

IMPACTO TÉCNICO-ECONÔMICO DA ALTERAÇÃO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE MACHOS: ESTUDO DE CASO

TECHNICAL AND ECONOMIC IMPACT OF CHANGING THE MANUFACTURING PROCESS OF CORES: CASE STUDY

Jaqueline Pereira Cabral* E-mail: jaqueline.cabral@outlook.com
Gabrielly do Carmo Rodrigues* E-mail: gabii_rodrigues15@hotmail.com
Carlos Roberto Camello Lima* E-mail: carlos.lima@mackenzie.br

*Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, SP

Resumo: A fundição de peças com cavidades requer moldes e machos. Para a fabricação dos machos, diversos processos podem ser aplicados. Este trabalho objetiva estudar a viabilidade da mudança do processo da fabricação de machos de *Hot Box* para *Shell Molding*. É realizado um estudo de caso em uma fundição de latão, buscando maior produtividade e menor perda na produção. Foram realizados levantamentos das perdas na fundição, coletados dados de tempo de ciclo, rendimento e refugo dos machos por etapa do processo. Com esses dados, foi calculado o tempo produtivo perdido em refugo para cada método. Como resultado, foi determinado que a alteração aumentaria a produtividade total da fundição em 5,9 %. Também foi calculada a viabilidade econômica do projeto, levando-se em consideração custos de equipamento, adaptações e treinamentos. Foi concluído que o *payback* desse projeto se daria em trinta e nove meses.

Palavras-chave: Fundição. Moldes. Machos. Moldagem em Caixa Quente; Moldagem em Casca.

ABSTRACT: Casting parts with cavities require molds and cores. For the manufacture of cores, several processes can be applied. This work aims to study the feasibility of changing the core manufacturing process from Hot Box to Shell Molding. A case study is carried out in a brass foundry, seeking greater productivity and less loss in production. Surveys of losses in the foundry were carried out, data of cycle time, yield and scrap of the males were collected per stage of the process. With these data, the productive time lost in refuse for each method was calculated. As a result, it was determined that the change would increase the total foundry productivity by 5.9%. The economic viability of the project was also calculated, considering equipment costs, adaptations and training. It was concluded that the payback for this project would take place in thirty-nine months.

Keywords: Casting. Molding. Cores. Hot Box. Shell Molding.

1 INTRODUÇÃO

A fundição é um processo de fabricação no qual o metal sólido é aquecido até atingir a forma líquida, então escoar para um molde e, através do resfriamento, é solidificado no formato da cavidade do molde, que pode possuir diferentes formas e tipos, até que se conforme e dê origem à peça desejada (GONÇALVES, 2013). Esse processo permite a fabricação de peças variadas como joias, peças de navio, turbinas hidroelétricas e até metais sanitários, como torneiras (BALDAM; VIEIRA, 2014).

A fundição pode ser classificada em dois tipos, a partir de duas categorias de molde: descartável e permanente. O primeiro é destruído a cada peça produzida, o que gera um certo gargalo na produção, enquanto o segundo pode ser feito de metal ou outro material durável, que não é destruído a cada peça produzida (BROWN, 2000).

Para fabricação de um molde para fundição, são necessários o modelo e as caixas de macho. De acordo com Baldam e Vieira (2014, p.25) “o modelo de uma peça a ser obtido em fundição é utilizado para dar formas e dimensões à cavidade do molde e a caixa do macho é utilizada para preparar os machos”. Segundo Groover (2014), machos são um modelo natural do interior das superfícies do componente e usualmente são confeccionados em areia, compactado na forma desejada. Os machos são inseridos na cavidade do molde antes do vazamento do metal líquido, assim o metal se solidifica entre a cavidade do molde e o macho.

Duas das tecnologias utilizadas para fabricação de machos são os processos *Hot Box* e *Shell Molding*. O processo *Shell Molding* apresenta maior resistência mecânica e se baseia na preparação de moldes ou machos com cascas finas formadas da mistura de areia fina e resina termoendurecível. Já no processo *Hot Box*, não é formada uma casca, mas, sim, uma massa sólida da areia com a resina.

Grande parte das fundições de latão utiliza o método *Hot Box* para a produção de seus machos (GONÇALVES, 2013). Porém, a utilização desse método gera um volume significativo de machos mecanicamente frágeis, propensos à quebra, principalmente durante seu transporte e pega (BORGES, 2010). Isso não apenas traz maior custo de refugo, mas pode também impactar na produtividade, gerando diversos desperdícios na fundição. Há estudos sobre o refugo de peças acabadas causadas por esse fenômeno (GONÇALVES, 2013), mas estes não dizem respeito à produtividade perdida.

O método *Shell*, presente em algumas fundições de latão em coexistência ao método *Hot Box*, tem como vantagem sua maior resistência mecânica, apresentando menor incidência de quebra em comparação aos machos *Hot Box* (BORGES, 2010). Porém, justamente devido a sua maior resistência, a destruição do macho *Shell* após o vazamento do metal representa uma grande dificuldade em algumas peças, sendo necessário um processo auxiliar para remoção desses machos, que exige equipamento dedicado.

O objetivo deste trabalho é analisar se a substituição do método *Hot Box* pelo método *Shell* na formação de machos de peças críticas da produção apresenta ganhos financeiros suficientes para justificar a aquisição do equipamento para destruição do macho, além de analisar o impacto produtivo que seria causado por essa alteração.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Fundição e Processos

A fundição é um método milenar de fabricação de peças que evoluiu com a humanidade e hoje é um dos mais versáteis. Além disso, também é um dos métodos mais econômicos de se produzir em série (BALDAM; VIEIRA, 2014).

Esse método pode ser empregado em variados tipos de liga e ser classificada de acordo com o molde utilizado. Os moldes podem ser perecíveis, em que, a cada vazamento, há descarte do molde utilizado. Esse tipo de molde pode limitar a produtividade pelo tempo de sua confecção. Geralmente, são feitos de areia. Já o molde permanente costuma ser feito de metal ou outro material durável e pode ser utilizado diversas vezes, não limitando a produtividade do vazamento (GROOVER, 2017).

