CENTRO UNIVERSITÁRIO CATÓLICO DE VITÓRIA

ADEVANIL DOS SANTOS SANTANA

IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS DEFEITOS DE FUNDIÇÃO ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE: ESTUDO DE CASO EM UMA FUNDIÇÃO DE PEÇAS METÁLICAS

VITÓRIA

2016

ADEVANIL DOS SANTOS SANTANA

IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS DEFEITOS DE FUNDIÇÃO ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE: ESTUDO DE CASO EM UMA FUNDIÇÃO DE PEÇAS METÁLICAS

Projeto do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Católica Salesiana do Espírito Santo, como requisito obrigatório para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.
Orientador: Prof. MSc. Flávio Lúcio de Carvalho.

VITÓRIA
2016

ADEVANIL DOS SANTOS SANTANA

IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS DEFEITOS DE FUNDIÇÃO ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE: ESTUDO DE CASO EM UMA FUNDIÇÃO DE PEÇAS METÁLICAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário Católico de Vitória, como requisito obrigatório para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Aprovado em 16 de dezembro de 2016, por:

_____

Prof. Msc. Flávio Lúcio de Carvalho – Orientador

_____

Prof. Msc. Fernando Oliveira Boechat, UCV.

_____

Prof. Msc. Wesley Lucas Breda, UCV.

Dedico este trabalho aos meus pais Adão e Nilda, autores da minha vida e a minha querida esposa Geane pelo seu apoio e seu amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

À Deus, autor e consumador de todas as coisas;

Ao meu orientador Msc. Flávio Lúcio Santos de Carvalho, que partilhou das minhas reflexões e do desenvolvimento deste trabalho;

Em especial aos professores Msc. Fernando Oliveira Boechat, Wesley Lucas Breda e também aos demais professores da graduação, pela socialização dos conhecimentos.

À UCV – Centro Universitário Católico de Vitória;

“[...] o sucesso não se alcança num dia, é uma longa jornada cheia de perigos e fracassos [...]” (Daniel de Oliveira), mas "A persistência é o caminho do êxito." (Charles Chaplin).

RESUMO

A fabricação de peça pelo processo de fundição consiste em fundir uma liga metálica e preencher uma cavidade de um molde, onde a forma corresponde à peça projetada, depois de sua completa solidificação. O processo de fundição de peças metálicas é versátil, devido à possibilidade de fabricação de peça única ou em série, com diferentes tamanhos de formato simples ou complexos, tornando-se um processo de fabricação bastante utilizado, devido baixo custo comparado quando aos outros processos de obtenção de peças. Desta forma o presente trabalho tratou de identificar os principais defeitos de peças metálicas fundidas, através de um estudo aplicado numa empresa de fundição para reposição de peças para uma usina integrada de siderurgia através do uso de ferramentas da qualidade. Para este estudo realizou-se levantamento bibliográfico sobre o processo de fabricação de peças metálicas por fundição e seus defeitos, realizou-se inspeções visuais nas peças fabricadas no período de dois meses e as ordens de produção que apresentaram defeitos tiveram suas informações registradas numa folha de verificação. Utilizou-se o software MINITAB® para construção do gráfico de Pareto e a sua análise indicou que os defeitos de inclusão de areia, seguido dos defeitos de porosidades, representavam 83,7% do total dos defeitos levantados. Construiu-se o diagrama de causa e efeito para cada um dos defeitos identificados. Determinaram-se os motivos das ocorrências de alguns defeitos de fundição e através da melhoria no processo realizada com auxílio do PDCA, aprimorou o procedimento de fabricação.

Palavras-chave: Defeitos. Fundição. Ferramentas da qualidade. Peças fundidas. PDCA.

