

| | |
|------------|---------|
| N. CLASS. | M 671.2 |
| CUTTER | F 224.0 |
| ANO/EDIÇÃO | 2014 |

CENTRO UNIVERSITARIO DO SUL DE MINAS UNIS
ENGENHARIA MECÂNICA
ANA CAROLINA FARIA

**ANÁLISE DO PROCESSO PRODUTIVO DE RODAS DE ALUMÍNIO APLICANDO
AS FERRAMENTAS DA QUALIDADE COM FOCO NA INVESTIGAÇÃO DE
DEFEITOS DE FUNDIÇÃO**

Varginha
2014

FEPESMIG

ANA CAROLINA FARIA

**ANÁLISE DO PROCESSO PRODUTIVO DE RODAS DE ALUMÍNIO APLICANDO
AS FERRAMENTAS DA QUALIDADE COM FOCO NA INVESTIGAÇÃO DE
DEFEITOS DE FUNDIÇÃO**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Mecânica
do Centro Universitário do Sul de Minas Unis como
pré-requisito para obtenção do grau de bacharel sob
orientação do Prof. Me. Alexandre de Oliveira Lopes.

**Varginha
2014**

FEPESMIG

ANA CAROLINA FARIA

**ANÁLISE DO PROCESSO PRODUTIVO DE RODAS DE ALUMÍNIO APLICANDO
AS FERRAMENTAS DA QUALIDADE COM FOCO NA INVESTIGAÇÃO DE
DEFEITOS DE FUNDIÇÃO**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia
Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas Unis
como pré-requisito para a obtenção do grau de bacharel
pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Kleber Mariano Ribeiro

Rodrigo Cesarino Ferreira

OBS.:

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por me guiar durante esta caminhada, à minha família por sempre estar ao meu lado em todos os momentos e aos meus amigos e colegas pelo companheirismo e paciência.

Grupo Educacional UNIS

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar forças e persistência no atingimento deste objetivo, à minha família pelo enorme carinho e compreensão em todos os momentos, aos meus mestres pela sabedoria com que transmitiram seu conhecimento e aos meus amigos e colegas pela união e dedicação em busca de um objetivo comum.

“Pouco importa o julgamento dos outros. Os seres são tão contraditórios que é impossível atender às suas demandas, satisfazê-los. Tenha em mente simplesmente ser autêntico e verdadeiro.”

Dalai Lama

RESUMO

O trabalho discute a importância da qualidade no processo produtivo de rodas de alumínio, evidenciando sua relevância frente à competitividade do atual mercado automotivo. O foco deste trabalho é analisar detalhadamente o fluxo do processo de fundição, de onde nasce a roda de alumínio, e apresentar a resolução de problemas de qualidade do produto como a porosidade, que podem ser detectados e solucionados visando a melhoria nos processos seguintes. Ressaltando que o primordial para obtenção de uma roda de alumínio que atenda aos requisitos do cliente é obter um produto fundido com alto rigor de controles e monitoramentos que possibilitem este resultado. O trabalho mostra a importância da adição de cada elemento químico durante a fundição do alumínio e quais as alterações ocorrem nas propriedades mecânicas do produto através destas adições. Durante o desenvolvimento do trabalho são apresentadas diversas ferramentas da qualidade que podem ser utilizadas e aplicadas pela gestão e equipe especializada na área de fundição para detecção destes defeitos. São apresentados diversos resultados satisfatórios através de verificações de parâmetros de processos e alterações que visam pequenas melhorias, mas que somadas apresentam resultados significativos.

Palavras-chave: Rodas de alumínio. Processo de fundição. Ferramentas da qualidade.

ABSTRACT

The work discusses the importance of quality in the production process of aluminum wheels, showing their relevance to the competitiveness of today's automotive market. The focus of this work is to analyze in detail the flow of the casting process, where the aluminum wheel is born, and present the solving of quality product problem, as porosity, which can be detected and resolved in order to improve the following processes. Emphasizing that the primary to obtain an aluminum wheel that meets the requirements of the customer is getting a product with a high fused rigor of controls and monitoring that allow this result. The work shows the importance of the addition of each chemical element in aluminum melting and what changes occur in the mechanical properties of the product through these additions. During the development work several quality tools that can be used and applied by management and team specialized in casting area for detection of these defects are presented. Many good results are presented through checks parameters and process changes aimed at minor improvements, but they have added significant results.

Keywords: *Aluminum wheels. Casting process. Quality tools.*

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 01 – Produção do primeiro lingote de alumínio em 1945..... | 14 |
| Figura 02 – Produção do alumínio | 15 |
| Figura 03 – Processo de refinaria do alumínio | 16 |
| Figura 04 – Processo de redução do alumínio..... | 17 |
| Figura 05 – Comparação de propriedades do alumínio..... | 18 |
| Figura 06 – Processo produtivo de rodas de alumínio..... | 21 |
| Figura 07 – Processo de fundição de rodas automotivas..... | 27 |
| Figura 08 – Ciclo PDCA | 30 |
| Figura 09 – Porosidade na tala da roda | 38 |
| Figura 10 – Denominação das partes da roda afetadas por porosidade..... | 38 |
| Figura 11 – Micro atividades do processo de injeção | 39 |
| Figura 12 – Estrutura do processo de injeção..... | 40 |
| Figura 13 – Diagrama de Causa e Efeito..... | 41 |
| Figura 14 – Escorrimento de lubrificante | 42 |
| Figura 15 – Pino de saída de ar do molde..... | 43 |
| Figura 16 – Injeção sem tela filtro..... | 43 |
| Figura 17 – Tela filtro de forma inadequada | 44 |
| Figura 18 – Vantagens e desvantagens desenvolvimento de novo lubrificante | 45 |
| Figura 19 – Resultado desenvolvimento do novo lubrificante | 45 |
| Figura 20 – Vantagens e desvantagens eliminação do chanfro | 45 |
| Figura 21 – Pino antes da modificação e em teste..... | 46 |
| Figura 22 – Pino após modificação | 46 |
| Figura 23 – Pino após modificação definitiva | 47 |
| Figura 24 – Vantagens e desvantagens padronização do filtro | 47 |
| Figura 25 – Padronização das telas filtro | 47 |
| Figura 26 – Antes e depois da alteração do lubrificante..... | 48 |
| Figura 27 – Antes e depois da padronização das telas | 48 |
| Figura 28 – Antes e depois da alteração nos pinos..... | 49 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 01 – Refugo de fundição fevereiro a abril de 2014 | 35 |
| Gráfico 02 – Gráfico de pareto fevereiro de 2014..... | 36 |
| Gráfico 03 – Gráfico de pareto março de 2014 | 36 |
| Gráfico 04 – Gráfico de pareto abril de 2014..... | 37 |
| Gráfico 05 – Estudo das regiões mais afetadas por porosidade/bolha | 40 |
| Gráfico 06 – Refugo de fundição após implementação do projeto | 49 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 O ALUMÍNIO..... | 13 |
| 2.1 História da indústria do alumínio | 14 |
| 2.2 A produção do alumínio..... | 15 |
| 2.3 Características químicas e físicas..... | 17 |
| 2.4 Vantagens do alumínio..... | 18 |
| 3 O PROCESSO PRODUTIVO DE RODAS DE ALUMÍNIO..... | 19 |
| 3.1 O processo produtivo de fundição..... | 22 |
| 3.1.1 Processo de fundição sob pressão ou fundição por injeção..... | 23 |
| 3.1.2 Processo de fundição em coquilha por gravidade | 24 |
| 3.1.3 Processo de fundição em baixa pressão ou coquilha em baixa pressão | 24 |
| 3.1.4 Processo de fundição em areia..... | 25 |
| 3.1.5 Processo de fundição de precisão | 25 |
| 3.2 O processo produtivo de fundição de rodas automotivas | 25 |
| 3.3 Adição de ante-ligas..... | 28 |
| 4 CONTROLE DE QUALIDADE DE PEÇAS FUNDIDAS..... | 28 |
| 4.1 Principais defeitos detectados em fundição..... | 29 |
| 5 FERRAMENTAS DA QUALIDADE | 29 |
| 5.1 Ciclo PDCA | 29 |
| 5.2 5W2H..... | 30 |
| 5.3 Diagrama de Causa e Efeito | 31 |
| 5.4 Brainstormig | 32 |
| 5.5 Apontamento de produção..... | 33 |
| 5.6 Folha de verificação..... | 34 |
| 5.7 Gráfico de pareto..... | 34 |
| 6 ESTUDO DE CASO: POROSIDADE NA FUNDIÇÃO DE RODAS | 34 |
| 6.1 Identificando o problema | 35 |
| 6.2 Observação..... | 36 |
| 6.2.1 O que é porosidade/bolha | 37 |
| 6.2.2 Micro atividades do processo de injeção..... | 39 |
| 6.3 Análise de causa | 41 |
| 6.4 Estudo das soluções | 44 |
| 6.5 Análise dos resultados | 48 |
| 7 CONCLUSÃO..... | 50 |
| REFERÊNCIAS | 51 |

1 INTRODUÇÃO

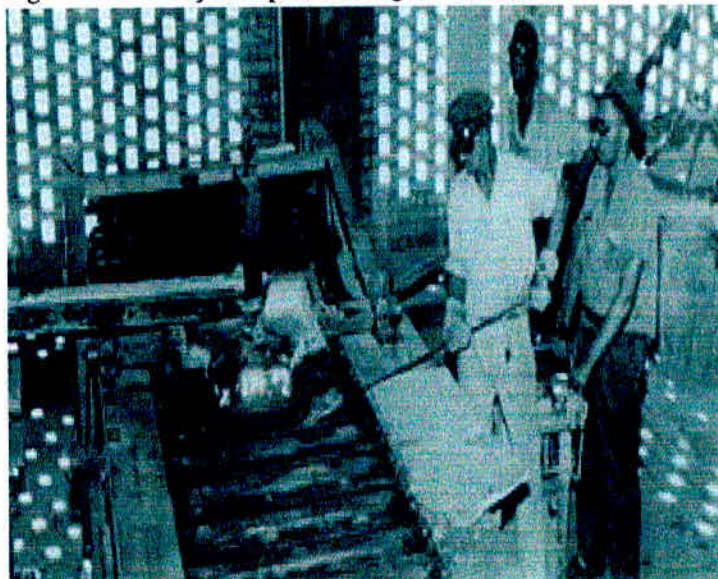
Nos últimos anos tem-se visto um aumento significativo no uso de rodas de alumínio pela indústria automotiva devido às diversas vantagens que vem sendo observadas. Podem-se destacar vantagens significativas como a redução do consumo, maior capacidade de suportar carga, maior leveza, maior eficiência na dissipação de calor e por isso se tornam muito atrativas aos consumidores dos automóveis. Partindo desse pressuposto é definido o tema deste trabalho acadêmico em analisar o processo produtivo dentro de uma empresa automotiva de rodas de alumínio, com foco específico no processo de fundição, utilizando as ferramentas da qualidade para investigar as causas dos principais defeitos detectados e oferecer soluções para melhorias do processo. Torna-se este trabalho de cunho investigativo através de um projeto de pesquisa, visto que serão analisados os controles e monitoramentos do processo de fundição e definidas melhorias que podem gerar resultados significativos.

Analisando o processo produtivo do setor de fundição, tem-se o problema para o projeto de pesquisa definido. Primeiramente atuar em mostrar quais as características o alumínio apresenta na produção de rodas e quais as influências da adição das ante ligas nas propriedades mecânicas do produto final. Além de apresentar como é realizado o controle de qualidade das rodas fundidas, os principais defeitos detectados e as ferramentas da qualidade aplicadas para avaliação e resolução destes problemas, avaliando os resultados atingidos.

O objetivo geral deste projeto de pesquisa é a realização de uma investigação onde seja possível descrever as principais características do alumínio e da influência de adição de ante ligas no processo de fundição e investigar a ocorrência dos principais defeitos. Têm-se como objetivos específicos deste trabalho a tratativa de um dos principais defeitos ocorridos no processo de fundição, a porosidade, e a utilização das principais ferramentas da qualidade para avaliar as causas relacionadas a este problema. A busca em alcançar os devidos resultados, vem para propor as soluções que impactarão diretamente na melhoria da qualidade do processo e do produto, com vista ao atendimento da satisfação do cliente final no que diz respeito à qualidade.

A motivação para execução deste trabalho parte-se de que o uso das rodas de alumínio ainda não exercem total domínio no mercado brasileiro, porém a demanda tem crescido de forma acentuada. E segundo Associação Brasileira do Alumínio (2014), o setor automotivo já se apresenta como a maior demanda de utilização de rodas de alumínio perdendo somente para o setor de construção civil.

Figura 01 – Produção do primeiro lingote de alumínio em 1945



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO, 2014).

2.1 História da indústria do alumínio

Segundo Associação Brasileira do Alumínio (2014), o alumínio foi produzido inicialmente e industrialmente em laboratório. Sendo sua produção em grande escala possível somente a partir de 1886, quando Louis Toussaint Héroult, na França e Charles Martin Hall nos Estados Unidos, obtiveram o metal puro a partir de dissolução eletrolítica de alumina ou óxido de alumínio, em banho de criolita. Hoje o processo é conhecido como Hall-Héroult, ainda é o principal processo de produção de alumínio. Com o passar dos anos a necessidade na fabricação de produtos mais leves, sofisticados e resistentes gerou um crescimento acentuado na indústria do alumínio durante a primeira guerra mundial e a partir deste momento vem ocupando uma posição importante no mercado suprindo praticamente todos os setores da economia.