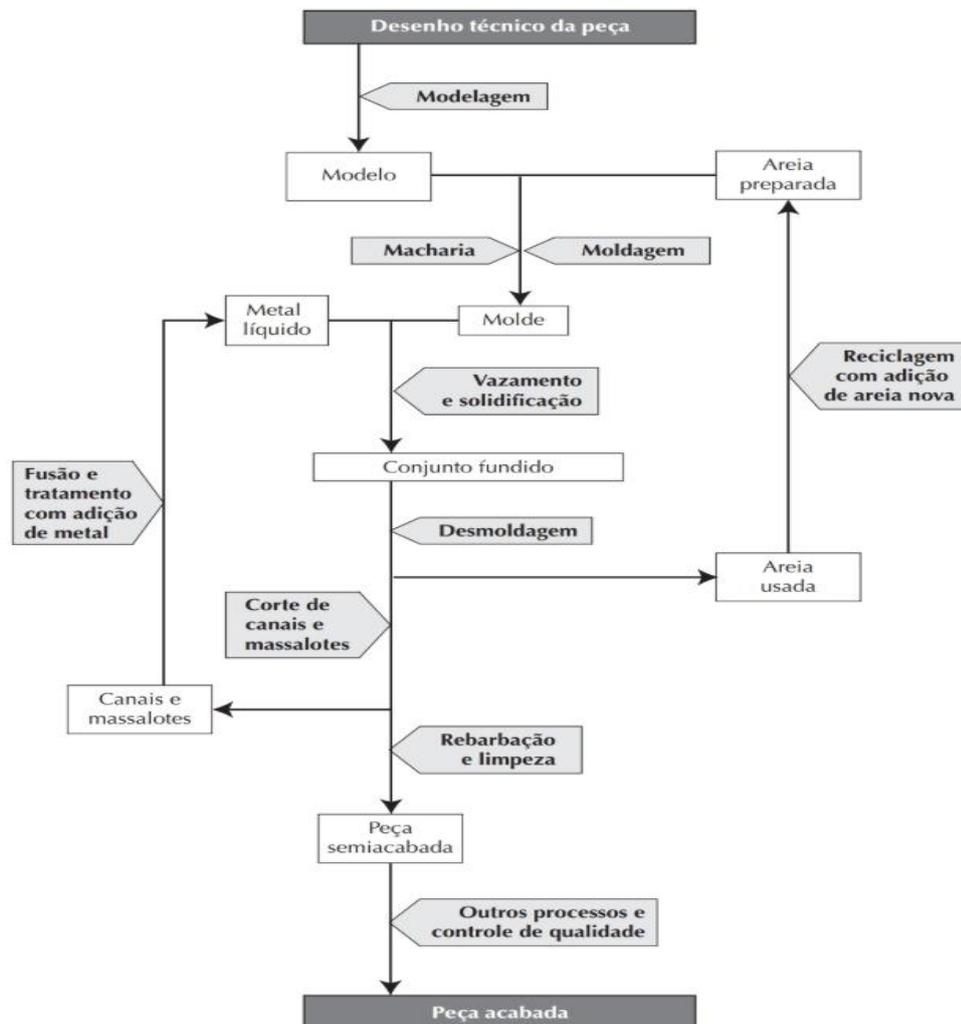
Para se escolher o processo mais adequado a ser utilizado, deve-se considerar o tamanho e geometria da peça, o tipo de liga a ser fundida, as especificações do produto, como acabamento e tolerância dimensional, o porte da produção, o investimento necessário no equipamento e custo de produção (BALDAM; VIEIRA, 2014).

Segundo Kiminami (2013), o processo de fundição envolve diversas etapas, como fusão do metal, preparação de moldes e machos, vazamento do metal no molde, corte de canais e rebarbação. Na Figura 1, é mostrado o fluxograma de uma operação de fundição.

Conforme pode ser observado no fluxograma ilustrado na Figura 1, para preparação do molde, são necessários os machos. Segundo a ASM International (2008), machos são corpos de areia que, ao serem colocados no molde de fundição, fornecem à peça fundida contorno, cavidades, e passagens que não seriam obtidas com o molde somente. Gonçalves (2013) diz que a qualidade da peça fundida é

influenciada pelas condições de fabricação do macho, que pode gerar diversos defeitos na peça final, como rugosidade, porosidade, refervedos e inclusões de areia. Segundo esse autor, há três etapas na fabricação de machos: preparação da areia, processamento dos machos e retoque dos machos.

Figura 1 – Operações básicas para a produção de uma peça fundida



Fonte: Kiminami (2013, p. 30)

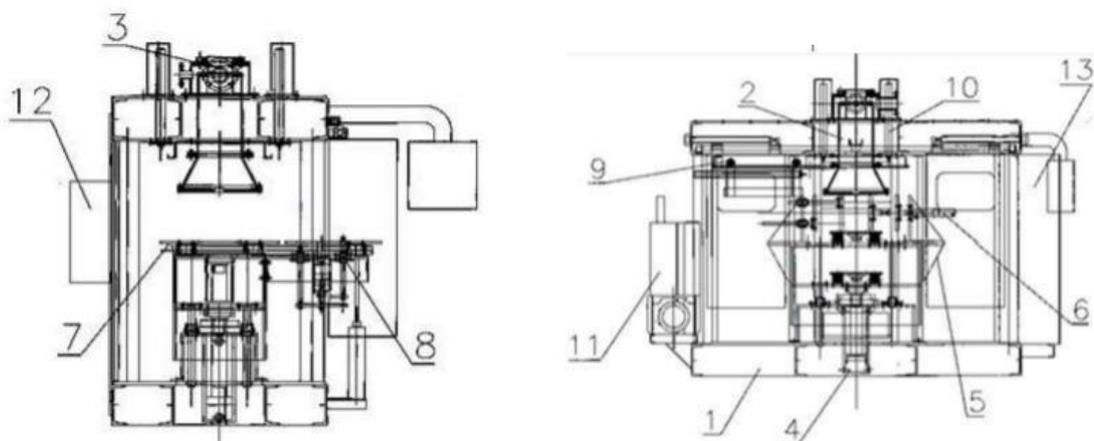
No processamento de machos, o método mais comum utilizado é a partir de uma caixa de macho, geralmente feita de metal ou madeira, que contém uma cavidade com o formato do macho desejado. Essa caixa é preenchida pela mistura de areia e ligantes. A mistura é então endurecida, podendo ser utilizado calor para endurecer (em processos a quente), vapor (em processos a frio), ou a auto regulação por meio de catalisadores líquidos (em processos sem cura) (ASM INTERNATIONAL, 2008). Nessa etapa, há parâmetros de tempo e temperatura a serem controlados. Além de

tais parâmetros, outras condições que podem influenciar na qualidade do macho são limpeza das caixas de macho e alinhamento das meias caixas (GONÇALVES, 2013). Aslanowicz *et al.* (2014) complementam que essa etapa pode ser realizada de modo mecanizado.

Na Figura 2, tem-se um exemplo de esquema de uma máquina sopradora de machos, sendo (1) estrutura da máquina, (2) cabeça de sopro, (3) válvula de sopro, (4) cilindro de elevação de mesa, (5) mesa de caixa de macho, (6) conjunto de abertura, fechamento e engate da caixa de macho, (7) mecanismo de ejeção de macho, (8) exaustor de gás com placa de ejeção, (9) fixação da caixa de macho separada horizontalmente, (10) conjunto de pressão de macho, (11) instalação hidráulica-pneumática, (12) sistema hidráulico, e (13) sistema de controle e fornecimento de energia elétrica.

Seguinte à fabricação, são realizados retoques de acabamento nos machos. Há a rebarbação, onde são removidas as rebarbas geradas pela caixa e demais áreas que existem para facilitar a produção do macho, não fazendo parte do molde da peça fundida (Figura 3).

Figura 2 – Diagrama esquemático de uma sopradora de machos



Fonte: Aslanowicz *et al.* (2014, p. 45)

Depois, em algumas peças, há a pintura, aplicada quando há rechupe devido à contração do material; essa pintura, feita com material refratário, minimiza o defeito. Após essas etapas, os machos são encaminhados ao vazamento, onde são utilizados e extraídos da peça fundida.

Figura 3 – Macho *Hot Box* antes da rebarbação (esquerda) e após rebarbação (direita)



Fonte: Gonçalves (2013, p. 25)

O processo de confecção do macho pode variar. Um desses processos é o chamado *Hot Box*. Existem diversos processos feitos em “caixa quente”, em que caixas de machos são aquecidas e o macho é curado em contato com o padrão; o próprio processo *Shell* é realizado desse modo. Porém, o termo *Hot Box*, quando se fala em contexto de macharia, é cunhado como o processo com resinas a base de furano. A cura desse processo chega a ser quase duas vezes mais rápida que a do processo *Shell* (ASM INTERNATIONAL, 2008).