ABSTRACT

The manufacture of parts by casting process consists of melting a metal alloy to fill the cavity of a pattern whose shape corresponds to the part designed after its complete solidification. It is a diversified process due to the possibility of making a single part or massively, with different simple or complex sizes and shapes, becoming a widely used manufacturing process because of low cost compared to other processes carried out in order to obtain parts. In this manner, the present paper is aimed to indentify the main flaws in cast metal parts by means of a study applied in a casting company of spare parts for an integrated steel plant through the use of quality tools. In order to do so, a literature review on metal parts manufactured by casting companies and on parts flaws was conducted, as well as a visual inspection of the parts produced in a two-month period. All information of the production orders which presented flaws was registered in a checksheet. MINITAB® software was used to develop a Pareto chart, and its analysis indicated that the abnormalities when adding sand, followed by flaws in porosity, represent 83.7% out of the total of all flaws detected. A cause and effect diagram was made for every effect. The reasons for the occurrence of some foundry defects were determined by the, and the manufacture process was improved by applying the PDCA method.

Keywords: Flaws. Casting. Quality Tools. Cast Parts. PDCA.

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 – Fotografia de defeito de rebarba metálica 49
Imagem 2 – Fotografia de defeito de veiamento 50
Imagem 3 – Fotografia de defeito de rebarba metálica em ângulo 51
Imagem 4 – Fotografia de defeito de levantamento do molde.....52
Imagem 5 – Fotografia de defeito de macho quebrado.....53
Imagem 6 – Fotografia de porosidade em peça de Bronze.....55
Imagem 7 – Fotografia de porosidade em peças de Aço 56
Imagem 8 – Fotografia de porosidade em peça de Cobre 56
Imagem 9 – Fotografia de defeitos de rechupes em peças metálicas.....57
Imagem 10 – Fotografia de defeito de trinca à frio 58
Imagem 11 – Fotografia de defeito de esmagamento 60
Imagem 12 – Fotografia de defeito de peça incompleta.....61
Imagem 13 – Fotografia da posição dos defeitos de inclusão de areia.....87
Imagem 14 – Fotografia de defeitos encontrados de inclusões de areia 87
Imagem 15 – Forma anterior de preparação e pintura dos moldes.....89
Imagem 16 – Forma atual de preparação do molde de barra de grelha 90
Imagem 17 – Fotografia das peças que apresentaram defeitos porosidade.....92
Imagem 18 – Fotografia de pote de escória com defeitos porosidades 92
Imagem 19 – Fotografia de defeitos porosidades encontrado no pote de escória 93
Imagem 20 – Fotografia de roda com defeitos porosidades 93
Imagem 21 – Fotografia de chapa de desgaste com porosidade.....94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de fabricação 33
Figura 2 – Fases de confecção do molde em casca **40**
Figura 3 – Fluxograma de produção de peça metálica fundida 42
Figura 4 – Ilustração de defeito de rebarbar metálica 48
Figura 5 – Ilustração de defeito de veiamento 49
Figura 6 – Ilustração de defeito de rebarba metálica em ângulo 50
Figura 7 – Ilustração de defeito de levantamento do molde 51
Figura 8 – Ilustração de defeito de erosão de areia 52
Figura 9 – Ilustração de defeito de macho quebrado 53
Figura 10 – Ilustrações de defeitos de porosidades dispersos 55
Figura 11– Ilustrações de defeitos de porosidades concentrada **55**
Figura 12 – Ilustrações de defeitos de rechupes 57
Figura 13 – Ilustração de defeito de trica à frio 58
Figura 14 – Ilustração de trica a quente em peça 59
Figura 15 – Ilustrações de condição defeitos esmagamento 59
Figura 16 – Ilustrações de defeitos expansões da areia 60
Figura 17 – Ilustrações de defeitos de peças incompletas 61
Figura 18 – Ilustrações de defeitos devido à falta de metal no vazamento 62
Figura 19 – Ilustração de falta de metal devido a vazamento do molde 63
Figura 20 – Ilustração de defeito devido à contração 63
Figura 21 – Ilustração de inclusão em peças fundida 64
Figura 22 – Exemplo de Gráfico de Pareto 71
Figura 23 – Fluxograma das etapas de fabricação das peças de barras de grelhas 85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Etapas de controle de qualidade em fundição de peças metálicas 46
Tabela 2 – Produção mundial de fundidos 66
Tabela 3 – Projeção da demanda de material fundido 67
Tabela 4 – Folha de verificação desenvolvida para coleta de dados 80
Tabela 5 – Totais defeitos de fundição levantados na coleta de dados 81

