimização.

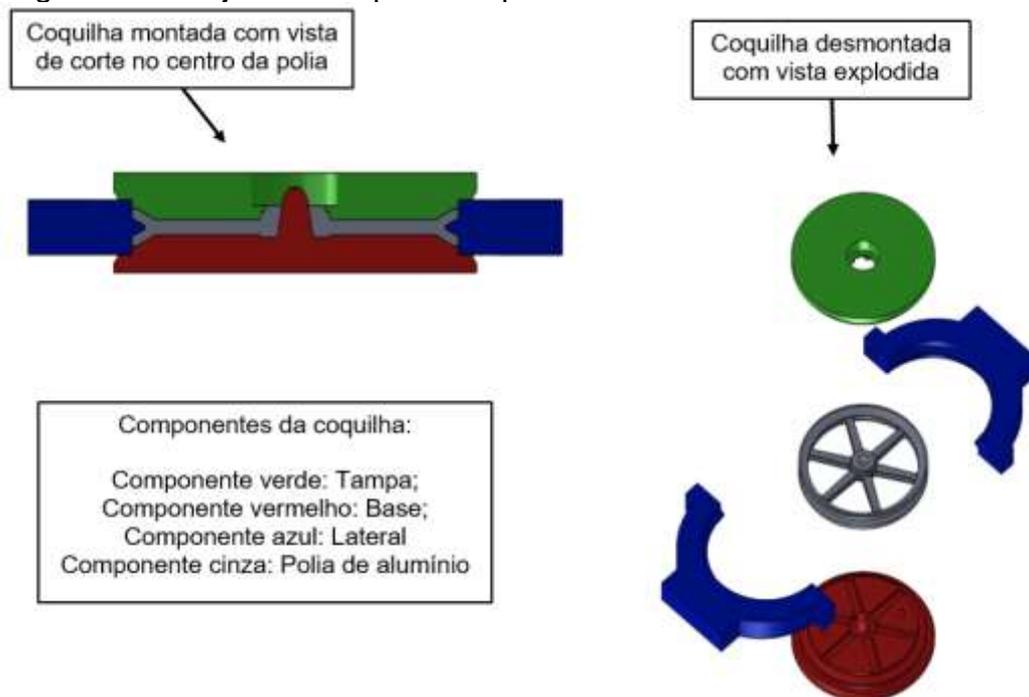
Para melhor entendimento de quais são essas partes que compõem uma coquilha de polia, foram modelados os projetos no SolidWorks®. Para facilitar a identificação de cada componente foram alteradas as cores dos mesmos, salienta-se que as cores são apenas para apresentar de forma didática os componentes que

compõem uma coquilha de polia. O projeto real apresenta as corres que caracterizam os materiais dos componentes, sendo eles de ferro fundido nodular (classe GGG40) ou aço SAE1045.

A seguir, será apresentado as Fig.12 e Fig.13 que correspondem ao projeto da coquilha da polia ultrapassada, e da nova coquilha da polia respectivamente. Não será apresentado nenhuma imagem da coquilha do mancal pois possui a construção sem alterações.