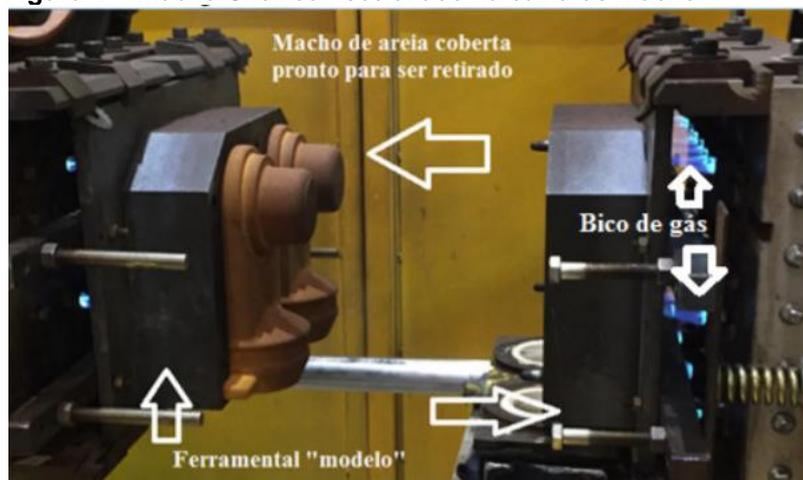
Segundo Brown (2000), nesse processo, a areia é misturada à resina líquida e o catalisador e soprado numa caixa de macho aquecida. O tempo de cura é de 5 a 10 segundos, sendo que se deve aumentar 1 minuto para cada 50 mm de seção, e o tempo de estoque deve ser de 1 a 2 horas (ambientes de alta temperatura diminuem esse tempo). Esse processo tem boa dureza de superfície e boa resistência em seções finas. É um processo muito utilizado na indústria automotiva e na indústria de acessórios sanitários devido a sua aptidão a produções de alto volume (ASM INTERNATIONAL, 2008).

Também há o processo de macharia chamado *Shell Molding* que foi desenvolvido na Segunda Guerra Mundial e ganhou aceitação da indústria entre os anos 1960 e 1970, possuindo esse nome por suas seções finas, que lembram “cascas” de areia (MCINTYRE, 2008).

De acordo com Brown (2000), no processo *Shell*, a areia é pré-revestida por uma resina e um catalisador para formar um material seco com escoamento livre. O tempo de cura está entre 90 segundos a 2 minutos. Quanto maior o tempo de cura, mais grossa a espessura da casca. Os machos podem ser estocados por tempo indeterminado por conta de sua característica não higroscópica (JAIN, 2009), desde

que armazenados secos e não expostos a calor excessivo, que pode causar aglomeração. O transporte dos mesmos também é feito facilmente. Na Figura 4, vê-se um macho *Shell* na caixa de macho, confeccionado e pronto para ser retirado.

Figura 4 – Macho *Shell* confeccionado na caixa de macho



Fonte: Peres (2016, p. 19)

Com a utilização desse processo, os machos se tornam ocos, o que permite excelentes acabamentos da superfície (BALDAM; VIEIRA, 2014). Por conta disso, não é necessário revestimento dos machos oriundos do processo *Shell*. A precisão e reprodução dos detalhes é muito boa por conta das propriedades de escoamento livre da areia pré-revestida. Apesar de ser um processo lento e relativamente caro, tais vantagens o tornam amplamente utilizado na fundição (BROWN, 2000).

De acordo com Gonçalves (2013), uma desvantagem em relação ao processo *Hot Box* é a maior dificuldade de se extrair a areia dos machos *Shell* das peças fundidas. Para a realização dessa extração após a fundição, pode ser utilizado um tambor rotativo (representado na Figura 5), cuja função é desprender o macho da peça. Após o resfriamento da peça, esta é encaminhada até esse tambor. A peça é submetida a atrito para que o macho seja completamente removido (PERES, 2016).

Figura 5 – Tambor rotativo para remoção do macho



Fonte: Peres (2016, p. 20)

Como pôde ser observado, na macharia há a possibilidade de o macho apresentar alguns defeitos e é assim no processo inteiro de fundição. Alguns defeitos externos das peças não interferem diretamente no seu desempenho e podem ser removidos no processo de grenalhagem, rebarbação ou retificação da forma, porém, em alguns casos, é necessário realizar um tratamento adicional, que pode tornar o processo mais caro ou levar a uma diminuição na resistência a tensão da peça. Santana (2016) afirma que, do ponto de vista econômico, peças com defeitos são sempre desfavoráveis, mas que alguns defeitos são aceitos, caso não influenciem as funcionalidades e objetivo final da peça.

2.2 Mapeamento de Processos

De acordo com Rocha, Barreto e Afonso (2017), os processos produtivos muitas vezes se interligam de modo a serem percebidos como um ente único. Porém, analisá-los dessa maneira não permite visualizar detalhes, possibilidades de falhas e oportunidades de melhoria.

O mapeamento de processos tem como objetivo “descrever os processos em termos de como as atividades relacionam-se entre si” (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018, p. 215). Ele é criado para se obter entendimento e domínio do processo, por meio da compreensão de sua lógica e contexto, informações de suas

entradas, saídas e técnicas a serem utilizadas (ROCHA; BARRETO; AFONSO, 2017). Segundo Corrêa e Corrêa (2019), mapeando os processos, é possível aumentar a visibilidade do que ocorre nas operações, permitindo assim a análise de práticas realizadas e eliminação de desperdícios.

Segundo Giraldeli *et al.* (2018), antes de se aplicar uma alteração no fluxo do processo, é importante conhecê-lo, e para isso, os autores utilizaram a ferramenta fluxograma.

Há diversas simbologias que podem ser utilizadas para se desenhar um fluxograma. Uma delas é a utilizada por Vieira (2020), apresentada na figura 6.

Figura 6 – Simbologia de mapeamento de processos

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO
	Operação: ocorre quando se modifica intencionalmente um objeto em qualquer de suas características físicas ou químicas, ou também quando se monta ou desmonta componentes ou partes
	Transporte: ocorre quando um objeto ou matéria prima é transferido de um lugar para outro, de uma seção para outra, de um prédio para outro.
	Espera ou demora: ocorre quando um objeto ou matéria prima é colocado intencionalmente numa posição estática. O material permanece aguardando processamento ou encaminhamento.
	Inspeção: ocorre quando um objeto ou matéria prima é examinado para sua identificação, quantidade ou condição de qualidade.
	Armazenagem: ocorre quando um objeto ou matéria prima é mantido em área protegida específica na forma de estoque.

Fonte: Vieira (2020, p. 2)

Segundo Azevedo (2016), o mapeamento de processo envolve a coleta de dados através de entrevistas, questionários, observações de campo e análise da documentação existente, e deve buscar identificar os participantes do processo e suas responsabilidades e compreender as interfaces entre os diversos participantes.

2.3 Arranjo Físico

O arranjo físico (ou *layout*, em inglês) de uma operação envolve o posicionamento físico de suas pessoas e instalações. Ele determina o modo pelo qual os recursos fluem pela operação, sendo capaz de afetar os custos e eficácia da mesma (SLACK, BRANDON-JONES, JOHNSTON, 2018). Corrêa e Corrêa (2019)

complementam que as decisões sobre o arranjo físico não são tomadas somente quando se projeta uma nova instalação, mas também devem ser reavaliadas sempre que um novo recurso “consumidor de espaço” é adicionado ou retirado, há expansão ou redução da área de instalação, há mudanças relevantes de procedimentos ou fluxos físicos ou mudanças substanciais na estratégia competitiva da operação.