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Produção brasileira de materiais fundidos últimos dez anos 66
Gráfico 2 – Destinação da produção brasileira de materiais fundidos.....67
Gráfico 3 – Gráfico de Pareto dos defeitos de fundição 82

LISTA DE DIAGRAMAS

Diagrama 1 – Causa e efeito inclusão de areia em peças metálicas fundidas.....84
Diagrama 2 – Identificação das causas de inclusão de areia.....88
Diagrama 3 – Causa e efeito da porosidade nas peças metálicas fundidas 91

LISTA DE SIGLAS

ABIFA – Associação Brasileira de Fundição

ABM – Associação Brasileira de Metalurgia

AFS – Sociedade Americana de Fundição

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **31**
2 REFERENCIAL TEÓRICO **33**
2.1 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO. 33
2.2 PROCESSOS DE FUNDIÇÃO **34**
2.2.1 Tipos de processos de fundição 34
2.2.1.1 Fundição em areia 35
2.2.1.2 Fundição em moldes permanentes 40
2.2.1.3 Fundição em coquilha Sob Pressão 40
2.2.1.4 Fundição com cera perdida 41
2.2.2 Etapas do processo de fundição **41**
2.2.2.1 Desenho da peça 42
2.2.2.2 Projeto / Confecção do modelo 42
2.2.2.3 Confecção do molde 43
2.2.2.4 Confecção do macho 43
2.2.2.5 Fusão 43
2.2.2.6 Vazamento 44
2.2.2.7 Desmoldagem 44
2.2.2.8 Rebarbação e limpeza 45
2.2.2.9 Controle de qualidade numa fundição de peças 45
2.2.3 Defeitos de fundição. 46
2.2.3.1 Saliências metálicas 48
2.2.3.1.1 Rebarbas metálicas 48
2.2.3.1.2 Veiamento 49
2.2.3.1.3 Rebarba de ângulo 50
2.2.3.1.4 Levantamento do Molde 51
2.2.3.1.5 Erosão de areia 52
2.2.3.1.6 Macho quebrado 53
2.2.3.2 Cavidades 54
2.2.3.2.1 Porosidades 54
2.2.3.1.2 Rechupes 56
2.2.3.3 Descontinuidades 57
2.2.3.3.1 Trincas à frio 57
2.2.3.3.2 Trincas à quente 58

2.2.3.4 Superfície defeituosa 59
2.2.3.4.1 Esmagamento 59
2.2.3.4.2 Expansão da areia 60
2.2.3.5 Peças Incompletas 61
2.2.3.5.1 Falta de enchimento 61
2.2.3.5.2 Falta de metal 62
2.2.3.5.3 Molde vazando 62
2.2.3.6 Dimensões ou forma incorretas 63
2.2.3.6.1 Defeito devido à contração 63
2.2.3.7 Inclusões 64
2.2.3.7.1 Inclusões endógenas 64
2.2.3.7.2 Inclusões exógenas 64
2.3 FUNDIÇÕES NO BRASIL 65
2.3.1 Histórico das fundições brasileiras 65
2.3.2 Características gerais das fundições brasileiras 65
2.3.2.1 Produção mercado interno 65
2.3.2.2 Produção brasileira de materiais fundidos 66
2.3.2.3 Mercado interno 67
2.3.2.4 Projeção da demanda 67
2.4 QUALIDADE 68
2.4.1 Conceito de qualidade 68
2.4.2 Ferramentas da qualidade 69
2.4.2.1 Diagrama de dispersão 69
2.4.2.2 Gráfico de Pareto 70
2.4.2.3 Histograma 71
2.4.2.4 Diagrama de causa e efeito 71
2.4.2.5 Fluxograma 73
2.4.2.6 Folha de verificação 73
2.4.2.7 Gráficos de controle. 74
2.5 MELHORIA CONTÍNUA 75
2.5.1 Filosofia Kaizen 75
2.5.2 Método de melhoria PDCA 76
3 METODOLOGIA 79
3.1 CONSTRUÇÃO DA FOLHA DE VERIFICAÇÃO 80