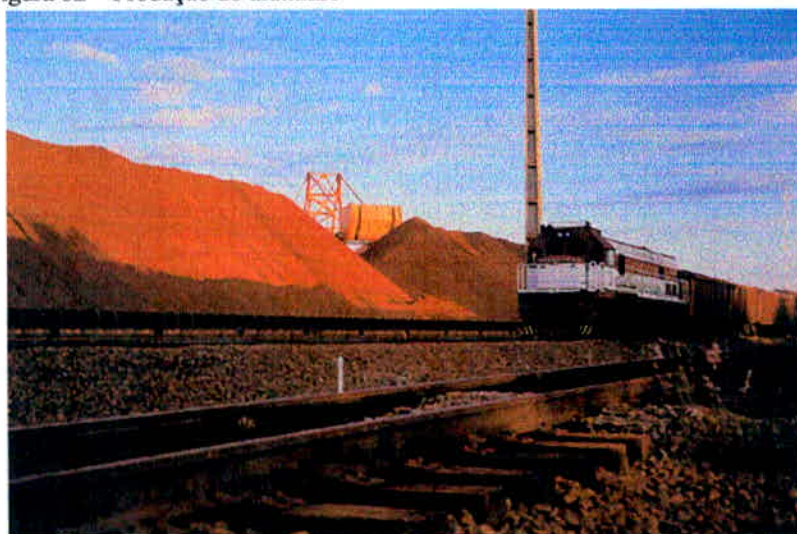
O início da história do alumínio no Brasil foi através da Companhia Paulista de Artefatos de Alumínio, que se instalou em 1917, ano este em que a produção do alumínio atingiu seu primeiro milhão de toneladas mundialmente.

A implementação das primeiras fábricas de alumínio denominado primário no Brasil ocorreu a partir dos anos 1950.

2.2 A produção do alumínio

A obtenção do alumínio é feita através da mineração da bauxita e de outras etapas sucessivas de redução e refinaria. O alumínio não pode ser encontrado de forma direta em estado metálico na crosta terrestre.

Figura 02 – Produção do alumínio



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO, 2014).

Iniciando pelo processo de mineração, podemos verificar que o alumínio é obtido da bauxita, minério que pode ser encontrado nos mais relevantes grupos climáticos: subtropical, tropical e mediterrâneo. Ela deve apresentar no mínimo 30% de óxido de alumínio que possa ser aproveitado para que seja economicamente viável a produção de alumínio.

O processo de mineração pode ser descrito conforme as fases abaixo:

- a) Retirada do solo orgânico e vegetação;
- b) Remoção de camadas superficiais do solo lateritas e argilas;
- c) Beneficiamento começa na britagem, para reduzir o tamanho, segue pela lavagem do minério utilizando água para reduzir o nível de sílica contida na parcela mais fina e posterior secagem.

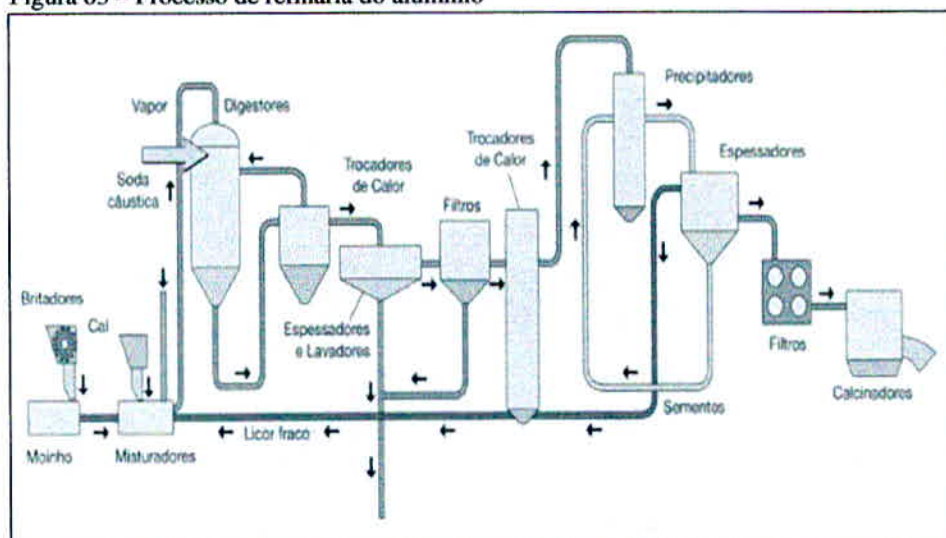
Durante o processo de refinaria, a alumina, além de ser o insumo para a obtenção do alumínio primário, tem várias aplicações dentre elas, a fabricação de materiais refratários,

tratamento de água, uso para polimento e em abrasivos, na produção de velas de ignição entre outros. Bayer é o processo mais utilizado para obter de alumina.

O processo de refinaria pode ser descrito conforme as fases abaixo:

- Dissolução e moagem da alumina em soda cáustica;
- Filtração da alumina para separar o material sólido;
- Para cristalização da alumina é concentrado o filtrado;
- Cristais são secos, precipitados e calcinados para eliminação da água;
- O pó branco de alumina pura é passa pelo processo de redução, onde ocorre a redução eletrolítica, conhecido como Hall-Hérout.

Figura 03 – Processo de refinaria do alumínio

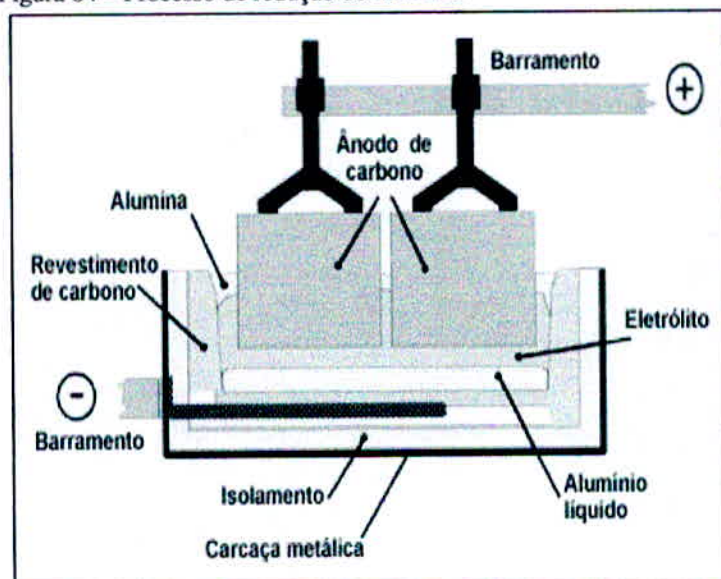


Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO, 2014).

É possível obter alumínio através da redução da alumina calcinada nas cubas eletrolíticas. É preciso duas toneladas de alumina para produção de uma tonelada de metal. Redução se faz conforme descrito abaixo:

- Dissolução da alumina em banho de fluoreto de alumínio com tensão baixa e criolita fundida que decompõe-se em oxigênio;
- O oxigênio se combina com o ânodo de carbono, soltando em forma de dióxido de carbono e em alumínio em estado líquido, que se precipita na cuba eletrolítica;
- O metal em estado líquido é transferido à refusão através de cadinhos;
- Do metal primário são produzidos lingotes, placas e tarugos.

Figura 04 – Processo de redução do alumínio



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO, 2014).

2.3 Características químicas e físicas

O alumínio é um material amplamente utilizado na engenharia, arquitetura e indústria em geral devido as suas diversas propriedades, que serão descritas a seguir:

- a) Ponto de fusão: O alumínio possui ponto de fusão de 660°C.
- b) Peso específico: O peso específico é de aproximadamente 2,70 g/cm³, aproximadamente 35% do peso do aço e 30% do peso do cobre;
- c) Resistência à corrosão: tem elevada resistência à corrosão devido a existência de uma fina camada de óxido que o protege;
- d) Condutibilidade elétrica: possui condutividade elétrica de 62% da IACS (International Annealed Copper Standard), o que significa que pode conduzir corrente quanto um condutor de cobre que é mais pesado e mais caro;
- e) Condutibilidade térmica: condutibilidade térmica 4,5 vezes maior que do aço;
- f) Refletividade: tem uma refletividade superior a 80%, a qual permite ampla utilização em luminárias;
- g) Propriedade antimagnética: não é magnético e por isso muito usado como proteção em equipamentos eletrônicos. Além disso, usado na estocagem de substâncias inflamáveis e transporte de combustíveis, por não produzir faíscas;

h) Característica de barreira: elemento de barreira à luz, torna-se um dos materiais mais versáteis por ser impermeável à ação da umidade e do oxigênio,

i) Reciclagem: é reciclável, sem perder suas propriedades químicas e físicas;

As propriedades apresentadas fornecem ao alumínio grande versatilidade. Muitas delas combinadas como: baixo peso combinado com resistência mecânica; alta resistência à corrosão e condutibilidade térmica elevada.

Figura 05 – Comparação de propriedades do alumínio

| Propriedades físicas típicas | Alumínio | Aço | Cobre |
|--|----------|-----------|-----------|
| Densidade (g/cm ³) | 2,70 | 7,86 | 8,96 |
| Temperatura de fusão (°C) | 660 | 1500 | 1083 |
| Módulo de elasticidade (MPa) | 70000 | 205000 | 110000 |
| Coefficiente de dilatação térmica (L/°C) | 23.10-6 | 11,7.10-6 | 16,5.10-6 |
| Condutibilidade térmica a 25°C (Cal/cm/°C) | 0,53 | 0,12 | 0,94 |
| Condutibilidade elétrica (%IACS) | 61 | 14,5 | 100 |

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO, 2014).

2.4 Vantagens do alumínio

As diversas características e propriedades apresentadas pelo alumínio permite a sua variedade de aplicações e o torna como um dos metais mais utilizados no mundo. Os produtos que utilizam o alumínio em sua fabricação tornam-se diferenciados devido aos diversos atributos incorporados por este metal, conforme demonstrado a seguir:

- Leveza: gera menor consumo de combustível, menos desgaste e maior eficiência e capacidade de carga;
- Elevada condução de energia: é ótimo meio de transmissão de energia elétrica ou térmica;

- c) Impermeabilidade e opacidade: por não permitir umidade, luz e oxigênio, evita a deteriorização, por exemplo, de alimentos e por isso muito usado para embalagens;
- d) Alta relação resistência/peso: muito usado no setor automotivo e transportes, pelo alto desempenho. Tem resistência à tração de 90 Mpa;
- e) Beleza: confere excelente acabamento, moderno e que não estraga com o tempo. Permite design criativo, aspectos originais e diversidade de aplicações;
- f) Durabilidade: alta resistência a agentes externos, raios ultravioleta, abrasão e riscos, proporcionando elevada durabilidade. Possui proteção natural facilitando conservação de produtos em geral;
- g) Maleabilidade e soldabilidade: A alta maleabilidade e ductilidade do alumínio permite à indústria utilizá-lo de diversas formas. Suas propriedades mecânicas facilitam sua conformação e possibilitam uso em mais variados projetos;
- h) Resistência à corrosão: tem uma autoproteção natural que facilita conservação e manutenção. Por isso a versatilidade em seu uso;
- i) Resistência e dureza: possui resistência à tração de 90 Mpa, permitindo utilização em estruturas, com ótimo comportamento mecânico;
- j) Possibilidade de muitos acabamentos: o alumínio possui aparência adequada para aplicações em construção civil, por exemplo, com acabamentos que reforçam ainda mais a resistência natural do material à corrosão;
- l) Reciclabilidade: possui alta reciclabilidade, podendo ser reutilizado com recuperação de investimento e economia energética.

3 O PROCESSO PRODUTIVO DE RODAS DE ALUMÍNIO

O processo produtivo de rodas de alumínio consiste basicamente em três principais processos: fundição, usinagem e pintura. O processo de fundição dentro de uma fábrica de rodas de alumínio inclui a fusão do alumínio, a adição de ante ligas e a injeção, veremos este processo detalhadamente posteriormente.

O processo de usinagem permite basicamente o acabamento de peças fundidas, obtendo melhor aspecto superficial. Segundo Chiaverini (1986), peças metálicas fabricadas pelos processos metalúrgicos convencionais como, por exemplo, a fundição, geralmente apresentam superfícies mais ou menos grosseiras e por isso exigem um determinado acabamento. Para alguns tipos de peças como é o caso das rodas de alumínio, nem sempre

permitem obter certas peculiaridades, como determinadas rebarbas, saliências ou reentrâncias, furos rosqueados, furos passantes, dentre outras necessidades.

Ainda segundo Chiaverini (1986), o processo de usinagem possibilita atingir-se vários desses objetivos que podem ser demonstrados:

- a) permite acabamento de superfícies de peças fundidas, obtendo melhor aspecto superficial e dimensões mais precisas, em conformidade com as especificações de fabricação e requisitos específicos de montadoras;
- b) obtenção de peculiaridades, impossíveis de conseguir utilizando processos convencionais;
- c) fabricação em série de peças, com obtenção de um custo bem mais baixo;
- d) fabricação de uma ou poucas peças, de qualquer forma, a partir de um bloco de material metálico;
- e) furação para obtenção de furos geralmente cilíndricos, a peça ou a ferramenta giram e simultaneamente a ferramenta ou a peça se deslocam segundo uma trajetória retilínea, coincidente ou paralela ao eixo principal da máquina.