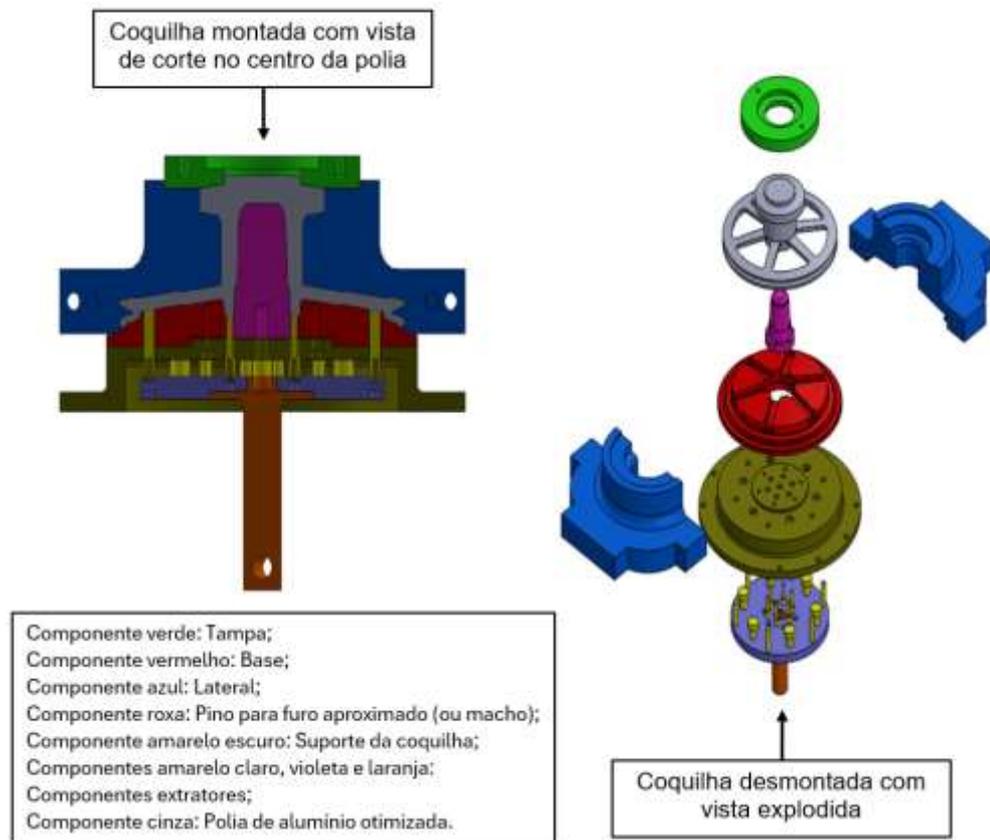
Uma coquilha com os componentes da Fig.12 apresenta o custo médio de aquisição entre 3.000R\$ e 5.000R\$ o que pode variar com o tamanho da peça, pois é necessário levar em consideração a quantidade de material utilizado e o tempo gasto para usinar os componentes. Quanto maior a peça, maior vai ser a coquilha, e conseqüentemente maior vai ser o tempo de usinagem. Esta coquilha tem custo de aquisição de 3.000R\$.

Figura 12 - Projeto da coquilha da polia obsoleta



Fonte: Do autor (2020)

Figura 13 - Coquilha da polia de alumínio otimizada



Fonte: Do autor (2020)

Já para essa coquilha apresentada na Figura 13, com os componentes extratores inclusos, o preço médio de aquisição é entre 5.000R\$ e 8.000R\$. A coquilha demonstrada teve um custo de aquisição de 6.000R\$ reais.

Comparando a forma construtiva das coquilhas, e a quantidade de componentes que cada uma possui, afirma-se que a coquilha da polia otimizada é muito mais complexa do que a coquilha da polia obsoleta. E por esse motivo o Setup de fundição para a nova coquilha é maior.

3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS PARA O SETOR DE FUNDIÇÃO

Anteriormente foram apresentadas as otimizações que serão realizadas no processo de fabricação do setor de fundição, porém a seguir apresentasse os dados do tempo de processo levantado. Ao realizar-se o levantamento, construiu-se uma tabela com os tempos no processo de fundição, dada pela Tab.4



Tabela 4: Tempos para o processo de fundição

Descrição	Mancal	Polia obsoleta	Polia otimizada
Peso (Kg)	1,95	1,1	2,95
Tempo do ciclo de fundição (minutos)	3	2,5	5,5
Tempo de Setup da fundição (minutos)	120	60	150

Fonte: Do autor (2020)

Os tempos para o ciclo de fundição e para o Setup, foram registrados de acordo com o tempo real de fabricação de cada item levantados durante o acompanhamento do processo de fabricação. Além disto, ressalta-se que os pesos especificados na tabela são referentes aos pesos brutos dos itens, ou seja, já com o sobre-metal para realizar a usinagem no próximo processo de fabricação.

3.3 OTIMIZAÇÕES REALIZADAS NO PROCESSO DE USINAGEM

Ao decorrer do processo de usinagem, observou-se uma grande diferença nos resultados em relação a tempo de uso e disponibilidade das máquinas comparando os itens antigos ao item revisado, pois anteriormente era necessário um torno CNC (Centro Numérico Computadorizado) para usinar a polia obsoleta e outro torno CNC para usinar o mancal, além da necessidade de disponibilidade de um centro de usinagem para fazer as furações em ambos os itens.

Ou seja, eram necessárias três máquinas para produção do conjunto. Com a polia otimizada, é utilizado apenas duas máquinas (um torno CNC e uma centro de usinagem).

Com os locais que devem ser usinados definidos, é possível identificar quantos Setups de máquina cada item precisa, e para mostrar quais são esses locais, serão apresentadas de forma individual cada item com as faces indicadas em azul, conforme Fig. 14 e Fig. 15.