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES **83**
4.1 CONSTRUÇÃO DO GRÁFICO DE PARETO 84
4.2.UTILIZAÇÃO DA FILOSOFIA PDCA NO PROBLEMA DE INCLUSÕES 85
4.2.1 Plano de ação para eliminação dos defeitos de inclusão de areia **90**
4.2.1.1 Propostas para eliminação das inclusões de areia nas barras de grelhas 90
4.2.1.2 Mudanças realizada na preparação dos moldes de barras de grelhas 90
4.2.1.3 Segurança e ergonomia da melhoria no processo 92
4.2.2 Utilização da filosofia PDCA no problema de cavidade **93**
4.2.2.1 Plano de ação para eliminação dos defeitos de porosidades 96
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS **99**
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **101**
APÊNDICE A – Defeitos encontrados 107
APÊNDICE B – Defeitos encontrados 109

1 INTRODUÇÃO

No cenário atual, com globalização da economia e a crise na qual o Brasil se encontra neste ano de 2016, as empresas devem buscar redução de custo, a fim de manter-se competitivas no mercado. Para atingir esse objetivo é necessária a manutenção da estabilidade de seus processos, pois retrabalho e desperdícios de recursos impactam diretamente o custo final dos produtos ou serviços, comprometendo significativamente a sua competitividade no mercado.

O ramo de fabricação de peças metálicas fundidas é um bom exemplo, pois apesar do aumento da produção, enfrentam um mercado cada vez mais acirrado com alta competitividade entre as empresas. Portanto, devem aperfeiçoar a qualidade e desenvolvimento de seus produtos, buscando reduzir seus custos e prazos de entregas dos produtos (BRAGA, 2012).

Em termos dos custos de fabricação de peças metálicas fundidas a maior parcela refere-se ao material metálico utilizado na fusão e a mão de obra empregada na produção das peças. Cerca de 75% do custo de uma peça metálica fundida estão relacionados com o valor do material e mão de obra aplicada (BRAGA; SILVA; ALVES, 2005). Dessa forma, produzir peças defeituosas impacta negativamente na produtividade de uma fundição. No nível simples de compreensão, defeitos de fundição se manifestam como os custos de retrabalhos, ou seja, custos de fundição para produção de peças sucateadas (PRIBULOVÁ; BARTOŠOVÁ; BARICOVÁ, 2013).

As peças fabricadas pelo processo de fundição, raramente são um produto de aplicação final. Quase sempre sofrem um processo de usinagem e são montadas com outras peças para construção de um produto final (SOAREZ, 1987). Em alguns casos, os defeitos são descobertos somente nas fases de usinagem, montagem ou durante a utilização da peça, sendo que o custo de produção da peça defeituosa acrescidos do custo de garantia transmitida para empresa que fabricante, pode torna o negócio inviável (PRIBULOVÁ; BARTOŠOVÁ; BARICOVÁ, 2013).

Quando se tratam de indústrias siderúrgicas, existem equipamentos que necessitam constantemente de manutenções e substituições de peças desgastadas, devido às características de operação e por trabalharem em temperaturas elevadas. São os casos

das unidades produtivas como coqueria, sinterização, alto-forno, aciaria, lingotamento contínuo e laminador de tiras a quente.

A fundição estudada é responsável pelo fornecimento de várias peças de reposição para as unidades produtivas de uma usina integrada de siderurgia, mas devido o processo de fundição envolver várias etapas, podem enfrentar variações nos seus processos de fabricação, afetando a qualidade da peça produzida. Numa fundição a principal causa de instabilidade em seu processo são os defeitos que ocorrem na fabricação das peças metálicas fundidas. Estes defeitos estão relacionados à moldagem da peça, desprendimento de gases e segregação (OLIVEIRA, B., 2013). Portanto, quais os principais defeitos que podem ocorrer no processo de fundição de peças?

De acordo com Oliveira, Gobbo e Cesar (2006) o gerenciamento da qualidade é essencial para as empresas manterem seus processos adequados, sendo necessário o envolvimento de todos os setores da organização. Deste modo, deve haver um controle de qualidade das peças metálicas fundidas. Esse controle ocorre desde a matéria prima utilizada para fabricação da peça, no produto semiacabado, nos processos subsequentes e na peça totalmente acabada (SOAREZ, 1987).