O arranjo físico deve, em sua essência, apoiar a estratégia da organização. Porém, há alguns fatores universais que buscam ser alcançados com um bom arranjo físico, como segurança contra riscos acidentais, minimização de custos de manuseio e trabalho em andamento, proporção de boas condições de trabalho aos funcionários, clareza dos fluxos de materiais e pessoas, redução de tempos de ciclo, entre outros (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018; CORRÊA; CORRÊA, 2019).

2.4 Produtividade

A produtividade pode ser definida como a relação entre os resultados da produção e os recursos produtivos a ela aplicados e pode ser medida em três níveis: da operação, onde reflete o conceito Taylorista de aumento da capacidade produtiva dos recursos envolvidos numa operação; da empresa, onde reflete a relação entre o faturamento e os custos totais; e da nação, onde reflete a renda per capita (CONTADOR, 1994). Laugeni e Martins (2005) afirmam que o aumento da produtividade e o aumento no nível de atendimento ao cliente permitem as empresas a ganhar vantagem competitiva no mercado.

Segundo Laugeni e Martins (2005), a definição mais tradicional de produtividade é a de que ela é a relação entre o valor do produto ou serviço produzido e o custo dos insumos para produzi-lo. Entretanto, afirma que os fatores que determinam a produtividade de uma empresa e merecem destaque são: relação capital-trabalho, escassez de alguns recursos, mudanças na mão de obra, inovação e tecnologia, restrições legais, fatores gerenciais e qualidade de vida. Os autores ainda afirmam que, aumentando-se a produtividade, é possível aumentar a satisfação do cliente, reduzir desperdícios, estoques, preços de venda e prazos de entrega, além de melhor utilizar os recursos humanos.

2.5 Diagrama de Pareto e Curva ABC

O Diagrama de Pareto é uma técnica criada por Vilfredo Pareto, sendo representado por um gráfico de barras verticais que possibilita organizar os dados que são colocados em percentual e em ordem decrescente, a fim de identificar quais problemas devem ser resolvidos com prioridade (PEZZATTO *et al.*, 2018). Ele foi criada por Pareto ao verificar que era possível estabelecer dois grupos de causas para a maioria dos processos, o grupo de causas de maioria triviais, que são a grande quantidade de causas, cerca de 80%, mas que contribuem pouco aos efeitos observados, cerca de 20%, e o outro grupo, chamado de causas de minorias essenciais, que são as pequenas quantidades de causa, representam apenas 20%, mas contribuem com 80% dos efeitos observados. (SANTOS, 2009 *apud* PEZZATTO *et al.*, 2018).

Pinto (2002) *apud* Oliveira (2011) afirma que a curva ABC é baseada no Diagrama de Pareto e trata-se da classificação estatística de materiais, em que se considera a importância dos materiais, baseada nas quantidades utilizadas e seu valor, entre outros. Segundo Souza, Pereira e Jesus (2017), a classificação dos itens na curva ABC se dá conforme a Tabela 1.

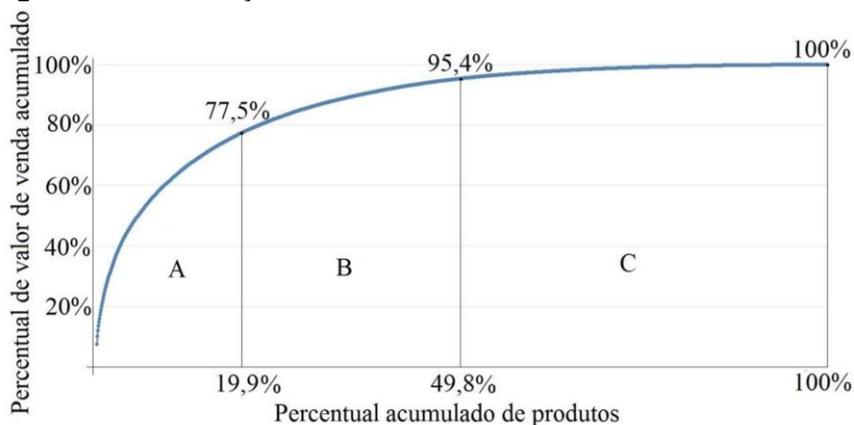
Tabela 1 – Classificação ABC

	Itens em estoque (%)	Valor em estoque (%)	Impacto Econômico
Classe A	10-20	80	Alto
Classe B	20-30	15	Médio
Classe C	50 ou mais	5	Baixo

Fonte: Souza; Pereira; Jesus (2017, p. 683)

No estudo realizado por Aragão *et al.* (2016), foi elaborada a curva ABC para mostrar a relação entre percentual de valor de venda acumulado e percentual acumulado de produto, conforme mostrado na Figura 7.

Figura 7 – Classificação ABC do Percentual de Vendas x Percentual de produtos



Fonte: Aragão *et al.* (2016, p. 6)

2.6 Viabilidade Econômico-Financeira

Rodrigues e Rozenfeld (2015) afirmam que a análise de viabilidade econômico-financeira de um projeto significa estimar e analisar as perspectivas de desempenho financeiro de um produto ou serviço associado ao projeto. Os autores ainda afirmam que, apesar da variedade de métodos que são empregados para se realizar as análises, os métodos financeiros ainda são os mais utilizados como, por exemplo, o fluxo de caixa.

O fluxo de caixa representa uma ferramenta de gestão financeira que realiza projeções futuras de toda entrada e saída de recursos ao longo de um determinado período (ALVES *et al.*, 2017). Para Rodrigues e Rozenfeld (2015), o fluxo de caixa é a definição do fluxo de entradas e saídas de dinheiro durante o ciclo de planejado para o produto e seus resultados econômicos, além disso, afirmam que a avaliação econômica pode ser feita criando-se um fluxo de caixa com as estimativas iniciais de um investimento e retorno financeiro de um projeto.

De acordo com os estudos de Unda *et al.* (2016) e Carvalho *et al.* (2020), para analisar a viabilidade financeira para integração ou substituição de um projeto, é interessante aplicar o método do *payback* descontado, considerando o investimento a ser realizado, os custos gerados, a taxa de desconto por período, e a entrada do fluxo de caixa gerada pelo projeto. O *payback*, segundo Assaf Neto (2003) *apud* Alves *et al.* (2017, p. 192), “consiste na determinação do tempo necessário para que o valor do investimento seja recuperado por meio dos fluxos de caixa promovidos pelo investimento”, ou seja, “é uma forma de avaliar a qualidade do investimento através do tempo que esse investimento leva para devolver o dinheiro investido” (ALVES *et*

al., 2017, p. 191).

Para Rodrigues e Rozenfeld (2015), os critérios de avaliação utilizados no *payback* são:

- a) período do *payback* < período máximo aceitável de recuperação = aceita o projeto;
- b) período do *payback* > período máximo aceitável de recuperação = rejeita o projeto.

Também é possível utilizar o Índice de Lucratividade (IL), que segundo Samanez (2009) *apud* Vergara (2017), reflete a maior ou menor conveniência de um projeto. Ele é o resultado da divisão do valor atualizado dos benefícios pelo valor atualizado dos custos do projeto, incluindo o investimento inicial. Ainda segundo o mesmo autor, os critérios de decisão são:

- a) Se $IL > 1$, o projeto deverá ser aceito ($VPL > 0$).
- b) Se $IL < 1$, o projeto deverá ser rejeitado ($VPL < 0$).
- c) Se $IL = 1$, é considerado como atraente, pois remunera o investidor em sua taxa desejada de atratividade.