Para polia antiquada: É necessário apenas um Setup de máquina no torno CNC e um para o centro de usinagem para usinar esse item. Nas Fig. 14 e Fig.15 pode-se observar os diferentes métodos de usinagem.

Figura 14- Usinagem feita no CNC.



Fonte: Do autor (2020)

Figura 15- Usinagem realizada no Centro de usinagem



Fonte: Do autor (2020)

Para o mancal: São necessários dois Setups de máquina com o torno CNC, e mais um Setup de máquina para o centro de usinagem. Nesse caso, é denominado como “lado 1” o primeiro Setup, que é realizado a usinagem em apenas uma parte do mancal, e “lado 2” para o segundo Setup que será realizado o restante do processo. Finalizando essas etapas no torno CNC, o mancal é destinado ao último processo de usinagem, que é a realizar as furações. Ou seja, apenas para esse item são 3 Setups de máquinas. Nas Fig.16, Fig.17 e Fig.18 observa-se os locais que devem ser usinados conforme descrito acima.

Figura 16- Usinagem L1 no CNC.



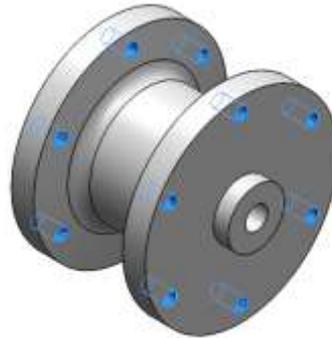
Fonte: Do Autor (2020)

Figura 17 - Usinagem L2 no CNC.



Fonte: Do Autor (2020)

Figura 18 - Usinagem no centro de usinagem.



Fonte: Do Autor (2020)

Para a polia otimizada: A quantidade de Setup de máquina é igual ao do item anterior, conforme pode ser visto nas Fig.19, Fig.20 e Fig.21 respectivamente.

Figura 19 - Usinagem L1 no CNC.



Fonte: Do Autor (2020)

Figura 20 - Usinagem L2 no CNC.



Fonte: Do Autor (2020)

Figura 21- Usinagem no centro de usinagem.



Fonte: Do Autor



Comparando o conjunto antigos e o atual, e com o auxílio das imagens acima, pode ser observado que os locais que devem ser usinados em cada item são praticamente próximos. Porém, como haverá redução em alguns locais que devem ser usinados.

Os locais que não necessitaram de usinagem na nova geometria são: A face do raio estrutural (ou “braço da polia”), a face de trás do mancal, que servia como encosto na parte usinada do raio e uma das abas do canal.

3.4 LEVANTAMENTO DE DADOS PARA O SETOR DE USINAGEM

Após a deliberação na otimização do processo de usinagem, averiguou-se os dados levantados no setor de usinagem, afim de adquirir os tempos de Setup e usinagem das máquinas, as quais são demonstradas pelas Tab.5 e 6.

Tabela 4 - Tempo de preparação do maquinário.

Descrição	Mancal	Polia obsoleta	Polia otimizada
Tempo para o 1º Setup - Lado 1 CNC	60	60	60
Tempo para o 2º Setup - Lado 2 CNC	60	-	60
Tempo para o 3º Setup - Centro de usinagem	40	30	40
Tempo total de Setup para a usinagem (minutos)	160	90	160

Fonte: Do autor (2020)

Tabela 5 - Tempo de usinagem

Descrição	Mancal	Polia obsoleta	Polia otimizada
Tempo de usinagem no 1º Setup	1,5	2,0	3,5
Tempo de usinagem no 2º Setup	3,5	-	2,5
Tempo de usinagem no 3º Setup	2,0	0,5	0,5
Tempo total de usinagem (minutos)	7,0	2,5	6,5

Fonte: Do autor (2020)

Os tempos de usinagem e de Setup foram registrados de acordo com o tempo real de fabricação de cada item levantados durante o processo de fabricação;



4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para analisar a viabilidade do processo em questão, é de suma importância ressaltar que os valores de tempo, matéria prima, mão de obra, dentre outros, influenciam na tomada de decisão. Pois até mesmo a mudança de um simples projeto gera custos devido a reestruturação de maquinários, mão de obra, e etc. A Tab.6, apresenta custos fixos referentes ao processo de manufatura da empresa em questão.