Portanto, a gestão da qualidade na fundição deve realizar uma detalhada análise de um defeito de fundição, determinar as causas e programar as ações corretivas eficazes para prevenir a ocorrência desses defeitos.

O objetivo geral desse trabalho foi a identificar os principais defeitos que ocorreu no processo de fabricação de uma fundição, responsável por suprir a demanda de peças metálica fundidas de uma usina integrada de siderurgia, utilizando ferramentas de qualidade. Para alcançar esse objetivo geral foram desdobrados nos objetivos específicos de levantamento bibliográfico sobre processo metalúrgico de fundição e seus defeitos; Utilizado folha de verificação para coleta de dados sobre as ocorrências de defeitos de fundição nas peças metálica inspecionadas visualmente; Construído gráfico de Pareto identificando os principais defeitos de fundição; Construído o diagrama de causa e efeito determinando as causas que favoreceram o surgimento dos defeitos de fundição nas peças; Foi utilizada a metodologia do ciclo PDCA para reduzir o defeito que apresentava maior volume de ocorrência.

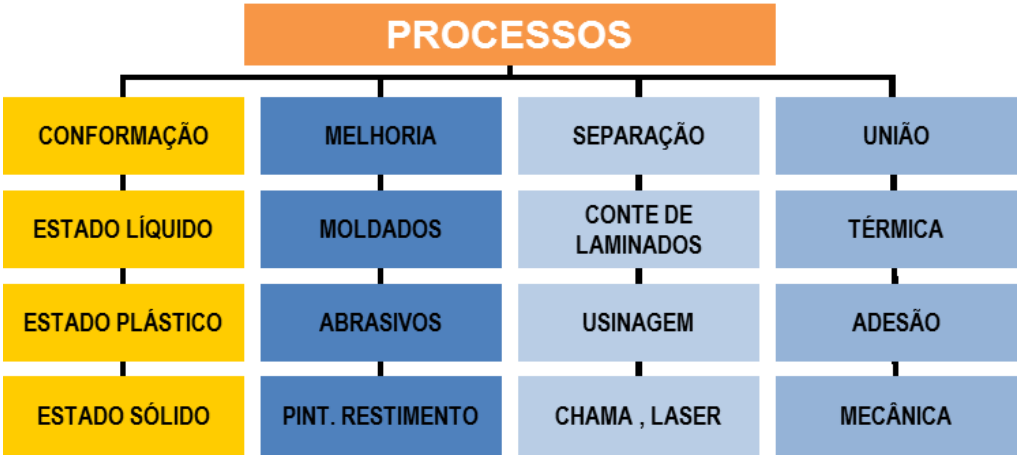
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO.

Durante muitos anos, o homem vem criando técnicas de fabricações para suprir suas necessidades, atualmente existem uma variedade de maneiras de processamentos de fabricação de produtos. Sendo possível produzir desde pequenas esferas de aços até produtos sofisticados como jatos supersônicos (MIRANDA, 2012).

Para fabricação de um componente ou produto, a matéria-prima utilizada na fabricação, passa por uma série de transformação e processamentos. De acordo com Lima (2006) existem quatro grupos de processamento, sendo eles: conformação, melhoria, separação e união, que quando utilizados de forma coerente, se obtém um produto ou componente projetado. O quadro abaixo mostra estes quatro grupos de processamento e sua subdivisão.

Figura 1 – Processo de fabricação



Fonte: adaptado (LIMA, 2006)

O processo de conformação divide-se em processos metalúrgicos e mecânicos. Nos metalúrgicos, as modificações das formas físicas são feitas com altas temperaturas e nos processos mecânicos são obtidas pela aplicação de tensões externas (LIMA, 2006).

2.2 PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Os processos de fabricação são apresentados na figura acima, todavia, neste trabalho será comentado apenas o processo de conformação no estado líquido, ou seja, o processo de fabricação por fundição.