3 METODO DE PESQUISA

Adotou-se para a elaboração desse trabalho o método estudo de caso, realizado em uma fundição de latão localizada no município de São Paulo, visando a aprofundar o conhecimento sobre a fabricação de machos e analisar o impacto produtivo de cada tipo de macho utilizado. Segundo Prodanov e Freitas (2013), um estudo de caso consiste em estudar profundamente um ou poucos objetos, coletando e analisando as informações oriundas dele, buscando esclarecer uma decisão, seus motivos, implementações e resultados.

Foram realizadas pesquisas de caráter exploratório, com base em pesquisas bibliográficas sobre os processos encontrados em fundições e ferramentas de análise a serem utilizadas, e descritiva, buscando descrever as observações encontradas no objeto de estudo.

A fundição de latão alvo do estudo faz parte de uma empresa nacional fabricante de produtos sanitários, sendo uma das líderes do ramo no Hemisfério Sul. A fábrica estudada possui cerca de 40 funcionários e produz aproximadamente 200.000 kg de fundidos por mês, sendo esses voltados à fabricação de metais sanita-

rios.

Considerando as etapas do processamento dos machos, foi feito um fluxograma, conforme estudado por Giraldele *et al.* (2018), utilizando os símbolos mostrados no trabalho de Vieira (2020).

Para análise, foi construída uma curva ABC, baseando-se nos estudos de Aragão *et al.* (2016), para verificar quais são os componentes pertencentes à curva A mais adequados para as análises do estudo. A partir de uma amostragem das peças de categoria A, foram coletados os dados de tempo de ciclo, rendimento e refugo dos machos, por etapa do processo. Esses dados foram utilizados para calcular então o tempo produtivo perdido em refugo.

A partir desses dados e da utilização da tarifa de produção média da empresa em estudo, foi calculada a viabilidade econômica da alteração do processo de *Hot Box* para *Shell*, utilizando o método de Fluxo de Caixa Descontado, visto nos estudos de Unda *et al.* (2016) e Carvalho *et al.* (2020). Para análise dos resultados, são considerados os critérios da empresa objeto de estudo para aprovação de projetos industriais, além do método do Índice de Lucratividade, apresentado por Vergara *et al.* (2016).

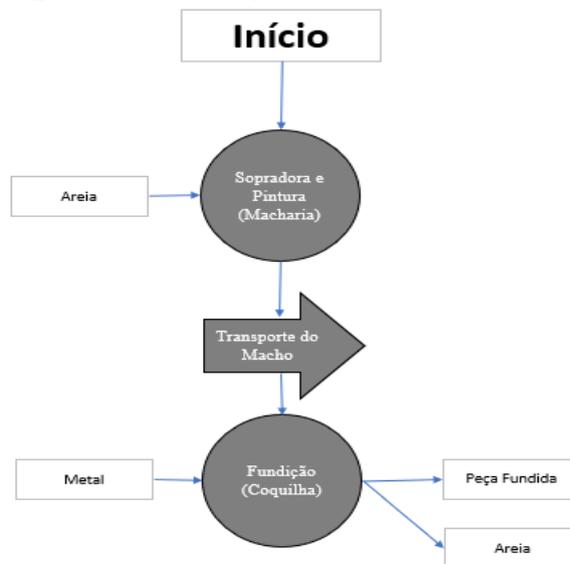
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo atual resumido, pelo qual os machos transcorrem até a fundição em si na indústria objeto de estudo é descrito na Figura 8. Verifica-se que a areia entra para a sopradora, onde será transformada em macho com os aditivos necessários. Após essa etapa, os machos passam por uma pintura. Dessas duas atividades, forma-se a macroetapa “Macharia”. O macho é então transportado para uma coquilha, para realização da fundição. Nessa etapa, há a inserção do macho e do metal líquido para formação do fundido. Após a formação do fundido, a areia e a peça fundida são automaticamente separadas.

Para a alteração estudada, há a necessidade da adição de uma etapa no processo, posterior à coquilha, conforme informado no fluxograma da Figura 9. A etapa de tamboreamento se torna necessária com a substituição do macho *Hot Box* para o *Shell* devido à dureza do último, que dificulta a retirada da areia da peça fundida. O tamboreador, através da vibração, consegue realizar a separação dos dois subprodutos.

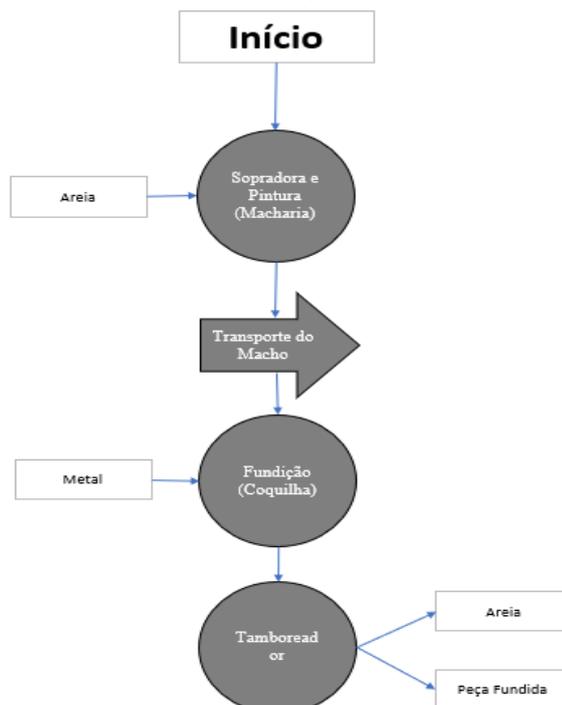
A fundição de latão analisada funciona em 2 turnos de 8,8 h por dia. Para levantamento das peças de maior representatividade produtiva na fundição, foi levantada a Curva ABC, onde alguns itens pertencentes à categoria A, ou seja, as peças que são responsáveis por 80% da produção total, foram utilizadas para as análises posteriores.

Figura 8 – Fluxo do processo atual



Fonte: elaboração própria

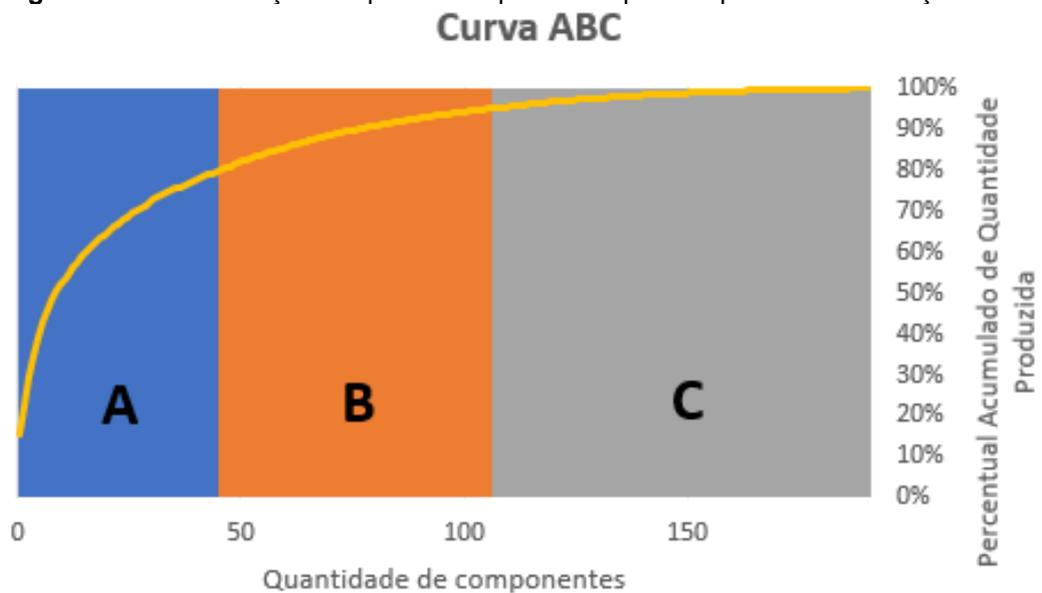
Figura 9 – Fluxo do processo futuro com a substituição do macho *Hot Box* para *Shell*