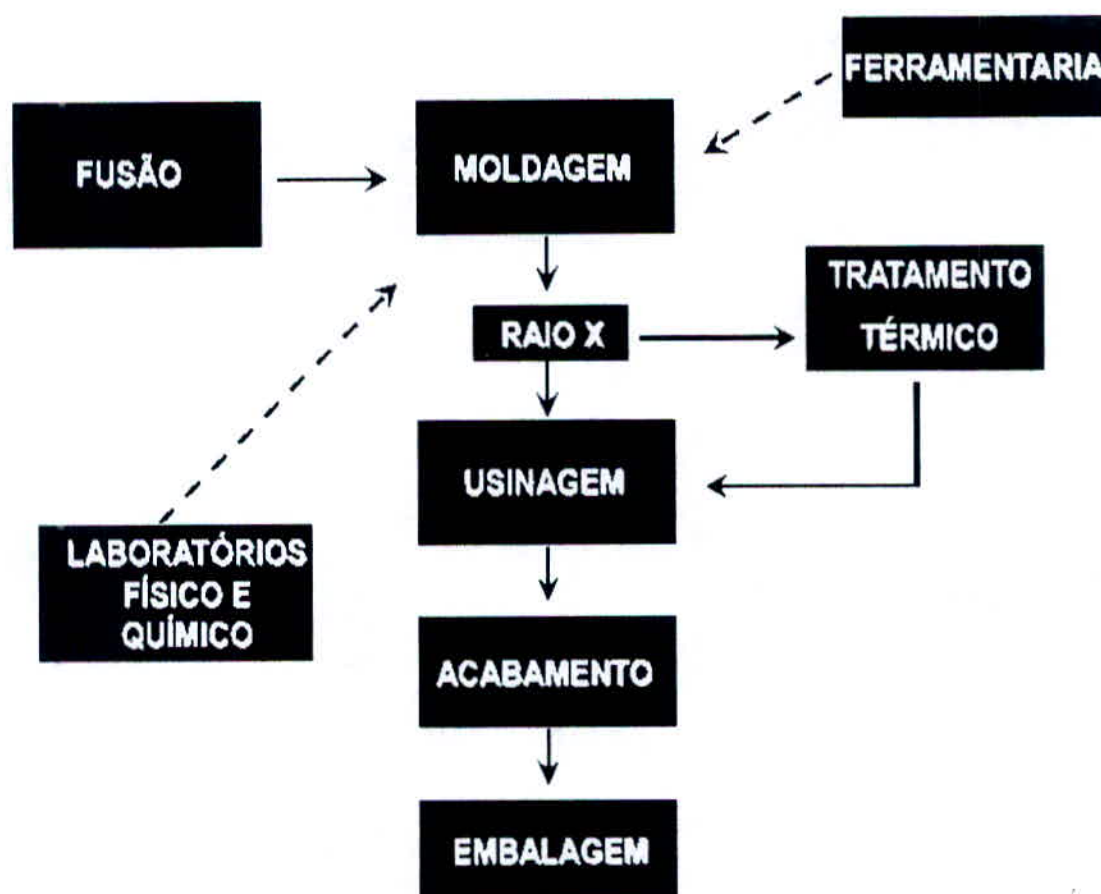
O processo de pintura em uma fabricante de rodas de alumínio consiste em dar o acabamento final nas peças, ou seja, fazer com que o produto fique adequado às especificações determinadas pelos clientes, no caso, as montadoras. Tudo tem início na preparação para a pintura, ou pré-tratamento, que é realizada para remoção do óleo, graxa e impurezas que possam influenciar no processo de pintura da roda. Essa limpeza é feita por imersão em uma solução química. Esta solução produz uma camada nos substratos metálicos, que aumenta a resistência à corrosão nas superfícies da roda. A solução não possui metais pesados na sua constituição, tampouco componentes orgânicos. Sendo fator importante ao meio ambiente e aos custos de pós-tratamento da roda. Após o pré-tratamento a roda passa por um processo de secagem através de um sopro de ar. Seguindo os processos de pintura, a peça recebe as camadas de “primer pó”, ou chamada “pintura pó”, uma camada de “base coat” (esmalte) e “clear coat” (verniz), chamada de “pintura líquida”. A roda passa pelo spray pulverizado de “primer pó”, o mesmo é carregado eletrostaticamente para aderir em toda a superfície da roda de forma homogênea. A roda, também carregada eletricamente, atrai as partículas pulverizadas de “primer pó”, conferindo excelente uniformidade na composição desta camada. Após a aplicação da “pintura pó”, a roda entra na zona de “flash-off”, onde acontece a evaporação do “primer pó” restante. No processo de “base coat” e “clear coat”, a roda passa por uma estação de spray de esmalte e verniz, que é aplicado com auxílio de ar comprimido. Esse processo também é eletrolítico, obtendo assim a homogeneização na roda. Após a aplicação a roda retorna à zona de “flash-off”, para a evaporação do esmalte residual.

Evaporar o esmalte é feito de forma muito mais lenta do que evaporar o “primer pó”, sendo assim a cabine de “flash-off” é mais longa. Após o “flash-off” a roda entra na estufa de cura do esmalte. Ao término desta etapa de pintura, a superfície da roda fica com aparência porcelanizada, que além de conferir um perfeito visual, tem alta resistência ao impacto.

Paralelamente aos processos principais são realizados os pontos de controle de qualidade, para garantir que tudo o que foi realizado durante o processo produtivo esteja em conformidade, e garantir principalmente a segurança do usuário final do automóvel.

Muitos defeitos podem ser detectados através dos pontos de controle da qualidade implementados entre os processos produtivos. Segundo Chiaverini (1986) o controle de qualidade acaba por se constituir em uma das etapas mais importantes de fabricação industrial. Tem-se necessidade de aprimorar constantemente os métodos de controle de qualidade, pois as especificações estão cada vez mais rigorosas e os materiais sujeitos a condições de serviço cada vez mais severas e críticas.

Figura 06 – Processo produtivos de rodas de alumínio



Fonte: (O AUTOR).

3.1 O processo produtivo de fundição

Segundo Chiaverini (1986), a transformação dos metais e ligas metálicas em peças de uso na indústria pode ser realizada por diversos processos, a maioria tendo como ponto de partida o metal líquido ou fundido. O metal líquido é derramado no interior de uma denominada forma, com a cavidade conformada de acordo com o design a peça que se deseja produzir. Esse recipiente é chamado de “molde”. Portanto, a “cavidade” mencionada no molde, nada mais é, que um negativo da peça que se deseja produzir.

Segundo Chiaverini (1986), as ligas de alumínio fundidas tem como principal diferença das ligas conformadas pela ausência de qualquer tipo de conformação mecânica em seu processamento, ou seja, são obtidas diretamente do líquido por meio de processos de fundição.

Do ponto de vista de fundição, as ligas de alumínio caracterizam-se pela baixa temperatura de fusão. Por outro lado, esta característica permite uma grande flexibilidade quanto aos tipos de moldes utilizados já que as solicitações térmicas são reduzidas. São comuns moldes de areia, moldes metálicos (fabricado em aço ou ferro fundido), moldes de gesso, moldes de materiais cerâmicos.

Os moldes ditos permanentes, fabricados em materiais metálicos, são os mais utilizados para as grandes produções por minimizarem os custos de moldagem e permitirem a obtenção de excelente acabamento superficial. Entretanto, o custo do ferramental é elevado. Para produções menores os moldes cerâmicos, de areia e gesso são mais indicados. Entretanto, nestes processos, a menor velocidade de resfriamento das ligas facilita o desenvolvimento de estruturas grosseiras e o aumento do volume de microporosidades, prejudicando a qualidade metalúrgica dos componentes. Além do material de moldagem, é importante diferenciar os processos de fundição por vazamento do metal, podendo ser:

- a) por gravidade;
- b) sob pressão;
- c) contra a gravidade com baixa pressão.

Em relação a este aspecto, o vazamento por gravidade e, principalmente, o feito sob pressão impõe turbulência ao fluxo de metal, gerando e incorporando inclusões de óxidos. Nos processos por gravidade, há formas de minimizar tais gerações com o uso de canais de descida projetados especialmente para reduzir a turbulência e reduzir a velocidade do fluxo, uso de filtros cerâmicos. As máquinas de baixa pressão e processos especiais como o

“Cosworth” possuem vantagens neste aspecto, por possibilitarem um controle no fluxo de enchimento das peças.

Outro ponto importante envolvendo os processos de fundição é a aplicação da pressão durante solidificação que garante melhores condições de alimentação, reduzindo a formação de microporosidades. Moldes metálicos mostram algumas vantagens sobre a fundição de moldes de areia. As principais são:

- a) melhor acabamento superficial;
- b) melhores tolerâncias dimensionais;
- c) permitem reduzir o sobre-metal de usinagem;
- d) melhor qualidade micro estrutural (e mecânica) devido a maior velocidade de resfriamento;
- e) menor necessidade de operações de limpeza e rebarbação dos fundidos.

3.1.1 Processo de fundição sob pressão ou fundição por injeção

Segundo Chiaverini (1986), O processo de fundição sob pressão é o mais usado na produção de peças fundidas em alumínio. Como a velocidade de preenchimento é elevada, o processo permite a produção de peças de paredes finas, com geometria complexa e com dimensões próximas às finais. As máquinas de injeção mais comuns são do tipo câmara fria operando ao lado de um forno de espera, aquecido por meio de resistências elétricas.

O sistema de vazamento (por meio de conchas) pode ser manual ou automatizado. A pressão de injeção é da ordem de 100 a 200 atmosferas (103 a 206 kgf/cm²).

Visando minimizar o desgaste das matrizes pelo alumínio, utilizam-se baixas temperaturas de fusão e elevados teores de Fe na liga. Em consequência disto, pode ocorrer a formação de fase ricas em ferro no estado sólido (“sludge”) nos fornos de espera que tendem a decantar. A presença de Cr e ou Mn tendem a agravar o problema.

Se por acaso estas partículas de ferro penetrem na injetora as peças apresentaram fase duras na microestrutura, dificultando a usinagem. Outra fonte de problemas na fundição sob pressão é o sistema de canais. Como são utilizadas altíssimas velocidades de vazamento, é inevitável a turbulência do fluxo metálico e consequente geração de inclusões de óxidos.

Outro problema ainda é o projeto de canais em que as peças são preenchidas por canais mais finos que impedem a alimentação das seções mais espessas. Devido as inclusões de óxidos e eventuais vazios de rechupes ou bolsas de ar, as peças produzidas por este

processo não podem ser tratadas termicamente. Além disso, sua utilização em componentes de alta resistência mecânica não é recomendada. As ligas mais utilizadas são a 380 e a 413, normalmente sem nenhum tratamento de banho. O teor de Fe encontra-se entre 0,8 e 1,5% como forma de reduzir os problemas de aderência de metal e erosão das matrizes.

3.1.2 Processo de fundição em coquilha através gravidade

Segundo Chiaverini (1986), este é o segundo processo na produção de componentes seriados. Tem um custo bastante inferior à injeção, além de serem mais versáteis. A coquilha permite o uso de machos metálicos ou machos em areia (como no caso de cabeçotes de motor).

O processo de vazamento por gravidade introduz alguns problemas: a turbulência no canal de descida e falta de pressão. A turbulência consegue ser reduzida com o uso de coquilhadeiras basculantes, projetos especiais de canais e com o uso de filtros. A formação de porosidades pode ser diminuída com as seguintes verificações:

- a) no processo de modificação, não deve-se empregar sódio (Na) ou estrôncio (Sr) em ligas hipoeutéticas, o antimônio (Sb) é o mais recomendado;
- b) promover um refino de grão eficiente;
- c) uso de ligas com pequeno intervalo de solidificação e
- d) redução ao máximo o teor de hidrogênio dissolvido na liga.

As ligas mais usadas em coquilha são: 319, 355, 356, 359 360 380 e 413. Quando possível o teor de Fe é mantido elevado, entre 0,5 % e 1,0 %, exigindo o controle das fases à base de Fe com adições de Cr e Mn. Em aplicações de maior resistência mecânica o teor de Fe é mantido entre 0,2% ou 0,25%.

3.1.3 Processo de fundição em baixa pressão ou coquilha em baixa pressão

Segundo Chiaverini (1986), este processo emprega coquilhas metálicas com o processo de vazamento por baixo, contra a gravidade, por meio de um tubo de alimentação ("pescador"). As pressões de 0,5 kgf/cm² a 1,5 kgf/cm² são aplicadas por meio de ar

comprimido, preferencialmente, contendo baixa umidade. O processo da baixa pressão foi desenvolvido especialmente para a fabricação de rodas automotivas, principalmente devido à sua geometria. Hoje seu emprego expandiu-se para outros componentes automotivos (braços e bandejas de suspensão) ou aeroespaciais.

Na produção de rodas automotivas são utilizadas as ligas 356 e variantes das ligas 359 e 413. As duas primeiras, de composição hipoeutética são empregadas em máquinas de baixa pressão, enquanto que ligas com menor intervalo de solidificação (mais próximas do ponto eutético – 12%Si) são as mais comuns em coquilhas vazadas por gravidade.

3.1.4 Processo de fundição em areia

Segundo Chiaverini (1986), os moldes são compostos por uma mistura de areia (sílica) e ligantes naturais (bentonita) ou resinas sintéticas.

3.1.5 Processo de fundição de precisão

Segundo Chiaverini (1986), o molde é composto por camadas sucessivas de lama cerâmica, normalmente à base de zirconita e sílica coloidal, e material refratário particulado.