Tabela 6 - Custos fixos da empresa

Descrição	Valor
Matéria Prima (R\$/kg)	R\$ 10,00
Fundição (R\$/h)	R\$ 18,59
Fundição (R\$/operador)	R\$ 3.160,00
Usinagem (R\$/h)	R\$ 21,88
Usinagem (R\$/operador)	R\$ 3.720,00
Carga horaria (h/mês)	R\$ 170,00

Fonte: Do autor (2020)

Convergindo para o segundo fator decisivo, a viabilidade referente aos custos variáveis, das quais são rateados os custos fixos que agregam valor ao processo. Com base na ideia de custo variáveis, destaca-se duas tabelas, as quais referem-se à produção do mancal e polia fabricadas com a nova polia integrada ao conjunto do mancal apresentadas nas Tab.7 e Tab.8.

Tabela 7 – Dados de produção versão separada.

Descrição	Mancal	Polia Obsoleta	Total
Peso (kg)	1,95	1,1	3,1
Setup fundição (min)	120	60	180
Tempo de fundição (min)	3	2,5	5,5
Setup usinagem (min)	160	90	250
Tempo de usinagem (min)	7	2,5	9,5

Fonte: Do Autor (2020)

Tabela 8 - Dados de produção versão nova.

Descrição	Polia Otimizada
Peso (kg)	2,95
Setup fundição (min)	150
Tempo de fundição (min)	5,5
Setup de usinagem (min)	160
Tempo de usinagem (min)	6,5

Fonte: Do Autor (2020)



Ao observar as tabelas anteriores, nota-se que alguns valores são próximos devido as geometrias serem próximas. Entretanto, certos valores demonstram grandes mudanças, tais como o setup na usinagem a qual apresentou uma queda de uma hora e meia.

A fórmula utilizada para encontrar o custo total das peças, é o cálculo utilizado atualmente pelo setor de PCP para fazer os custos dos itens produzidos na Mademil, onde é dada pela Eq.1.

Para o cálculo utilizado o número de peças por lote é cento e cinquenta.

$$P \times CMP + \left(\left[\frac{TF}{60} \right] \times \left[\frac{CFO}{HT} \right] \right) + \left(\left[\frac{TU}{60} \right] \times \left[\frac{CUO}{HT} \right] \right) + \left(\left[\frac{SF}{LP} \right] / 60 \right) \times CHF + \left(\left[\frac{SU}{LP} \right] / 60 \right) \times CHU \quad (1)$$

Onde as siglas significam:

P – Peso da peça;

CMP – Custo da matéria prima;

TF – Tempo de fundição;

CFO – Custo do setor de fundição por operador;

TU – Tempo de usinagem;

CUO – Custo do setor de usinagem por operador;

HT – Horas trabalhadas;

SF – Setup para a fundição;

LP – Lote de produção;

CHF – Custo por hora da fundição;

SU – Setup para a usinagem;

CHU – Custo por hora da usinagem.

Após o cálculo, chegou-se nos seguintes valores representados na Tab.9, a qual demonstra o custo de produção das peças originais e da otimizada.



Tabela 9 - Custos de produção.

Descrição	Valores	
Custo do mancal	R\$	23,62
Custo da polia	R\$	13,03
Custo polia+mancal	R\$	36,65
Custo polia nova	R\$	34,27

Fonte: Do Autor (2020)

Analisando os dados da tabela acima, é possível verificar que houve uma redução de apenas 6,48% no preço final do produto, o que representa uma diferença de R\$ 2,37 por peça. Porém, o principal fator que deve ser levado em consideração é a redução do tempo de utilização dos setores, tanto para o setor de fundição quando para o setor de usinagem.

Essa diferença de tempo será apresentado pela Tab.10 com os valores do tempo de produção considerado um lote de 150 peças de cada item.

Tabela 10 - Tempo de produção do lote.

Descrição	Mancal	Polia obsoleta	Conjunto obsoleto	Conjunto novo
Tempo produção 150 peças (min)	1780	870	2650	2050
Tempo produção 150 peças (h)	29,5	14,5	44	34

Fonte: Do Autor (2020)

A fórmula utilizada referente aos cálculos utilizados pelo setor de PCP para verificar o tempo total de fabricação dos itens especificados na acima é dada pela Eq.2:

$$LP \times (TF + TU) + SF + SU \quad (2)$$

Conforme a Tab. 10, é possível verificar que houve uma redução de 10 horas de trabalho comparando o conjunto anterior e o novo. Com esse tempo ganho, foi possível produzir os itens que estavam na programação, ou apenas deixar a coquilhadeira “parada” sem gerar nenhum custo para a empresa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os dados apresentados no decorrer do trabalho, é possível concluir que o projeto de otimização alcançou bons resultados, atendendo as expectativas de



redução de custo do produto sem prejudicar seu desempenho, suas características e qualidade.