Fonte: Elaboração própria

Conforme a curva ABC, ilustrada no gráfico da Figura 10, dos componentes produzidos entre junho e agosto de 2020 na fundição estudada, 45 representaram 80% da quantidade total produzida neste período, situando-se na categoria A; 106 representaram 95%, sendo que os 61 não inclusos na categoria A entram na categoria B; e 191 componentes foram produzidos no total, totalizando 100% da produção, sendo os 85 componentes não inclusos na categoria A e B foram inclusos na categoria C. Para análise de tempos de ciclo e refugo médio dos machos, foram selecionadas peças da categoria A.

Figura 10 – Extratificação da quantidade produzida por componente na fundição estudada



Fonte: Elaboração Própria

A produtividade para os 2 turnos está representada por métricas como rendimento, tempos de ciclo e refugo e, também, a quantidade de peças estimadas e realmente produzidas. Apenas o transporte funciona em um turno, por isso as métricas para ele foram calculadas baseadas em 8,8 horas de trabalho. A Tabela 2 mostra as métricas levantadas para cada processo.

A macharia tem o maior rendimento, com 82,7%, porém apresenta a maior perda em segundos por peça, conforme observado na Tabela 2. Foi observada uma taxa de refugo de 27% que também é a mais alta entre os processos, mostrando-se um ponto crítico de atenção na produção.

Tabela 2 – Rendimento, refugo e tempo de ciclo

	Tempo de ciclo médio (s/peça)	Rendimento (%)	Refugo (%)	Quantidade Peças Estimadas	Quantidade Peças Produzidas
Macharia	19,84	82,7	27,0	2.643	1.929
Coquilha	18,86	75,5	13,5	2.537	2.195
Transporte	12,00	81,0	19,0	2.184	1.769

Fonte: Elaboração Própria

O transporte das peças apresenta o rendimento de 81,0% e a menor perda em segundos por peça. Ainda assim, a taxa de refugo fica em segundo lugar, sendo outro ponto de atenção na produção. A coquilha tem o índice de refugo mais baixo, porém seu rendimento é de 75,5%. As perdas em horas também foram calculadas por processo conforme a Tabela 3.

Na Tabela 3, pode-se observar que as horas perdidas totais na fundição pelo processo de macharia *Hot Box* é de 22,35 horas-homem por dia. Na utilização do método *Shell*, as horas-homem perdidas por dia cairiam para 2,94, o que aumentaria a produtividade total da fundição em 5,9%, considerando o período total trabalhado por dia de 352 horas.

Tabela 3 – Horas perdidas por dia para máquinas e mão de obra
Horas-homem perdidas por dia

	<i>Método Hot Box</i>	<i>Método Shell</i>
Macharia	5,90	1,53
Transporte	1,38	-
Coquilha	15,07	-
Tamboreador	-	1,41
Total	22,35	2,94

Fonte: Elaboração própria

4.1 Equipamentos e Análise do Arranjo Físico

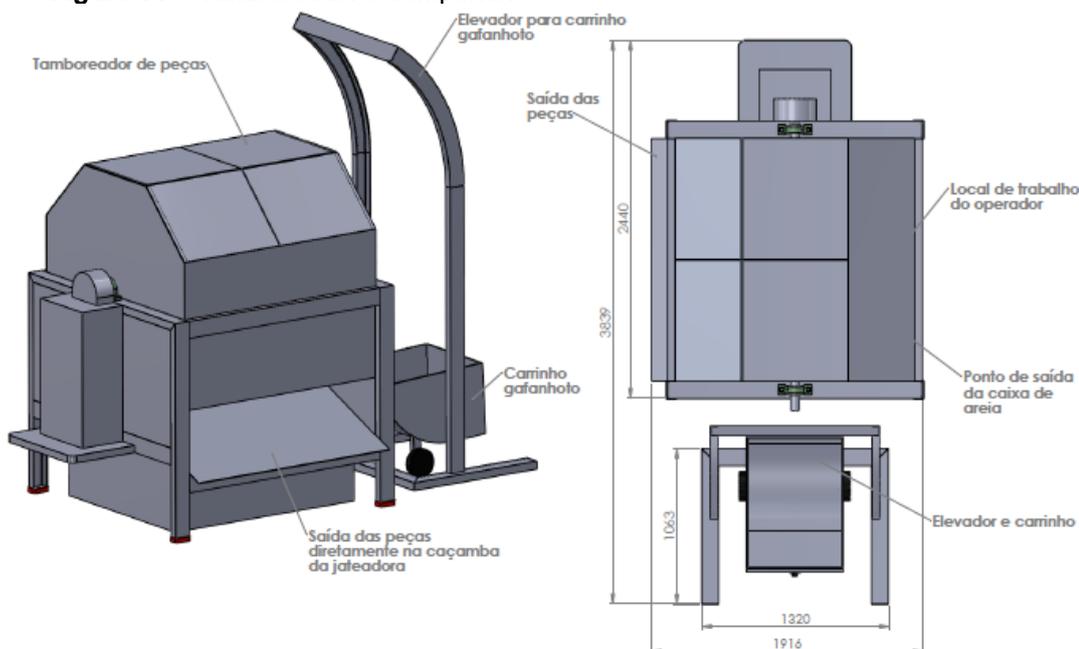
Para implementação do novo método de macharia, conforme citado anteriormente, será necessária a aquisição de um equipamento dedicado chamado tamboreador para o novo processo de tamboreamento. Sua função é desmoldar as peças através de vibrações, pois a areia no processo *Shell* fica muito dura. As especificações, características e custos do equipamento estão descritas na Tabela 4 e Figuras 11 e 12.