3.2 O processo produtivo de fundição de rodas automotivas

De acordo com Fuoco (1996), o processo de fabricação de rodas automotivas se inicia com a etapa de fusão em fornos de reverbero ou elétricos de indução, partindo-se de cargas constituídas de pré-ligas na forma de lingotes ou de metal líquido ou, ainda, de retornos internos. Para o caso de preparação da liga a partir de metais puros, somente os fornos à indução são recomendados.

Uma vez ajustadas a temperatura e a composição química, efetua-se o tratamento do metal líquido, durante o vazamento do forno para panela, através da adição de elementos

refinadores de grãos e de elementos modificadores.

Com o objetivo de homogeneizar as adições de elementos refinadores e modificadores, reduzir o teor de hidrogênio dissolvido e, principalmente, reduzir os óxidos de alumínio em suspensão, efetua-se uma desgaseificação através de borbulhamento com argônio ou nitrogênio utilizando rotor. Ao final, o metal é escorificado com o auxílio de sais de limpeza e transferido para os fornos de espera (vazamento em coquilas por gravidade) ou diretamente para os fornos das máquinas de baixa pressão.

Segundo Fuoco (1996), na utilização de coquilhas vazadas por gravidade, tornam-se críticas as etapas de vazamento e de solidificação das rodas. Durante o vazamento por gravidade, a turbulência no sistema de canais deve ser reduzida através do emprego de projeto de canal de vazamento, de coquilhadeiras basculantes (diminuição a altura de queda) e/ou de filtros cerâmicos. Estas medidas isoladas ou em conjunto, são eficientes para reduzir a presença de óxidos nas rodas fundidas.

Após o preenchimento da cavidade com metal líquido, torna-se crítico o controle da solidificação. A técnica mais utilizada para evitar a formação de rechupes é a solidificação direcional, ou seja, através do uso de coquilhas com espessuras variáveis, pontos de refrigeração com ar comprimido, variação na espessura de tintas depositadas entre outros, deve-se alcançar uma solidificação direcionada aos pontos onde há reservatórios para compensação da contração de solidificação (massalotes).

Ainda no caso de coquilhas vazadas por gravidade, a alimentação eficiente da contração de solidificação somente é possível se a liga não solidificar de forma pastosa, ou seja, se a solidificação ocorrer sem a formação de uma rede de dendritas que isolam pequenas porções de líquido eutético por toda a peça. Desta forma, no caso de coquilhas vazadas por gravidade, a liga deve apresentar solidificação na forma de casca, como na liga eutética modificada com sódio ou estrôncio. Desvios desta composição para teores menores de silício promovem a formação da rede de dendritas, caracterizando uma solidificação pastosa, com a consequente formação de microporosidades (por micro-rechupes e por segregação de hidrogênio).

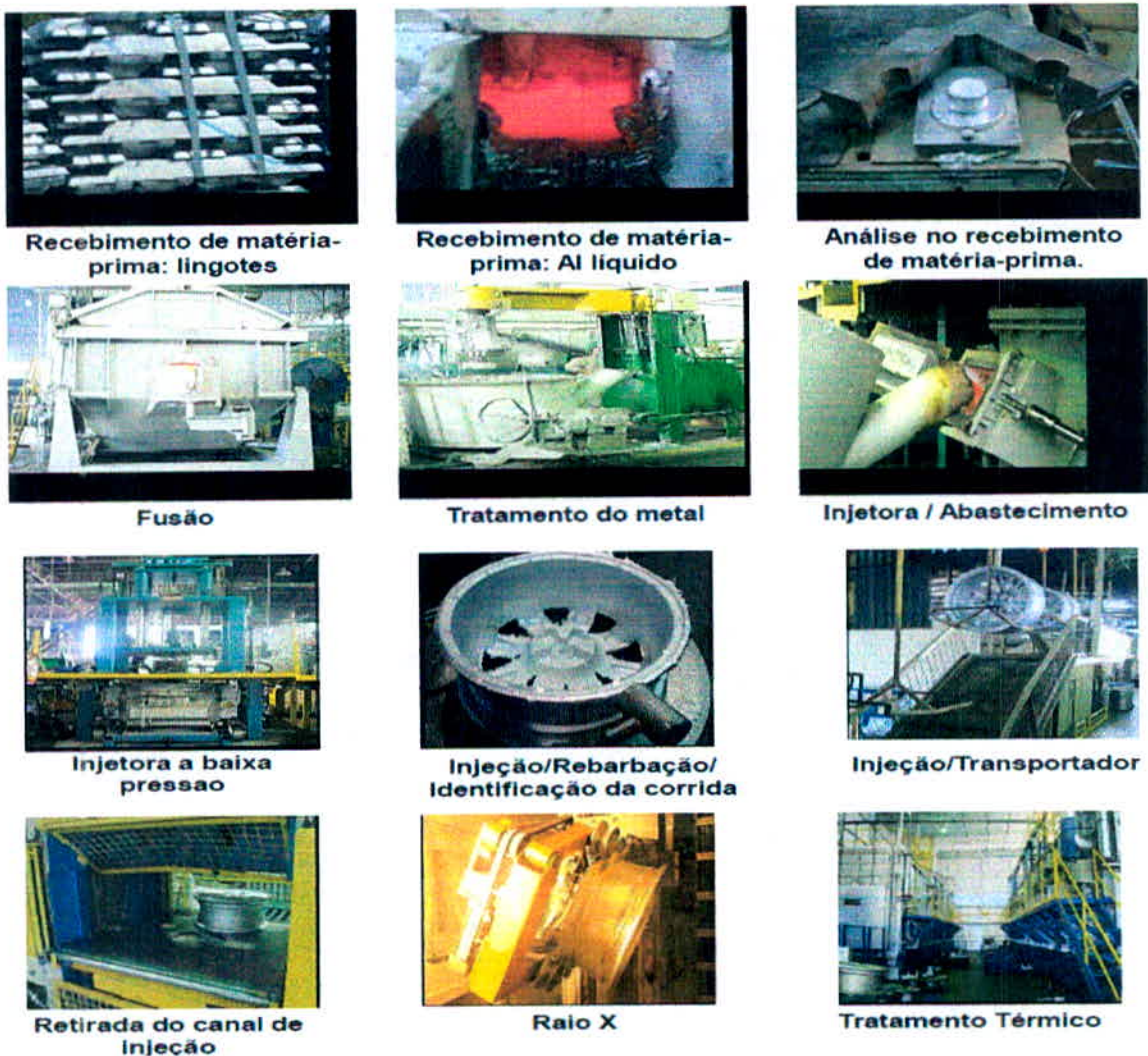
Quando máquinas de fundição por baixa pressão são utilizadas, a etapa de vazamento é menos crítica, ocorrendo sem turbulência. Neste caso, é comum o emprego de um filtro cerâmico no tubo vazador, abaixo do nível de metal líquido, para evitar a entrada de inclusões de óxidos na cavidade do molde.

Segundo Fuoco (1996), analogamente ao caso de coquilhas vazadas por gravidade, o conceito de solidificação direcional deve ser aplicado com os mesmos recursos. Neste caso, o

massalote é o tubo vazador colocado na região central da figura, fazendo com que a solidificação inicie na aleta superior e termine no massalote, sem a criação de poças de líquido isoladas. Como neste caso a pressão aplicada sobre o metal do forno é transmitida, através do tubo vazador, até a peça, a utilização de ligas com solidificação pastosa não só é possível, como é recomendável a presença das poças líquidas permite transmitir a pressão por toda a peça, evitando-se a formação de microporosidades e de rechupes localizados no centro de secções com paredes paralelas observados em ligas eutéticas.

Em ambos os processos, efetua-se um resfriamento rápido após a solidificação (resfriamento em água), garantindo-se um maior grau de endurecimento por solução sólida do magnésio. Quando aplicável, a última etapa é a do tratamento térmico, visando o aumento da ductilidade ou o aumento da resistência.

Figura 07 – Processo de fundição de rodas automotivas



Fonte: (O AUTOR).

3.3 Adição de ante ligas

O motivo da adição de ante ligas é garantir a composição química dentro da especificação.

- a) Estrôncio: O estrôncio é um elemento modificador de silício e o seu principal objetivo é modificar e alterar a estrutura das partículas de silício da forma Lamelar para Fibrosa.
- b) TiBAL: O tibal é um elemento refinador de grão tendo como objetivo de diminuir o tamanho das dendritas de alumínio e aumentar a capacidade de alimentação das contrações de solidificação.
- c) Magnésio: O Magnésio é um elemento endurecedor, adicionado na liga de Alumínio Silício 11% e na liga de Alumínio Silício 7% com tratamento térmico. Variando sua eficiência conforme teor adicionados.

4 CONTROLE DE QUALIDADE DE PEÇAS FUNDIDAS

Segundo Chiaverini (1986), a inspeção de peças fundidas tem dois principais objetivos, os quais são: rejeitar as peças defeituosas e preservar a qualidade das matérias-primas utilizadas na fundição e a sua mão-de-obra.

O controle de qualidade em uma fundição de rodas de alumínio compreende as seguintes etapas:

- a) Inspeção visual: utilizada para detectar defeitos que são visíveis e resultantes das operações confecção, moldagem e colocação dos machos, de vazamento e limpeza;
- b) Inspeção dimensional: a qual é realizada geralmente em pequenos lotes produzidos antes que todo o lote seja fundido;
- c) Inspeção metalúrgica: contempla análise química, metalográfica, onde se observa a microestrutura do material, ensaios mecânicos, para determinar as propriedades mecânicas, além de ensaios não-destrutivos.

4.1 Principais defeitos detectados em fundição

Segundo Fuoco (1996), podem ser encontrados vários defeitos visuais durante o processo de fundição de rodas, sendo os principais:

- a) Protuberância metálica (rebarbas);
- b) Cavidades (porosidades);
- c) Trincas (rupturas, fraturas);
- d) Superfície defeituosa;
- e) Peças incompletas;
- f) Dimensões ou forma incorreta;
- g) Inclusões.

5 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

Neste tópico serão apresentadas algumas das principais ferramentas da qualidade utilizadas para gerenciamento de processos produtivos e resolução de problemas dentro de empresas de pequeno e grande porte.

5.1 Ciclo PDCA

De acordo com Mota et al. (2010), a filosofia do melhoramento contínuo ou (kaizen) possui como sua mais conhecida representação o ciclo PDCA, também conhecida como ciclo Shewhart, seu idealizador, ou como ciclo de Deming, o responsável por seu desenvolvimento e reconhecimento.

O ciclo PDCA é um método gerencial para a promoção da melhoria contínua e reflete, em suas quatro fases, a base da filosofia do melhoramento contínuo. Praticando-as de forma cíclica e ininterrupta, acaba-se por promover a melhoria contínua e sistemática na organização, consolidando a padronização de práticas.

- a) 1ª fase – Plan (planejamento): estabelecimento de objetivos e metas, para que sejam desenvolvidos métodos, procedimentos e padrões para alcançá-los.

b) 2ª fase – Do (execução): Esta é a fase de implementação do planejamento. Durante a execução devem ser coletados os dados que serão utilizados na fase de verificação.

c) 3ª fase – Check (verificação): É quando se verifica se o planejado foi consistentemente alcançado através da comparação entre as metas desejadas e os resultados obtidos. Normalmente usam-se, para isso, ferramentas de controle e acompanhamento, como cartas de controle, histogramas, folhas de verificação, entre outras. É importante ressaltar que essa comparação deve ser baseada em fatos e dados, e não em opiniões ou intuição;

d) 4ª fase – Act (agir corretivamente): Nessa fase tem-se duas alternativas. Encontrar as causas fundamentais a fim de prevenir reincidências, no caso de não se alcançar o planejado. A segunda, em adotar como padrão o planejado na primeira fase.

De acordo com Mota et al. (2010), girar o ciclo PDCA significa obter previsibilidade nos processos e aumento da competitividade organizacional. A previsibilidade acontece pela obediência aos padrões, pois, quando a melhoria é bem-sucedida, adota-se o método planejado, padronizando-o; caso contrário, volta-se ao padrão anterior e recome-se a girar o PDCA.

Figura 08 – Ciclo PDCA

| PDCA | FLUXO | ETAPA | OBJETIVO |
|------|-------|---------------------------|--|
| P | 1 | Identificação do problema | Definir claramente o problema e reconhecer sua importância. |
| | 2 | Observação | Investigar as características específicas do problema com uma visão ampla e sob vários pontos de vistas. |
| | 3 | Análise | Descobrir as causas fundamentais. |
| | 4 | Plano de ação | Conceber um plano para bloquear as causas fundamentais. |
| D | 5 | Ação | Bloquear as causas fundamentais. |
| C | 6 | Verificação | Verificar se o bloqueio foi efetivo. |
| | 7 | (Bloqueio foi efetivo?) | |
| A | 8 | Padronização | Prevenir contra o reaparecimento do problema. |
| | | Conclusão | Recapitular todo o processo de solução do problema para trabalho futuro. |

Fonte: (CAMPOS, 1992)

5.2 5W2H

Segundo Mota et al. (2010) “Esta ferramenta é utilizada principalmente no mapeamento e padronização de processos, na elaboração de planos de ação e no

estabelecimento de procedimentos associados a indicadores”.

É de cunho basicamente gerencial e busca o fácil entendimento através da definição de responsabilidades, métodos, prazos, objetivos e recursos associados. O 5W2H representa as iniciais das palavras, em inglês, why (por que), what (o que), where (onde), when (quando), who (quem), how (como) e how much (quanto custa).