Com o desenvolvimento deste estudo, foi possível adquirir conhecimento a fundo sobre o funcionamento dos setores de fabricação de usinagem e fundição de alumínio, bem como quais são as limitações, possibilitando uma visão mais ampla do fluxo de trabalho. Dessa forma, desenvolvendo a capacidade crítica de observar futuras otimizações, e realizar os desenvolvimentos dos produtos com mais segurança chegando em resultados promissores.

Este estudo teve sua justificativa na importância da utilização da otimização nos processos e produtos industriais, mostrando a importância de melhorar algum aspecto do produto, envolvendo somente este, ou o processo a qual o mesmo é submetido.

REFERÊNCIAS

Alumiza Indústria e Comércio de Metais Ltda. Disponível em:
<https://www.alumiza.com.br/aluminio>. Acessado dia 10/08/2020.

BALDAM, Roquemar, VIEIRA, Estefano: Fundição: Processos e tecnologia correlatados; São Paulo: Érica, 2014, 380p.

CASOTTI, Bruna; FILHO, Egmar; CASTRO, Paulo. Indústria de fundição: situação atual e perspectivas. Rio de Janeiro, BNDS Setorial, n. 33, Mar. 2011, p. 122.
Disponível em:
https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1313/2/BS%2033_final%20A.pdf.
Acessado dia 14/10/2020.

CAVALHEIRO, A. Z. Sistematização do Planejamento da Programação via CAM do Fresamento de Cavidades de Moldes para Peças Injetadas. 1998. 120 f.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

KIMINAMI, Claudio; CASTRO, Walman; OLIVEIRA, Marcelo. Introdução aos processos de fabricação de produtos metálicos; São Paulo : Blucher, 2013, 235p.

KIMINAMI, Claudio; CASTRO, Walman; OLIVEIRA, Marcelo. Introdução aos processos de fabricação de produtos metálicos; São Paulo : Blucher, 2013, p. 46.



Manual de otimização de processos – Estado de Goiás, v.9, p.4. Disponível em <http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/2013-07/manual-de-otimizacao-de-processos---v91.pdf>. Acessado dia 13/08/2020.

ROMEIRO, F. E. Sistemas integrados de manufatura. Apostila da disciplina: Curso EPD-030, Universidade Federal de Minas Gerais: LIDEP, Belo Horizonte, Brasil, v. 1, n. 4, p. 36-69, 2007.

SILVA, M. A. Investigação experimental da formação do cavaco na usinagem do aço ABNT 1045 e do ferro fundido nodular. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

Tâmega, Fábio. Fundição de processos siderúrgicos / Fábio Tâmega. – Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017, p. 71. ISBN 978-85-8482-818-0. Disponível em: <https://docplayer.com.br/156185917-Fundicao-de-processos-siderurgicos.html>. Acessado dia 15/09/2020

Tâmega, Fábio. Fundição de processos siderúrgicos / Fábio Tâmega. – Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017, p. 178-179. ISBN 978-85-8482-818-0. Disponível em: <https://docplayer.com.br/156185917-Fundicao-de-processos-siderurgicos.html>. Acessado dia 15/09/2020.

ZAPPELINI, Emílio; CASAGRANDE, Henrique Cechinel; SOUZA, Marcio Afonso; CAVALER, Luiz Carlos Cesaro; DALEFFE, Anderson. Comparação de tempo pelo processo de usinagem: tempo teórico, tempo em software e tempo prático. Revista Vincci – Periódico Científico da UniSATC, v. 8, n. 1, p. 302-326, jan./jun. 2023. Disponível em: <https://revistavincci.satc.edu.br/index.php/Revista-Vincci/article/view/318/278>.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a empresa Mademil por ter dado a oportunidade de apresentar o presente trabalho de otimização de produto e de processo, que foi realizado dentro da própria instituição. Aos meus colegas de trabalho, que me ajudaram no levantamento de dados e também aos professores coordenadores que me auxiliaram na preparação deste trabalho.

Além de trazer benefícios para a empresa, esse trabalho proporcionou um desenvolvimento profissional que acrescentou experiência para a carreira de trabalho, pois foi possível absorver como é, e como deve ser realizado um processo otimização.