Tabela 4 – Dados do Tamboreador

Item	Descrição do material	Valor (R\$)
1	<p>Separador vibratório para tamboreador rotativo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Construído em chapa de aço carbono SAE 1020 • Medindo 800 mm largura x 2.000 mm comprimento • Uma tela de separação em polipropileno • Motor vibratório com 3 CV de potência 	24.675,00
2	<p>Elevador de peças</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fabricado em chapa de aço carbono SAE 1020 • Com guincho elétrico para elevação da caçamba • Inclusa grade de proteção para evitar acesso do operador durante a movimentação da carga • Trava elétrica na porta da proteção, evitando que o sistema funcione com a porta aberta 	29.140,00
3	<p>Painel montado dentro das normas NR 12</p> <ul style="list-style-type: none"> • Incluso suporte para talha para auxiliar na retirada da tampa do tambor. Não acompanha talha. • Equipamento com exaustor de ar para retirar o excesso de poeira de dentro da máquina • A adequação da cabine acústica atual da máquina de jateamento será realizada pelo comprador 	203.300,00

Fonte: Adaptado de Fabricação GV

Figura 11 – Tamboreador e componentes



Fonte: Fabricação GV

Figura 12 – Tamboreador Real



Fonte: Fabricação GV

Como pode ser observado, o equipamento é grande e requer uma posição estratégica dentro da fábrica. Para entender a melhor posição para instalação, foi necessário um estudo de *layout* para que o corredor frontal da fábrica não fosse obstruído e nem o canal de alimentação dele. Após o estudo, a instalação foi designada no local destacado em vermelho conforme mostrado no esquema da Figura 13. Com o tamboreador, será possível obter vantagens como resistência mecânica, vida útil (meses), ter propriedades controladas, melhora no refugo de peças e machos e a separação de areia e pó de jato.

Figura 13 – Arranjo Físico para instalação do tamboreador



Fonte: Adaptado da empresa

Além da aquisição do tamboreador, também haverá custos de reposicionamento das serras de fita, da instalação elétrica e da cabine acústica, no valor total de R\$ 95.000, além de treinamentos posteriores para utilização do novo processo, no valor de R\$1.720. Após a instalação e treinamentos, haverá custos de manutenção de R\$ 3.014,40, R\$ 788,00 e R\$ 344,00 no primeiro, segundo e terceiro meses, respectivamente.

Para utilização do tamboreador, é necessário que um operador realize a alimentação da máquina. A estimativa é de que esse operador dedique 10% do seu turno para operação da máquina a um rendimento aproximado de 80%. Sendo assim, serão aproximadamente 1,408 horas por dia de tempo dedicado ao tamboreador.

4.2 Análise da Viabilidade Econômica

A viabilidade econômica do projeto foi calculada através do *payback* a partir do fluxo de caixa projetado, onde foi estimado um recebimento de R\$ 10.845 a uma taxa de depreciação de 0,80% ao mês. O fluxo de caixa, considerando a depreciação se dá conforme a Tabela 5.

Na Tabela 5, pode-se observar que o *payback* do investimento no projeto de mudança de *Hotbox* para *Shell* se daria no mês trinta e nove após a implantação, com a mudança do fluxo de R\$ 4.086,00 negativos para R\$ 3.851,00 positivos.

Aplicando a fórmula do índice de lucratividade, considerando que o tempo máximo de *payback* geralmente considerado na empresa objeto de estudo é de doze meses, temos o resultado 0,35, que indica que o projeto deverá ser rejeitado.

Para que o projeto fosse considerado como lucrativo, a empresa deveria considerar o período mínimo de trinta e nove meses para ter resultados positivos. Considerando que essa alteração seria um investimento de longo prazo, e que os equipamentos a serem comprados teriam um ciclo de vida de no mínimo dez anos, este prazo seria aceitável em termos financeiros.

Tabela 5 – Fluxo de Caixa do Projeto

Período (Mês)	Retorno Projetado (R\$)	Custo Extra (R\$)	TIR (%) (Depreciação)	Retorno Real	Fluxo Real
Investimento	-	352.115,00	-	-	- 352.115,00
1	10.845,00	4.772,00	0,80	10.759,00	- 346.099,00
2	10.845,00	788,00	0,80	10.673,00	- 336.214,00
3	10.845,00	344,00	0,80	10.588,00	- 325.971,00
4	10.845,00	-	0,80	10.503,00	- 315.467,00
5	10.845,00	-	0,80	10.419,00	- 305.048,00
6	10.845,00	-	0,80	10.336,00	- 294.711,00
7	10.845,00	-	0,80	10.254,00	- 284.458,00
8	10.845,00	-	0,80	10.172,00	- 274.285,00
9	10.845,00	-	0,80	10.091,00	- 264.194,00
10	10.845,00	-	0,80	10.011,00	- 254.184,00
11	10.845,00	-	0,80	9.931,00	- 244.253,00
12	10.845,00	-	0,80	9.852,00	- 234.401,00
13	10.845,00	-	0,80	9.773,00	- 224.628,00
14	10.845,00	-	0,80	9.695,00	- 214.933,00
15	10.845,00	-	0,80	9.618,00	- 205.315,00
16	10.845,00	-	0,80	9.541,00	- 195.774,00
17	10.845,00	-	0,80	9.465,00	- 186.309,00
18	10.845,00	-	0,80	9.390,00	- 176.920,00
19	10.845,00	-	0,80	9.315,00	- 167.605,00
20	10.845,00	-	0,80	9.240,00	- 158.365,00
21	10.845,00	-	0,80	9.167,00	- 149.198,00
22	10.845,00	-	0,80	9.094,00	- 140.104,00
23	10.845,00	-	0,80	9.021,00	- 131.083,00
24	10.845,00	-	0,80	8.949,00	- 122.134,00
25	10.845,00	-	0,80	8.878,00	- 113.256,00
26	10.845,00	-	0,80	8.807,00	- 104.449,00
27	10.845,00	-	0,80	8.737,00	- 95.712,00
28	10.845,00	-	0,80	8.667,00	- 87.045,00
29	10.845,00	-	0,80	8.598,00	- 78.447,00
30	10.845,00	-	0,80	8.529,00	- 69.918,00
31	10.845,00	-	0,80	8.461,00	- 61.456,00
32	10.845,00	-	0,80	8.394,00	- 53.062,00
33	10.845,00	-	0,80	8.327,00	- 44.735,00
34	10.845,00	-	0,80	8.261,00	- 36.475,00
35	10.845,00	-	0,80	8.195,00	- 28.280,00
36	10.845,00	-	0,80	8.129,00	- 20.151,00
37	10.845,00	-	0,80	8.065,00	- 12.086,00
38	10.845,00	-	0,80	8.000,00	- 4.086,00
39	10.845,00	-	0,80	7.936,00	- 3.851,00

Fonte: Elaboração Própria

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve por objetivo avaliar a viabilidade da mudança do processo de macharia em uma fundição de latão de *Hot Box* para *Shell Molding*, através da aquisição de um novo equipamento chamado tamboreador, que teria a função de desmoldar as peças. Com esse equipamento e a mudança para *Shell Molding* seriam esperados melhora na resistência mecânica, melhora no refugo de peças e machos e na separação de areia, já que no processo atual de macharia, *Hot Box*, apresenta uma

taxa alta de refugo em torno de 27% e aproximadamente 22 horas homem perdidas por dia, o que diminui a produtividade da fundição, além de elevar custos com refugo. A alteração abordada apresentaria ganhos de 5,9% em relação à produtividade total da fundição estudada.

A aquisição do tamboreador e todas as adaptações necessárias da fábrica não se mostraram uma solução viável em termos financeiros, visto que a empresa objeto de estudo espera um *payback* de doze meses para aceitar projetos e esta mudança traria retorno em trinta e nove meses, com um índice de lucratividade em 0,35.

Para trabalhos futuros sugere-se uma análise mais profunda na eficiência da fabricação de machos, pois é importante ressaltar que o processo *Shell* é um processo antigo, que em muitas indústrias foi substituído por processos mais modernos e tecnológicos. É importante avaliar se há viabilidade de aplicação destes na fundição em estudo, e se estes trariam um melhor resultado, tanto em termos financeiros quanto produtivos.