O 5W2H, basicamente, é um checklist de determinadas atividades que precisam ser desenvolvidas com o máximo de clareza possível por parte dos colaboradores da empresa. Ele funciona como um mapeamento destas atividades, onde ficará estabelecido o que será feito, quem fará o quê, em qual período de tempo, em qual área da empresa e todos os motivos pelos quais esta atividade deve ser feita. Em um segundo momento, deverá figurar como será feita esta atividade e quanto custará aos cofres da empresa tal processo. (Mota et al., 2010)

5.3 Diagrama de Causa e Efeito (Diagrama de Ishikawa)

Segundo Mota et al. (2010), “o diagrama de causa e efeito, também conhecido como diagrama de Ishikawa ou diagrama espinha de peixe, é uma ferramenta de representação das possíveis causas que levam a um determinado efeito.”

As causas são agrupadas por categorias e semelhanças previamente estabelecidas ou percebidas durante o processo de classificação. A grande vantagem é que se pode atuar de modo mais específico e direcionado no detalhamento das causas possíveis.

Em linhas gerais, são as seguintes as etapas de elaboração do diagrama de causa e efeito:

- a) discussão do assunto a ser analisado pelo grupo, contemplando seu processo, como ocorre, onde ocorre, áreas envolvidas e escopo;
- b) descrição do efeito (problema ou condição específica) no lado direito do diagrama;
- c) levantamento das possíveis causas e seu agrupamento por categorias no diagrama;
- d) análise do diagrama elaborado e coleta de dados para determinar a frequência de ocorrência das diferentes causas.

O Diagrama de Ishikawa, também conhecido como "Diagrama de Causa e Efeito", "Diagrama Espinha-de-peixe" ou "Diagrama 6M" (ver abaixo), é uma ferramenta gráfica utilizada para o gerenciamento e o Controle da Qualidade (CQ) em processos diversos de manipulação das fórmulas. Originalmente proposto pelo engenheiro químico Kaoru Ishikawa

(1943) e aperfeiçoado nos anos seguintes. Em sua estrutura, as causas dos problemas (efeitos) podem ser classificadas como sendo de seis tipos diferentes (o que confere a esse diagrama o nome alternativo de "6M"):

- a) Método: toda a causa envolvendo o método que estava sendo executado o trabalho;
- b) Matéria-prima: toda causa que envolve o material que estava sendo utilizado no trabalho;
- c) Mão-de-obra: toda causa que envolve uma atitude do colaborador (ex: procedimento inadequado, pressa, imprudência, ato inseguro, etc.);
- d) Máquinas: toda causa envolvendo a máquina que estava sendo operada;
- e) Medida: toda causa que envolve uma medida tomada para modificar o processo;
- f) Meio ambiente; toda causa que envolve o meio ambiente.

5.4 Brainstorming

Segundo Mota et al. (2010), "o Brainstorming (tempestade de ideias) é um processo de grupo em que os indivíduos emitem ideias de forma livre, sem críticas, no menor espaço de tempo possível."

Os grupos devem ter entre cinco e 12 pessoas e é recomendável que a participação seja voluntária, com regras claras e por prazo determinado. Devem-se utilizar facilitadores, adequadamente treinados para lidar com os grupos.

O propósito do brainstorming é lançar e detalhar ideias com certo enfoque, originais e em uma atmosfera sem inibições. Busca-se a diversidade de opiniões a partir de um processo de criatividade grupal. Adicionalmente, é uma ferramenta que contribui para o desenvolvimento de equipes. (Mota et al, 2010)

O brainstorming apresenta as seguintes características:

- a) capacidade de auto expressão, livre de inibições ou preconceitos da própria pessoa ou de qualquer outra do grupo;
- b) liberação da criatividade;
- c) capacidade de aceitar e conviver com diferenças conceituais e multidisciplinares;
- d) ausência de julgamento prévio;
- e) registro das ideias;
- f) capacidade de síntese;
- g) delimitação de tempo;

h) ausência de hierarquia durante o processo.

Sucintamente, pode-se dizer que há três fases típicas no brainstorming:

- a) clareza e objetividade na apresentação do assunto, problema ou situação;
- b) geração e documentação das ideias;
- c) análise e seleção.

O brainwriting, também conhecido como brainstorming fechado, é uma variação do brainstorming, com a seguinte diferença básica: as opiniões e ideias são apresentadas por escrito. Não há exposição oral na fase de geração e de documentação das ideias, o que reduz o risco de ocorrência de críticas e inibições. As fases se assemelham às do brainstorming.

5.5 Apontamento de Produção

Segundo Tubino (1999), é possível coletar e armazenar dados sobre tudo que está acontecendo no processo produtivo, porém, se nenhuma ação efetiva em benefício para a empresa resultar desta coleta, ela deve ser revista e eliminada.

Um dos conjuntos de dados mais importantes para o controle é saber quais atividades de produção foram realizadas, quais as datas e horários de término e as quantidades produzidas. A coleta destes dados em ambientes de produção em lotes ou com grandes volumes de produção, é feita geralmente ao término ou durante a operação. Exceto nos casos onde esta coleta é feita automaticamente, o operador deve anotar ou digitar estes dados.

Este apontamento manual é funcional, porém apresenta uma série de problemas. Um destes é o fato que toda atividade humana está sujeita a erros. Outro problema é a confiabilidade dos dados apontados, pois isso depende da precisão com que o operador faz contagens, medições, cálculos, cronometragens e outras observações. Também pode ser um problema a frequência com que este apontamento é feito, pois quanto menor for, mais tempo irá demorar até que os dados sejam conhecidos.

O apontamento manual é feito com o preenchimento de tabelas, formulários ou impressos destinados a esta finalidade. Na elaboração destes, deveriam ser considerados todos os dados necessários ao controle. Porém isso implicaria em uma grande carga de trabalho extra para os operadores, além de suas tarefas produtivas normais. Desta forma, são selecionados alguns dados que serão então coletados no apontamento.

Devido aos problemas apresentados, são comuns situações onde não existe uma

confiança absoluta dos dados coletados e disponibilizados pelo controle da produção. Isso faz com que sejam utilizados controles paralelos e individuais, além de exigir um esforço para confirmação dos dados existentes ou ainda para coletar dados que faltam. Com isso, o planejamento trabalha com dados pouco precisos, ou até mesmo incorretos, fazendo com que os próximos planos e programas de produção sejam distorcidos, o que gera ciclo de imprecisões. Estas imprecisões são sentidas em todos os níveis da hierarquia do planejamento e controle da produção.

5.6 Folha de Verificação

Segundo Mota et al. (2010) “a folha de verificação é uma ferramenta usada para quantificar a frequência com que certos eventos ocorrem, num certo período de tempo.”

5.7 Gráfico de Pareto

É um gráfico de barras, construído a partir de um processo de coleta de dados (em geral, uma folha de verificação), e pode ser utilizado quando se deseja priorizar problemas ou causas relativas a um determinado assunto.

A ideia básica surgiu a partir do princípio de Pareto (Vilfredo Pareto, economista italiano do século XIX) que foi desenvolvido com base no estudo sobre desigualdade na distribuição de riquezas. Segundo Pareto (século XIX), “20% da população (poucos e vitais) detinham 80% da riqueza, enquanto o restante da população (muitos e triviais) detinha apenas 20%. Essa relação é também conhecida como a regra dos 80/20.”

6 ESTUDO DE CASO: POROSIDADE NA FUNDIÇÃO DE RODAS AUTOMOTIVAS

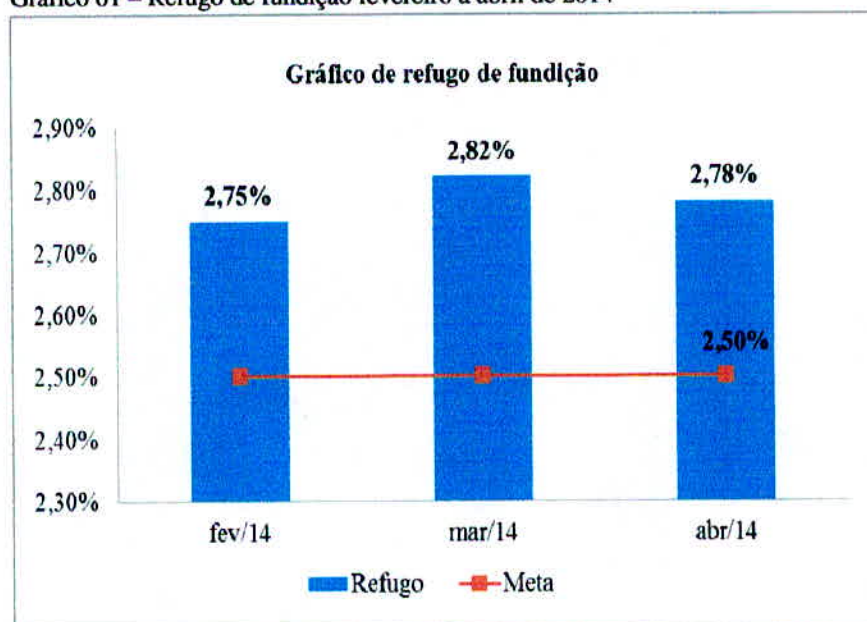
Após todo o estudo teórico realizado neste trabalho acadêmico, pudemos entender como acontece um processo de fundição de rodas automotivas, conhecer os principais defeitos detectados neste processo e as ferramentas da qualidade que podem ser utilizadas para

solucionar estes problemas. Um estudo de caso foi realizado dentro de uma empresa fabricante de rodas de alumínio, com foco nos defeitos de fundição e onde grande parte das ferramentas da qualidade e do conhecimento adquirido pôde ser aplicado.

6.1 Identificando o problema

Segundo Corrêa e Giansesi (2009), as prioridades devem ser estabelecidas entre os vários critérios de desempenho possíveis, sendo importante identificar e priorizar aquelas que se relacionem diretamente com os desejos e necessidades dos clientes. Verificando o processo de fundição de uma fabricante de rodas de alumínio detectou-se que muitos defeitos eram encontrados, gerando um alto índice de reprovação por parte do controle de qualidade e dos processos seguintes, e conseqüentemente aumentando acentuadamente o indicador de refugo de fundição, conforme gráfico abaixo:

Gráfico 01 – Refugo de fundição fevereiro a abril de 2014

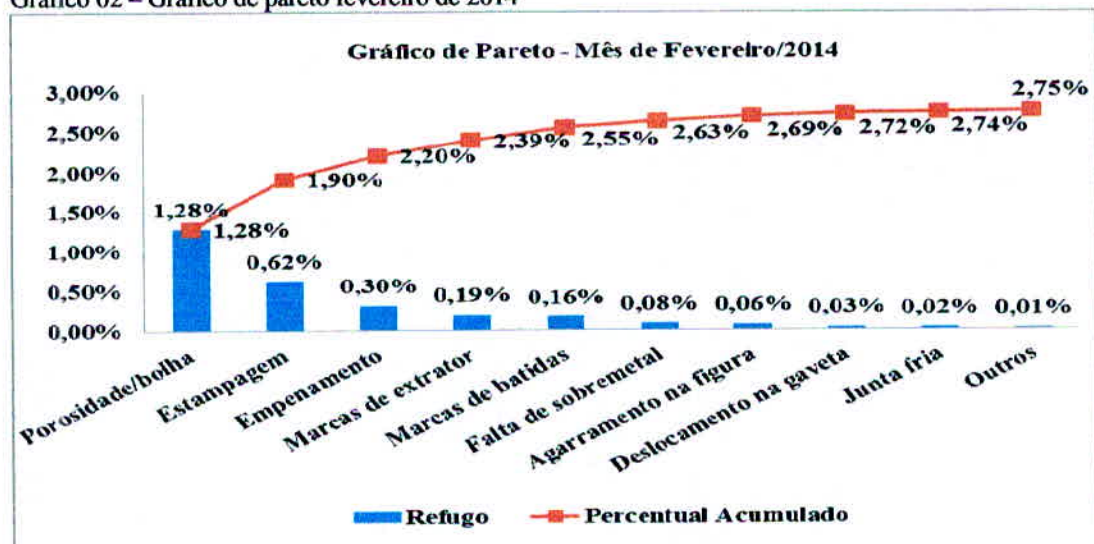


Fonte: (O AUTOR).

6.2 Observação

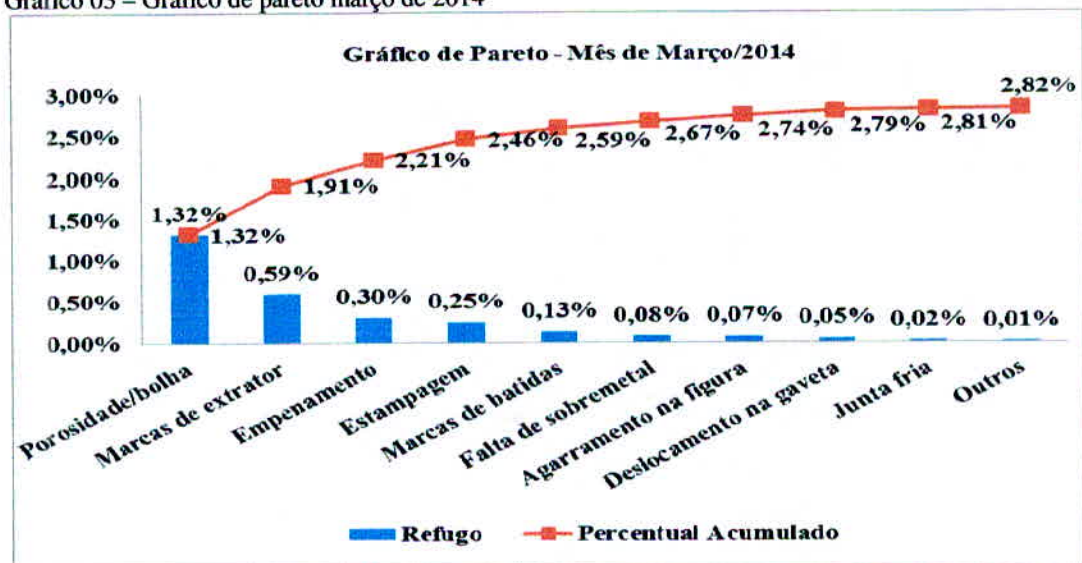
Analisando o indicador de refugo de fundição, nota-se que o mesmo destaca-se por estar a três meses fora da meta, desde o início de sua verificação. Portanto se faz necessário uma estratificação dos defeitos que estão causando este aumento considerável para que possam ser detectadas as causas e tomadas as devidas ações.