Processo de fabricação por fundição consiste em preencher com metal estado líquido, em geral, uma liga metálica de Aço, Alumínio, Cobre, Ferro, Magnésio ou Zinco, uma cavidade no interior de um molde com o formato da peça requerida, seguindo-se de resfriamento, a fim de produzir uma peça após a solidificação (MORO; AURAS). O metal utilizado poder ser na forma de lingote, sucatas metálicas, sendo aquecido até seu ponto de fusão.

“Entre os métodos de produção de peças de metal o processo por fundição é um dos mais antigos, sendo o processo mais versátil para fabricação de componentes metálicos” (SANTOS et al., 2011, p.1). E ainda de acordo com Baldam e Vieira (2013) a produção de peças por fundição é o caminho mais curto para obtenção da peça pronta, tornando o processo de fundição atrativo e econômico.

Entre os processos de fabricação, a fundição destaca-se pelo fato da possibilidade de produzir peças de variadas formas geométricas, dimensões e aplicações. As peças podem ser fabricadas pelo processo unitário ou seriado. Sendo possível a produção de peças com poucos gramas a exemplo de joias, até peças com dezenas de toneladas como turbinas de hidroelétricas, potes de escórias de aciarias (BALDAM; VIEIRA, 2013).

De acordo com Soares (2000, p.1) [...] “Essa variedade é obtida não com um único processo e sim escolhendo-se dentre os processos disponíveis o que melhor se adapta às exigências do cliente e produz o lote encomendado com o mínimo custo dentro do prazo estipulado”.

2.2.1 Tipos de processos de fundição

Dentre os processos de metalúrgico de fundição disponíveis, existem os seguintes processos:

- ✓ Fundição em areia;
- ✓ Fundição em moldes permanentes;
- ✓ Fundição em coquilha (Sob Pressão);
- ✓ Fundição com cera perdida.

Para Baldam e Vieira (2013) os principais processos de fundição são moldagem e areia, fundição de precisão, fundição em moldes permanentes, fundição sobre pressão, fundição centrífuga, fundição contínua, fundição em estado semissólido ou também conhecido com tixoconformação.

2.2.1.1 Fundição em areia

Para Rubio, Panzera e Nogueira (2006, p. 1).

> A moldagem em areia, apesar de sua origem remota, é ainda hoje o processo mais amplamente empregado para a obtenção de peças fundidas. A versatilidade e economia deste processo permitem a sua liderança em confronto com os demais processos existentes.

Para produção do molde em areia geralmente são utilizadas areia de Sílica, Zircônita, Cromita ou Sílica Vítrea, aglomeradas por ligantes como argila, resina, Silicato de Sódio, ou cimento. Esse proceso de obteção do molde é composto por vários métodos, entre estes podemos citar moldagem em areia com argila, ligantes químicos, *shell molding e cold box* (BALDAM; VIEIRA, 2013)

Existem vários tipos de processo de moldagem em areia, os mais utilizados para produção de peças fundidas são:

- ✓ Moldagem em areia verde;
- ✓ Moldagem em areia a seco;
- ✓ Moldagem em areia aglomerada com resina;
- ✓ Moldagem por processo de cura a frio com Silicato de Sódio e CO_2;
- ✓ Moldagem em areia cimento;
- ✓ Moldagem em casca.

Conforme Lima (2006) o processo de fundição em areia depende da fabricação e manutenção dos modelos para a fabricação de moldes ou machos. Esses moldes podem ser fabricados em ceras, madeiras, metais, poliestireno expandido e resinas.

Para obtenção do molde em areia, é posicionada uma caixa metálica ou de madeira sobre o modelo, preenche-se com areia misturada com aglomerante, que provocará a união dos grãos de areia. Após o enrijecimento da areia, o molde é virado do lado contrário, sem a retirada do modelo, são posicionados os canais de alimentação metálica, massalotes e uma nova caixa para moldagem da outra parte da peça.
Após enrijecimento total do molde o modelo é extraído e realizado à preparação e pintura do molde com tinta refratária de grafite à base de álcool etílico ou Zircônita e Alumina à base de água. Como o molde totalmente seco são posicionados cordões de vedação nas extremidades da caixa e o molde é fechado, parte superior sobre a inferior, travado para receber o metal líquido.