Este estudo demonstrou como a alteração de um processo produtivo, mesmo que de um subprocesso, pode impactar financeiramente uma empresa, considerando a eficiência de cada alternativa; e buscou verificar se o custo-benefício da alteração é aceitável para a realização dessa mudança.

REFERÊNCIAS

ALVES, Aline; MATTOS, João Guterres de; AZEVEDO, Iraneide, S. S. **Engenharia econômica**. Porto Alegre: SAGAH, 2017.

ARAGAO, Alef Michael Santos *et al.* Aplicação da Curva Abc em uma Empresa do Setor Atacadista no Estado de Sergipe. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 36., 2016, João Pessoa. [Anais ...]. João Pessoa: [s. n.], 2016. p. 1-10. Disponível em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/8597/2/AplicacaoCurvaABC.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2020.

ASLANOWICZ, Marcin *et al.* Aspects of quality assurance in mechanization of core making process. **Archives of Foundry Engineering**, Gliwice, v. 14, n. 1, p. 43-46, abr. 2014. Disponível em: <http://www.afe.polsl.pl/index.php/en/3975/aspects-of-quality-assurance-in-mechanization-of-core-making-process.pdf>. Acesso em: 28 maio 2020.

ASM INTERNATIONAL. Coremaking. **Casting**, v.15. Ohio: Asm International, 2008. p. 581-597. <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v15.a0005244>.

AZEVEDO, Irene Conceição Gouvêa. Fluxograma como ferramenta de mapeamento de processo no controle de qualidade de uma indústria de confecção. *In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO*, 12., 2016. [Anais...]. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: http://www.inovarse.org/sites/default/files/T16_M_024.pdf. Acesso em: 11 jun. 2020.

BALDAM, Roquemar de Lima; VIEIRA, Estefano Aparecido. **Fundição**: processos e tecnologias correlatas. São Paulo: Érica, 2014.

BORGES, Mário Sérgio Moreira. **Elaboração do dossier do produto e controlo da produção**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2010. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/61537/1/000148579.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2020.

BROWN, John R. **Foseco ferrous foundryman's handbook**. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2000.

CARVALHO, Alisson Lara de *et al.* Viabilidade econômica e ambiental da substituição do gás liquefeito de petróleo a partir da recuperação do calor gerado na produção de ar comprimido. **Research, Society and Development**, [S.L.], v. 9, n. 10, p. 1-12, 19 set. 2020.. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8250>.

CONTADOR, José Celso. Fabril I - Método para rápido aumento da produtividade fabril. **Gestão & Produção**. v. 1, n. 3, p. 217-238, dez. 1994. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X1994000300002>

CORRÊA, Henrique L; CORRÊA, Carlos A. **Administração da produção e operações**: manufatura e serviços, uma abordagem estratégica. São Paulo: Atlas, 2019.

GIRALDELI, Felipe *et al.* Estudo do fluxo de processo para readequação de layout em uma empresa do segmento elétrico. **Exacta**, [S.L.], v. 16, n. 4, p. 79-91, 18 dez. 2018. <http://dx.doi.org/10.5585/exactaep.v16n4.8020>.

GONÇALVES, Marta Sofia Martins. **Estruturação e implementação de um sistema de controlo e optimização do processo numa fundição de latão**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Guimarães, 2013. Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/27484>. Acesso em 02 abr. 2020.

GROOVER, Mikell P. **Fundamentals of modern manufacturing**: materials, processes, and systems. Hoboken: John Wiley & Sons Inc, 2007. 1022 p.

GROOVER, Mikell P. **Fundamentos da moderna manufatura**: Versão SI. Rio de Janeiro: LTC, 2017. 430 p.

JAIN, P. L. **Principles of foundry technology**. New Delhi: Tata McGraw-Hill, 2009. 457 p.

KIMINAMI, Claudio Shyinti; CASTRO, Walman Benício de; OLIVEIRA, Marcelo Falcão de. **Introdução aos processos de fabricação de produtos metálicos**. São Paulo: Blücher, 2013.

LAUGENI, Fernando P.; MARTINS, Petrônio G. **Administração da produção**. São Paulo: Saraiva, 2005. 562 p.

MCINTYRE, Scott. Shell molding and shell coremaking. *In*: ASM INTERNATIONAL. **Casting**. 15. ed. Ohio: Asm International, 2008. p. 598-616. <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v15.a0005252>.

OLIVEIRA, Carla Milanese. **Curva ABC na gestão de estoque**. *In*: ENCONTRO CIENTÍFICO E SIMPÓSIO DE EDUCAÇÃO UNISALESIANO, 3., 2011, Lins. [Anais...]. Lins: UNISALESIANO, 2011. p. 8. Disponível em:

<http://www.unisalesiano.edu.br/simposio2011/publicado/artigo0075.pdf>. Acesso em: 18 de nov. 2020.

PERES, Lucas Gabriel Vieira. **Regeneração de areia coberta de macharia para reutilização como matéria-prima no processo de fabricação de válvulas**. 2016. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo, Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, 2016. Disponível em: <https://biblioteca.univap.br/dados/00002e/00002ede.pdf>. Acesso em: 28 maio 2020.

PEZZATTO, Alan Thomas *et al.* **Sistema de controle da qualidade**. Porto Alegre: SAGAH, 2018.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

ROCHA, Henrique Martins; BARRETO, Jeanine dos Santos; AFFONSO, Ligia Maria Fonseca. **Mapeamento e modelagem de processos**. Porto Alegre: SAGAH, 2017.

RODRIGUES, Kênia Fernandes de Castro; ROZENFELD, Henrique. **Análise de viabilidade econômica**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2015. 17 p.

SANTANA, Adevanil dos Santos. **Identificação dos principais defeitos de fundição através da aplicação de ferramentas da qualidade: estudo de caso em uma fundição de peças metálicas**. 2016. Dissertação (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Faculdade Católica Salesiana do Espírito Santo, Vitória, 2016. Disponível em: <https://www.ucv.edu.br/fotos/files/tcc-engprod-adevanil.pdf>. Acesso em 29 maio 2020.

SLACK, Nigel; BRANDON-JONES, Alistair; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2018.

SOUZA, Wiliam Santos; PEREIRA, Gustavo Alves; JESUS, Willyans Santos. Aplicação da curva ABC em uma empresa de artigos esportivos de Itabaiana-SE: um estudo de caso. *In*: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DE SERGIPE, 9., 2017, Sergipe. [Anais...]. Sergipe: SIMPROD, 2017. p. 683.

UNDA, Andrés Gonzalo Reyes *et al.* Viabilidade econômica da integração de lixiviação em pilhas de minérios de baixo teor a uma unidade industrial de mineração de ouro no urugual. **Tecnologia em Metalurgia Materiais e Mineração**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 174-180, 2016. <http://dx.doi.org/10.4322/2176-1523.1002> .

VERGARA, Walter Roberto Hernandez *et al.* Economic and financial feasibility analysis for the acquisition of a storage soybeans and corn facility. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 41-62, 1 mar. 2017. <http://dx.doi.org/10.15675/gepros.v12i1.1598>.

VIEIRA, Everton Luiz. Proposta de melhoria no layout de um laboratório de análises clínicas utilizando o fluxograma de processo e o diagrama de spaghetti. **The Journal Of Engineering And Exact Sciences**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 0023-0028, 13 jan. 2020. <http://dx.doi.org/10.18540/jcecvl6iss1pp0023-0028>.



Artigo recebido em: 07/03/2021 e aceito para publicação em: 09/09/2021

DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v21i3.4243>