Gráfico 02 – Gráfico de pareto fevereiro de 2014



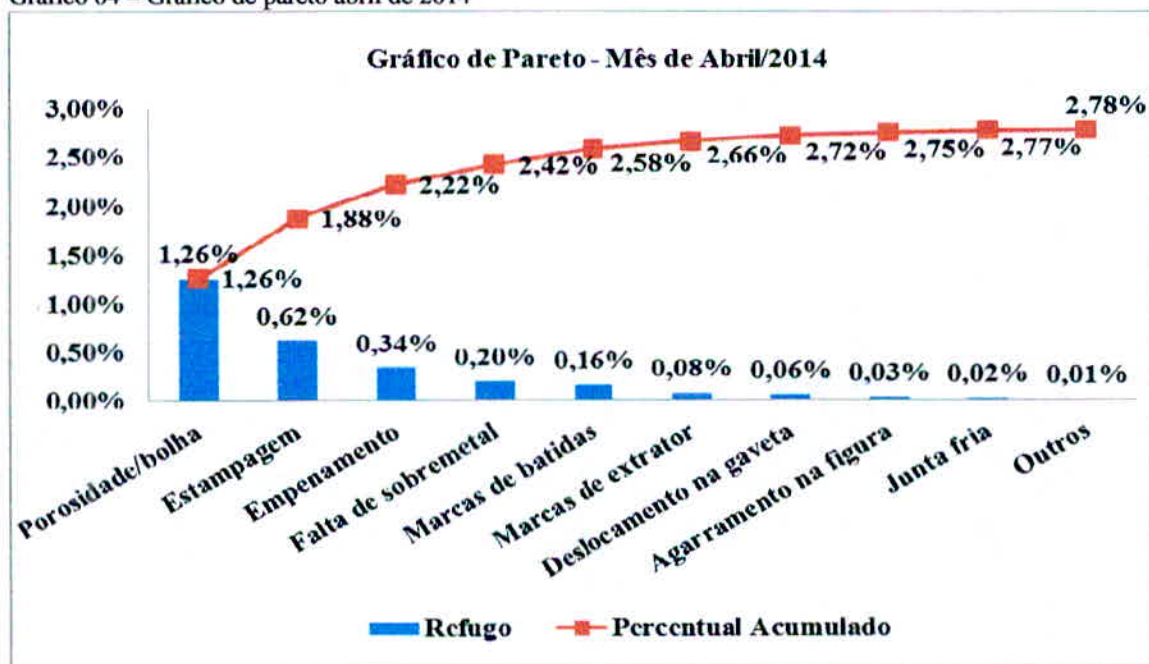
Fonte: (O AUTOR).

Gráfico 03 – Gráfico de pareto março de 2014



Fonte: (O AUTOR).

Gráfico 04 – Gráfico de pareto abril de 2014



Fonte: (O AUTOR).

6.2.1 O que é porosidade/bolha

São pequenas contrações causadas por uma solidificação não direcional e/ou gases presos dentro do metal durante o processo de solidificação.

Segundo Fuoco (1996), microporosidades constituem-se num problema clássico na fundição de ligas de alumínio. Sua formação é associada à presença de hidrogênio dissolvido no metal líquido e a falhas de alimentação por normalmente se constituírem em ligas que apresentam solidificação do tipo pastosa.

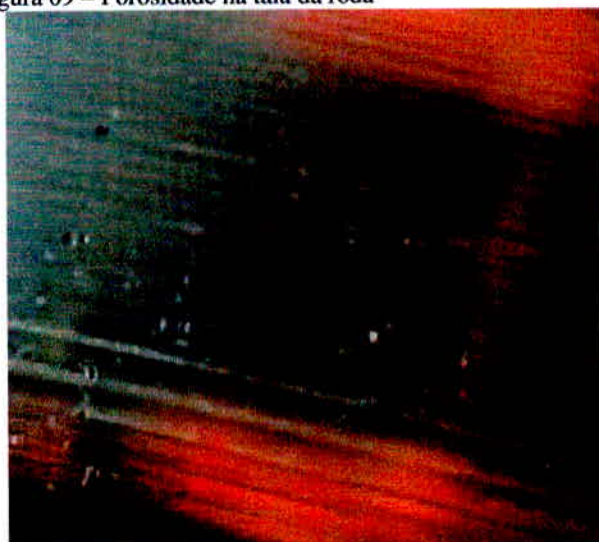
Estas porosidades, distribuídas finalmente por toda a peça, prejudicam as propriedades mecânicas, particularmente as associadas à ductilidade, e a estanqueidade dos componentes, reduzindo a confiabilidade dos produtos fundidos em alumínio.

Ainda de acordo com Fuoco (1996), em ligas alumínio-silício utilizam-se recursos com a modificação do sódio ou estrôncio como forma de elevar as propriedades mecânicas. Entretanto, com este tratamento as ligas geralmente apresentam uma maior propensão à formação de microporosidades.

Se por um lado, a formação de microporosidades prejudica as propriedades mecânicas

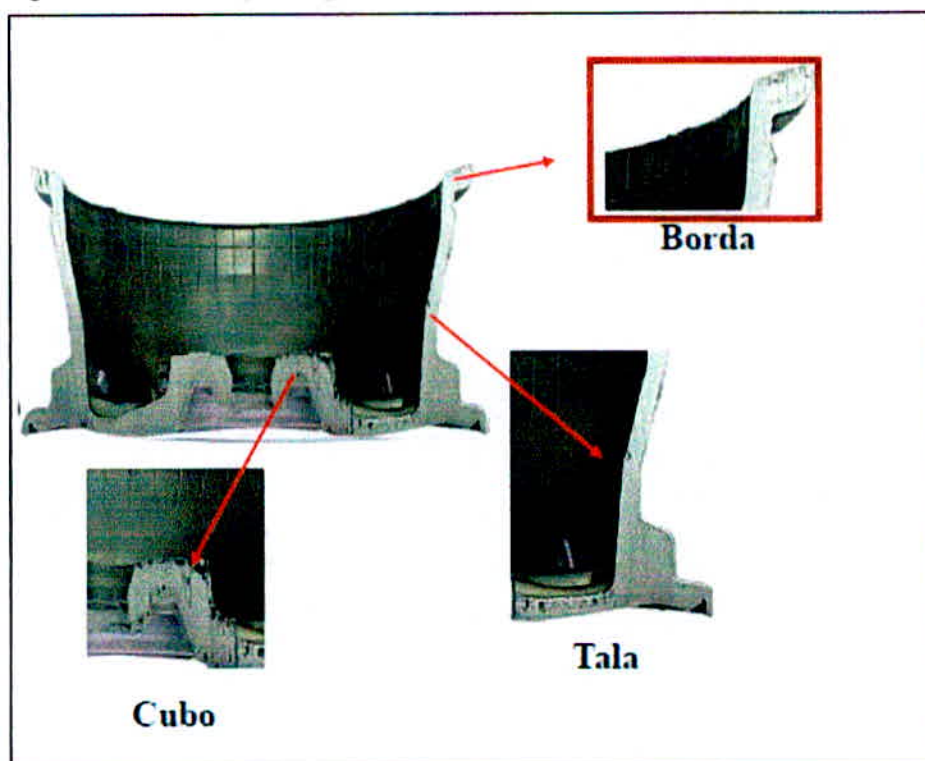
da liga, por outro, a fundição de peças torna-se mais simples, pela menor exigência de massalotagem. Desta maneira, a técnica de modificação pode ser utilizada como forma de amenizar a tendência à formação de macrorrechupes e a necessidade de alimentação.

Figura 09 – Porosidade na tala da roda



Fonte: (O AUTOR).

Figura 10 – Denominação das partes da roda afetadas por porosidade



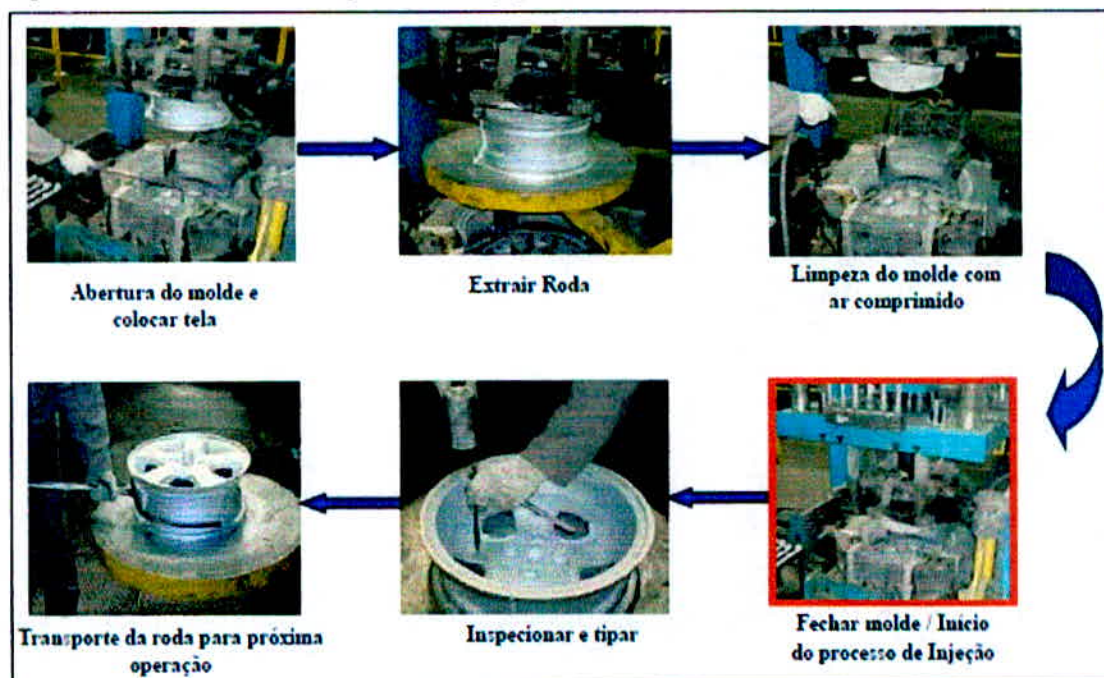
Fonte: (O AUTOR).

6.2.2 Micro atividades do processo de injeção

Durante a verificação da situação, é possível identificar várias micro atividades dentro do processo de fundição. Este passo-a-passo é de extrema importância para atendimento de um produto dentro do especificado e com a qualidade pretendida. São elas:

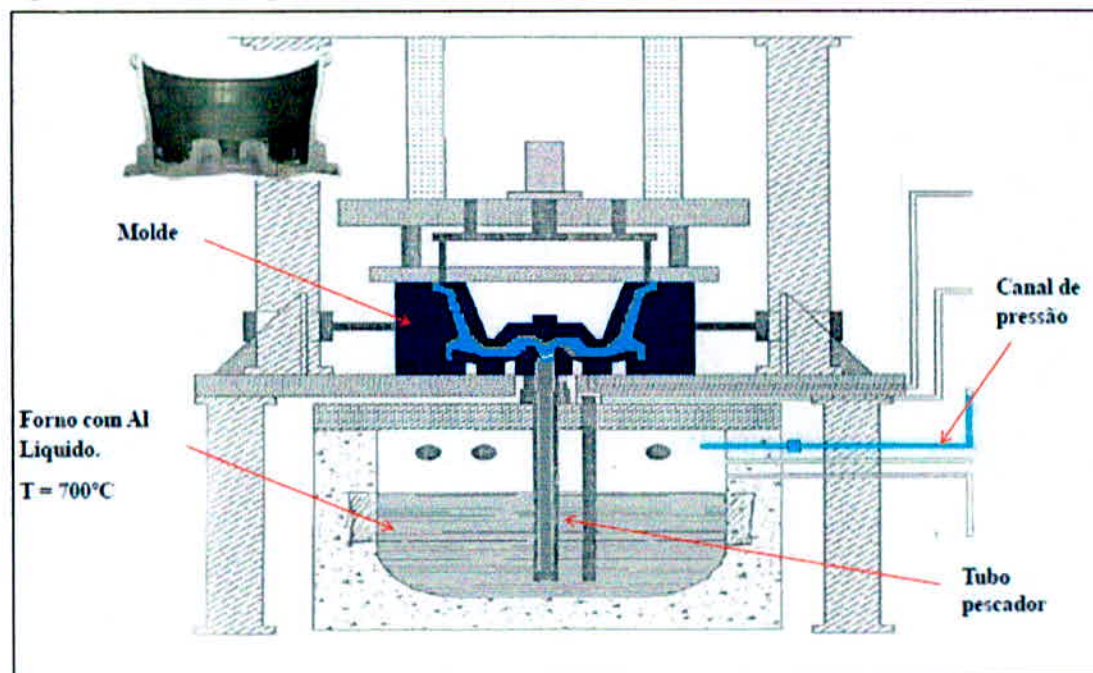
- a) Abertura do molde e colocação da tela filtro;
- b) Extração da roda;
- c) Limpeza do molde com ar comprimido;
- d) Transporte da roda para a próxima operação;
- e) Inspeção e tipagem;
- f) Fechamento do molde e início do processo de injeção.