a) Moldagem em areia verde

A fabricação de peças metálicas fundidas em moldes de areia verde é o mais empregado nas fundições, pois são econômicos, podendo ser utilizado para produção de moldes manualmente ou em séries para peças metálicas ferrosas e não ferrosas (BALDAM; VIEIRA, 2013).
Para construção do molde, a mistura de areia de sílica, argila e água, é compactada sobre o modelo. Após essa etapa o modelo é retirado, são colocados os machos quando nescessários, os moldes são fechados, travados e enviados para etapa de vazamento do metal líquido para obtenção da peça requerida (BALDAM; VIEIRA, 2013).
A qualidade da areia utilizada na moldação das peças por este processo influência considerável na qualidade das peças metálica fabricada, devido ao um cojunto de propriedas da moldagem em areia verde (SENAI, 1987 apud BALDAM; VIEIRA, 2013).

b) Moldagem em areia a seco

O processo de moldagem em areia a seco é indicado para fabricação de peças maiores, podendo ser produzidas moldes para peças médias às grandes com qualidade e que possuam tolerâncias dimensionais (BALDAM; VIEIRA, 2013).

O Molde é produzido de maneira idêntica ao processo de moldagem em areia verde, porém a operações normalmente são realizadas dentro de uma estufa, a fim de garantir que a areia continue seca neste processo (BALDAM; VIEIRA, 2013).

O tipo de areia geralmente aplicada na moldagem em areia a seco são sintética ou semissintética aglomeradas com resinas orgânicas, com objetivo de obter moldes com boa resistência.

As peças produzidas em moldes de areia a seco, possuem boa qualidade em questão de defeitos de porosidades, pois os moldes fabricados por esse processo possuem boa permeabilidade.

É possível obter molde com boa resistência à erosão de areia e peças mais precisas, quanto a sua dimensão, quando o molde produzido é secado em estufas (BALDAM; VIEIRA, 2013).

c) Moldagem em areia aglomerada com resina

As resinas aplicadas na aglomeração da areia são classificadas em resinas termoplásticas que amolecem devido a calor e resinas termofixas que não amolecem pelo fato de ser infusível, rígida e insolúvel, após reação química de polimerização por ação de um catalisador ou do calor (BALDAM; VIEIRA, 2013).

A moldagem é semelhante aos processos anteriores, porém o molde só adquire resistência mecânica e pode ser manuseado, após a cura da areia que pode ser imediata se o catalisador empregador for gasoso ou demorar horas, dependendo da quantidade utilizada na mistura, concentração do ativo catalisador utilizado, e temperatura da areia.

d) Moldagem por processo de cura a frio com Silicato de Sódio e CO_2

A moldagem por processo de cura a frio é semelhante ao processo de areia verde e após o enchimento da caixa com areia convencional misturada com silicato de sódio é

realizada uma passagem de Gás Carbônico, CO_2, que provoca reação química responsável pelo enrijecimento do molde (BALDAM; VIEIRA, 2013).
A cura da areia misturada com Silicato de Sódio ocorre devido ao princípio físico químico de formação de sílica gel, água, Carbonato e Bicarbonado de Sódio, desidratação do Silicato de Sódio por reação com CO_2, e desidratação do Siliticato por difusão da umidade para atmosfera (BALDAM; VIEIRA, 2013).

e) Moldagem em areia-cimento

O processo de moldagem em areia-cimento é semelhante ao de areia seca dispensando a secagem dos moldes em estufas, grande vantagem, devido a economia do custo operacional somada com a não necessidade de investimento em equipamento do tipo estufa (BALDAM; VIEIRA, 2013).
Os moldes são constituídos por areia de Sílica, cimento *Portland* e água. A mistura é preparada em misturadores convencionais e os moldes são preenchidos e efetuada a compactação por impactos mecânicos ou manualmente (BALDAM; VIEIRA, 2013).
O modelo é retirado do molde antes da pega do cimento, para evitar sua danificação tanto do modelo quanto do molde. A secagem do molde ocorre entre quarenta e oito a noventa e seis horas, condicionada ao tipo de cimento utilizado na mistura (BALDAM; VIEIRA, 2013).
O tempo entre a moldagem e vazamento do metal líquido no molde é demorado, pois é necessário que os moldes estejam totalmente secos. Portanto esse processo de moldagem em areia-cimento é indicado apenas para peças com grandes dimensões, porem esse processo têm sido substituidos por processo de moldagem com resina a base de Álcool Furfurílico (BALDAM; VIEIRA, 2013).