Figura 11 – Micro atividades do processo de injeção



Fonte: (O AUTOR).

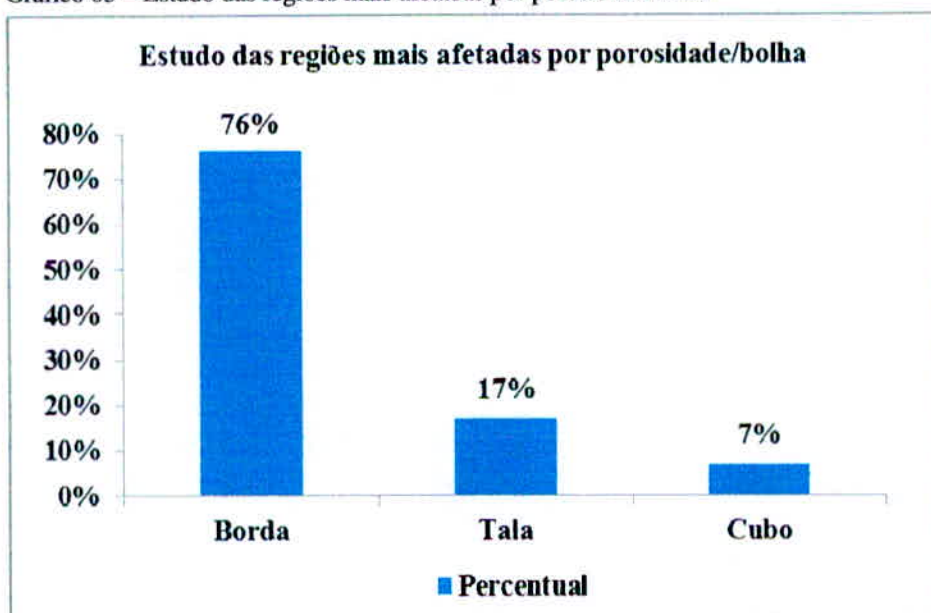
Figura 12 – Estrutura do processo de injeção



Fonte: (O AUTOR).

A partir daí foram analisadas as regiões da roda que são mais afetadas por porosidade/bolha, que resultou no gráfico a seguir:

Gráfico 05 – Estudo das regiões mais afetadas por porosidade/bolha



Fonte: (O AUTOR).

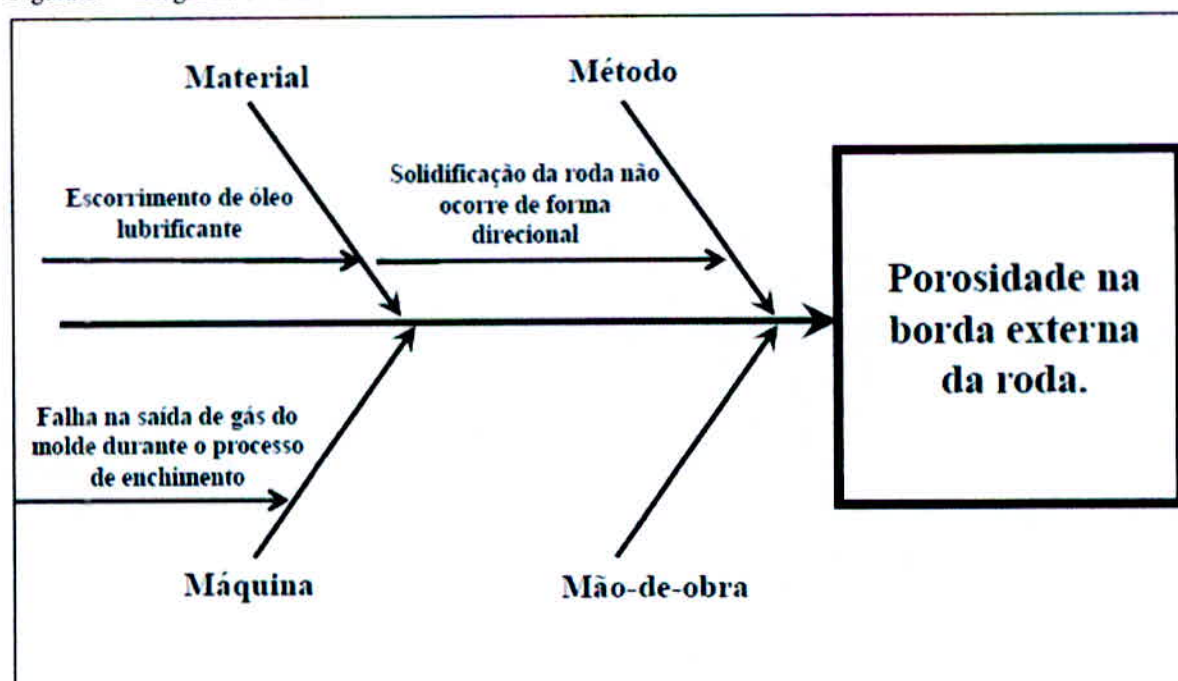
6.3 Análise de Causa

Após análise e observação da situação, parte-se para a etapa posterior, a análise das causas do problema. Utilizando a metodologia conforme ferramentas da qualidade foi definido um grupo multifuncional e um brainstorming foi realizado com base na seguinte pergunta chave: “Quais os possíveis motivos do excesso de bolhas/porosidade na borda da roda?”. Onde foram detectados os seguintes pontos:

- a) Falha nos pontos de resfriamento da ferramenta;
- b) Enchimento do molde com escoamento turbulento;
- c) Falha no processo de injeção da roda;
- d) Tela filtro colocada de forma incorreta;
- e) Solidificação não ocorre de forma direcionada;
- f) Escorrimento do lubrificante de molde na roda;
- g) Falha na saída de ar da ferramenta.

Onde partimos para análise através do Diagrama de causa e efeito.

Figura 13 – Diagrama de Causa e Efeito

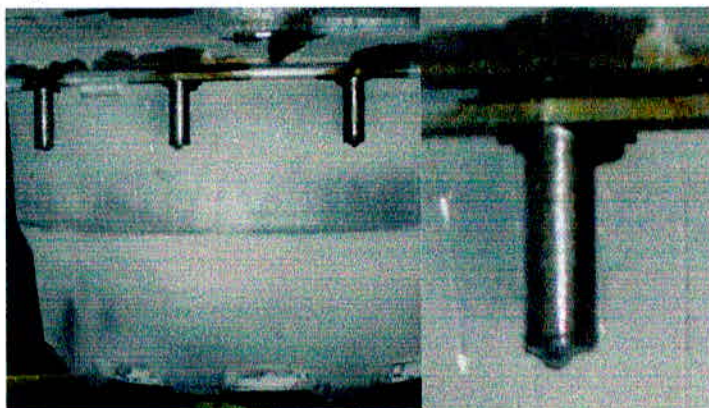


Fonte: (O AUTOR).

Tendo como base as possíveis causas verificadas durante a realização do Diagrama de Causa e Efeito, as mesmas foram analisadas ponto a ponto conforme a seguir:

- a) Escorrimento de lubrificante durante a solidificação da roda: foram realizadas algumas análises onde se pôde observar a utilização do lubrificante “A”, cujo ponto de gota é 110°C. Realizada lubrificação manual através de pincel. Identificado escorrimento com temperatura média nos pinos extratores de 160°C.

Figura 14 – Escorrimento de lubrificante



Fonte: (O AUTOR).

Conclui-se que o lubrificante se queima ao entrar em contato com o alumínio fundido gerando gases no interior do molde. Para confirmação das hipóteses foi utilizada a ferramenta 5 Por Quês:

1º) Por que havia marca de escorrimento de lubrificante na Roda?

Porque escorreu lubrificante dos pinos extratores.

2º) Por que o lubrificante dos pinos extratores escorreu?

Porque o ponto de gota do Lubrificante é 110 °C, e a temperatura de trabalho nos extratores é de aproximadamente 160°C.

3º) Por que o ponto de gota é inferior a temperatura de trabalho?

Porque este lubrificante não é adequado para o trabalho.

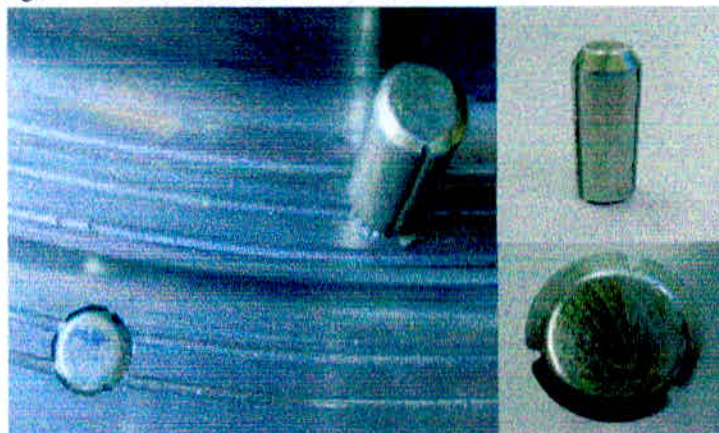
4º) Por que utilizamos este lubrificante?

Porque não temos outro produto desenvolvido.

Causa Raiz: Lubrificante inadequado para a temperatura de trabalho

- b) Falha na saída de ar do molde: verificou-se que caso o ar não consiga sair do molde, o alumínio o envolve formando uma bolha. Abaixo, foto do pino de saída de ar do molde:

Figura 15 – Pino de saída de ar do molde



Fonte: (O AUTOR).

Para confirmação das hipóteses foi utilizada a ferramenta 5 Por Quês:

1º) Por que ocorre falha na saída de ar do molde?

Porque a vazão de ar foi insuficiente.

2º) Por que a vazão de ar foi insuficiente?

Porque os canais de saída de ar dos pinos não estão adequados para vazão de ar que deve sair molde.

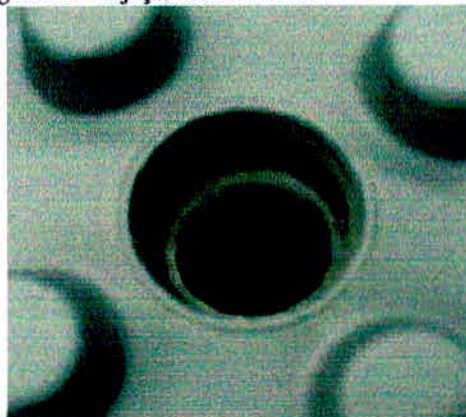
3º) Por que os canais de saída de ar dos pinos não estão adequados a vazão de ar do molde?

Porque os pinos possuem poucas ranhuras e o chanfro na extremidade dos pinos permite agarramento de alumínio provocando entupimento.

Causa raiz: Baixa vazão de ar e entupimento dos canais de suspiro do molde

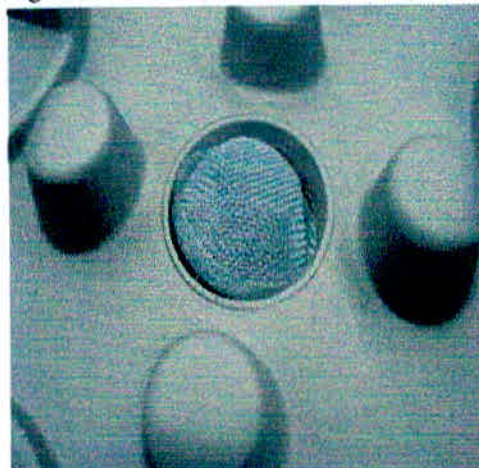
c) Tela fixada de forma inadequada: observado colocação da tela filtro de forma inadequada.

Figura 16 – Injeção sem tela filtro



Fonte: (O AUTOR).

Figura 17 – Tela filtro de forma inadequada



Fonte: (O AUTOR).

A resistência provocada pela tela durante o enchimento do molde faz com que o enchimento passe de regime laminar para regime turbulento provocando assim porosidade nas regiões críticas mencionadas. Para confirmação das hipóteses utilizou-se os 5 Por Quês:

1º) Por que o operador não fixa a tela de forma adequada?

Porque ele tem dificuldade de encaixar a tela.

2º) Por que ele tem dificuldade de encaixar a tela?

Porque existem dois tipos de tela e bucha, tais com diâmetros de 48 e 50 mm.

3º) Por que possuir dois tipos de tela e bucha dificulta a operação?

Porque não possui um padrão de montagem definido, confunde o operador.

4º) Por que não possui padrão definido?

Porque não foi elaborado um padrão para controle.

Causa raiz: Dificuldade operacional de identificar a tela filtro correta.

6.4 Estudo das soluções

Após determinação das causas raiz, parte-se para o estudo das soluções, onde serão analisadas cada situação para possível implementação.

a) Causa raiz: lubrificante inadequado para a temperatura de trabalho. Foi determinada a proposta de desenvolver novo óleo lubrificante com ponto de gota adequado, com produto que atenda a nossa necessidade. Para avaliação da viabilidade utilizamos a tabela abaixo:

Figura 18 – Vantagens e desvantagens desenvolvimento do novo lubrificante

| | | |
|--------------|--|----|
| Vantagens | Não há necessidade de alterar o processo | OK |
| | Conhecimento de novos produtos | OK |
| | Adequação do produto à necessidade | OK |
| Desvantagens | Não encontrado | OK |

Fonte: (O AUTOR).

Foram encontrados três produtos no mercado, denominados A, B e C, nos quais foram realizados testes de aplicação e ponto de gota:

Figura 19 – Resultado desenvolvimento do novo lubrificante

| Modelos | Atual | A | B | C |
|-----------------------|-------|----|----|----|
| Aplicação no processo | 05 | 08 | 10 | 07 |
| Ponto de gota | 05 | 10 | 10 | 08 |
| Total | 10 | 18 | 20 | 15 |

Fonte: (O AUTOR).

Critério de pontuação de 0 a 10 = quanto maior melhor

b) Causa raiz: baixa vazão de ar e entupimento dos canais de suspiro do molde. Cujas propostas foram eliminar o chanfro do pino (agarramento), aumentar a profundidade das ranhuras (maior vazão de gás). Redefinir as dimensões junto à engenharia. Para avaliar a viabilidade da mesma, foi utilizada a tabela abaixo:

Figura 20 – Vantagens e desvantagens eliminação do chanfro

| | | |
|--------------|---|----|
| Vantagens | Evitar agarramento de alumínio no chanfro | OK |
| | Melhorar vazão de ar no pino de suspiro | OK |
| | Estabiliza o processo | OK |
| Desvantagens | Não encontrado | OK |

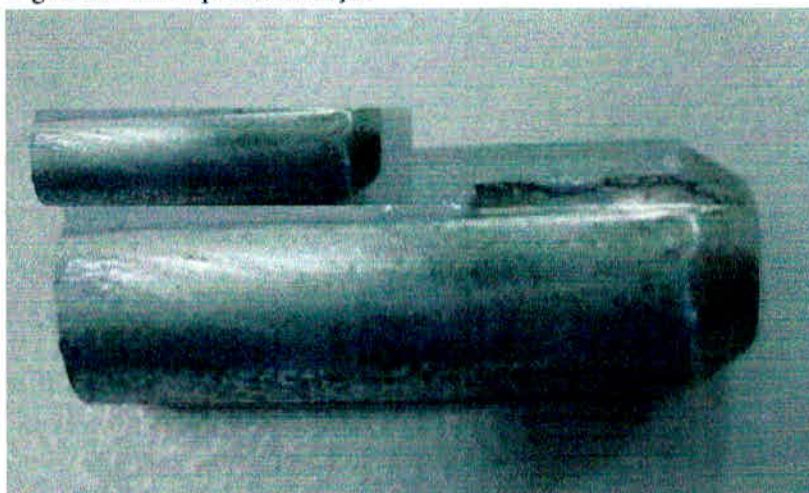
Fonte: (O AUTOR).

Figura 21 – Pino antes da modificação e em teste



Fonte: (O AUTOR).

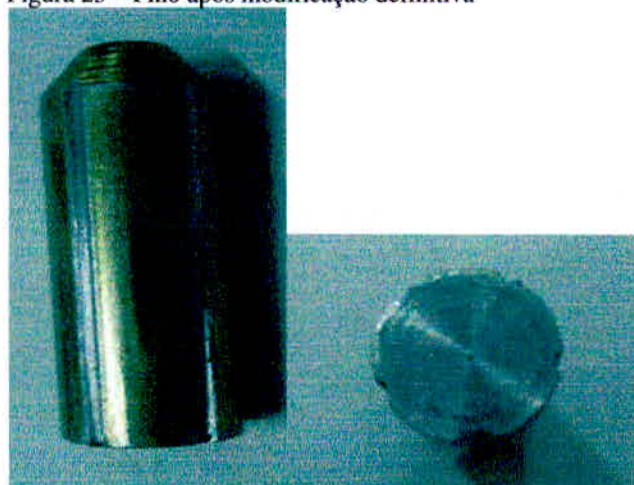
Figura 22 – Pino após modificação



Fonte: (O AUTOR).

Como esta primeira proposta não atendeu a necessidade, surgiu a ideia de eliminar o chanfro do pino (agarramento), passar de 3 para 5 ranhuras mantendo a profundidade (maior vazão).

Figura 23 – Pino após modificação definitiva



Fonte: (O AUTOR).

Esta segunda proposta foi implementada e como resultado adquirido a melhor vazão de ar e isento de alumínio nas ranhuras.

c) Causa raiz: dificuldade operacional de identificar a tela filtro correta, cuja proposta foi padronizar tela filtro e bucha com dimensional otimizado, mantendo apenas o dimensional que melhor atenda nosso processo. Para avaliação da mesma, utilizamos as tabela abaixo:

Figura 24 – Vantagens e desvantagens padronização do filtro

| | | |
|--------------|-------------------------------|----|
| Vantagens | Padronização do processo | OK |
| | Redução de itens para compras | OK |
| | Redução de área para estoque | OK |
| Desvantagens | Não encontrado | OK |

Fonte: (O AUTOR).

Figura 25 – Padronização das telas filtro

| Tela / Bucha | Escoamento de metal | Estampagem | Usinagem |
|--------------|---|---|---|
| Ø 50mm |  |  |  |
| Ø 48mm |  |  |  |

Fonte: (O AUTOR).

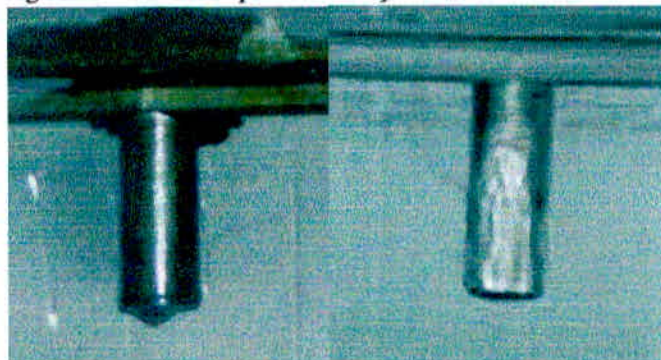
Portanto ficou padronizado a utilização de tela filtro diâmetro 48mm.

6.5 Análise dos resultados

Ao finalizar a implantação do projeto ficou evidente diversos resultados positivos, conforme descritos a seguir:

- a) Troca de um lubrificante “A” em que havia escorrimento pelo lubrificante “B”, eliminando o problema de escorrimento durante a solidificação da roda.

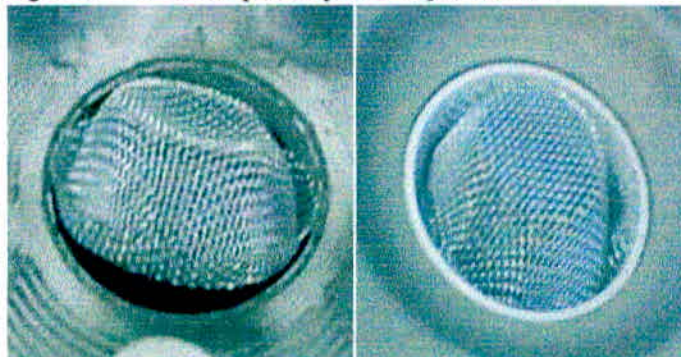
Figura 26 – Antes e depois da alteração do lubrificante



Fonte: (O AUTOR).

- b) Padronização da utilização de buchas somente com diâmetro de 48mm, facilitando a operação do colaborador e evitando transtornos e falhas operacionais.

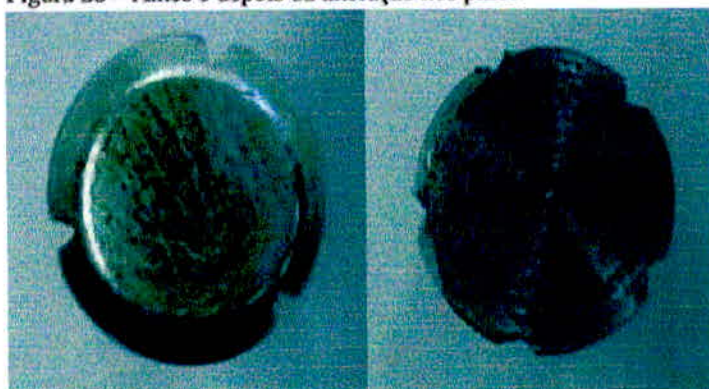
Figura 27 – Antes e depois da padronização das telas



Fonte: (O AUTOR).

c) Alteração no projeto do pino de vazão de ar do molde, possibilitando maior área para vazão e ranhuras isentas de alumínio.

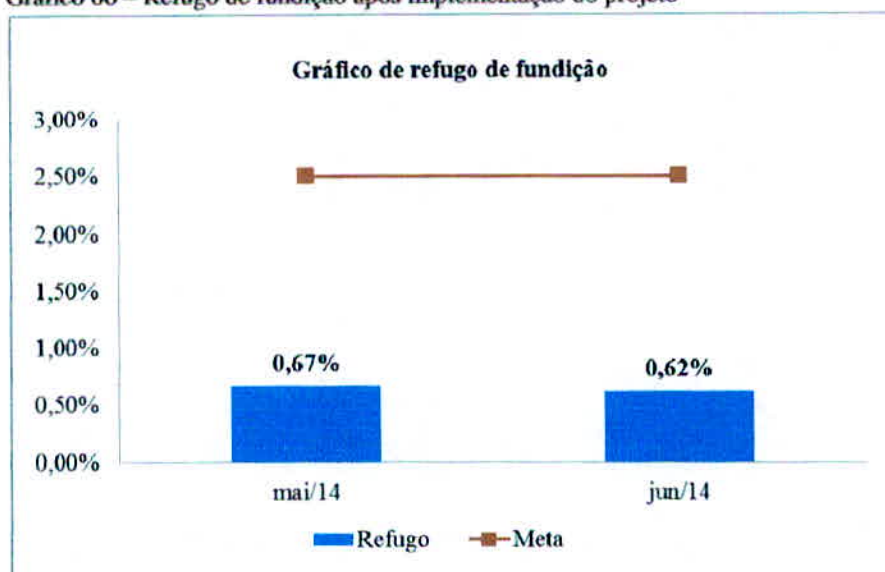
Figura 28 – Antes e depois da alteração nos pinos



Fonte: (O AUTOR).

d) Analisado o indicador de refugo de fundição após o projeto e observado acentuada diminuição.

Gráfico 06 – Refugo de fundição após implementação do projeto



Fonte: (O AUTOR).

7 CONCLUSÃO

Após a conclusão deste trabalho acadêmico fica nítida a parcela cada vez maior que o alumínio vem assumindo dentro do mercado. O alumínio proporciona leveza, preço satisfatório e além disso possibilita a fabricação de peças sofisticadas e com design moderno. Conhecendo o processo produtivo de uma fábrica de rodas de alumínio, foi de extrema relevância apresentar as propriedades mecânicas do alumínio e da adição de anteligas, que proporcionam segurança e garantem conformidade do produto para o cliente final.

Como foco deste trabalho tivemos o processo de fundição de rodas de alumínio, onde ficou nítida a importância dos meios de controle de qualidade e do uso de ferramentas que garantam a confiabilidade do produto. Com o mundo competitivo em que vivemos, a melhoria contínua dos produtos e processos torna-se questão de sobrevivência no cenário de mercado em que se encontra o setor automotivo, convivendo com constantes mudanças e focada cada vez maior na relação com o cliente. Fazendo com que a cadeia de fornecimento se adeque a esta realidade. Estamos nos direcionando para a tendência de filosofia enxuta com a aplicação de abordagens como o just-in-time e o uso das ferramentas da qualidade que tem como objetivo o melhoramento contínuo do processo e a busca pela qualidade máxima, exigida pelos clientes.

Com a análise do estudo de caso, conclui-se que a utilização de ferramentas da qualidade, quando bem implementadas e estruturadas pela empresa, atinge bons resultados e vantagem competitiva. Além de melhorias incrementais, redução de desperdício e aprimoramento contínuo de seus processos é importante enfatizar que o resultado só é atingido com a conscientização e participação de todos os colaboradores envolvidos, além do comprometimento da alta direção e de todos os níveis hierárquicos.

Com a finalização deste artigo, conclui-se que o melhoramento contínuo demanda gerenciamento tanto de habilidades e principalmente de pessoas, que devem estar comprometidas com a filosofia de melhoria contínua e dispostas a aderir às mudanças e adequações. A revolução deve acontecer primeiro pelas pessoas e nos pilares da cultura organizacional para posteriormente atuar efetivamente na prática.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO, 2014 Disponível em [HTTP://www.abal.com.br](http://www.abal.com.br) acesso em: 28 de junho de 2014, 15:30.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia mecânica: Processos de fabricação e tratamento**. São Paulo: Mc Graw Hill do Brasil, 1986.

CORRÊA, Henrique L.; GIANESI, Irineu G. N. **Justin in time, MRP II e OPT**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

CAMPOS, Vicente Falconi. **Controle da Qualidade Total (No Estilo Japonês)**. Belo Horizonte: DG Editors, 1992.

FUOCO, Ricardo. **Microporosidade de rodas fundidas**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1996.

FUOCO, Ricardo. **Processos de fabricação e defeitos típicos em rodas fundidas de alumínio**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1996.

MOTA, Edmarson Bacelar. et al. **Gestão da Qualidade**. 10. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2010.

TUBINO, Dalvio F. **Sistemas de Produção; a produtividade no chão de fábrica**. Porto Alegre: Bookman, 1999.