f) Moldagem em casca (Shell Molding)

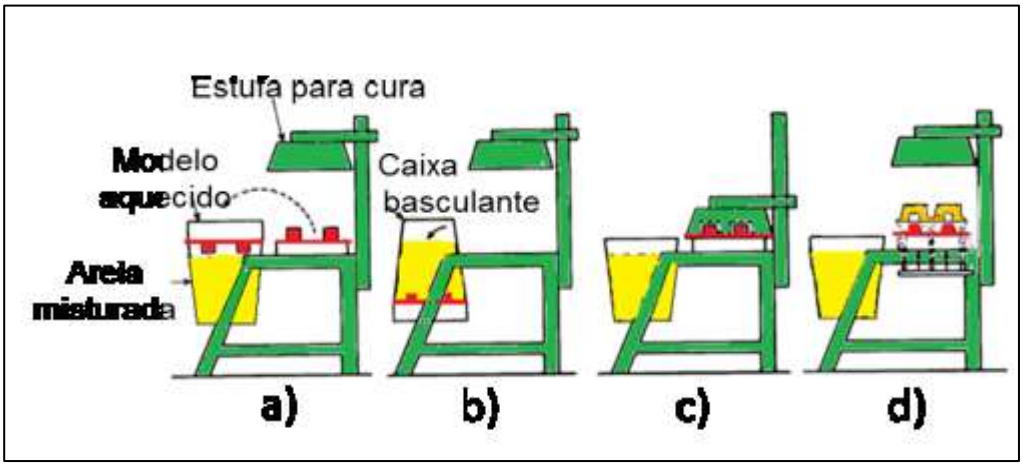
A moldagem em casca é utilizada para obtenção de peças metálicas que requere precisão e bom acabamento superficial. Sua moldagem pode ser manual ou mecanizada (AGOSTINHO; BUTTON, 2004, p.12).

Para fabricar moldes de peças por casca, utiliza-se uma areia extremamente fina misturada a uma resina fenólica sintética, endurecida pelo calor geralmente em temperaturas superior a 170ºC. Para (CHIAVERINI, 1986) o processo de moldagem em casca consiste em colocar a areia misturada com aglomerante sobre a superfície do modelo metálico aquecido a temperatura entre 177ºC e 260ºC, os grãos de areia são sintetizados, obtendo-se o molde na forma de uma casca rígida e resistente que pode ser a metade de um molde ou dividida ao meio e colada formando um molde completo.

De acordo com Chiaverini (1986) as etapas de moldagem do molde em casca são:

- ✓ Etapa A – A placa metálica com o formato do modelo é montada numa máquina e aquecida por bicos de gás e ar comprimido a uma temperatura entre 177ºC e 260º C. Depois que a placa atingiu a temperatura de trabalho é posicionada sobre o reservatório, caixa metálica basculante, de areia e resina;
- ✓ Etapa B – A caixa é girada em 180º para que a mistura do reservatório cubra o modelo aquecido.
- ✓ Etapa C – A resina da mistura é fundida provocando união das partículas da areia formando um revestimento na forma de uma casca no modelo, sendo que a espessura obtida pode variar de 5 a 9 mm, dependendo da temperatura e o tempo de contato da mistura com o modelo. Então volta-se o conjunto para posição normal.
- ✓ Etapa D – O modelo com a película de areia é estufado numa temperatura a cerca de 315ºC para que ocorra a cura total da areia do molde e após a cura total acionam-se os pinos extratores e a casca é extraída.
- ✓ Etapa E – A casca é partida no meio ou é fabricada outra casca de modelo idêntico, onde são colocados os machos da peça e colada com auxílio de uma prensa.

Figura 2 – Fases de confecção do molde em casca



Fonte: Adaptado (CHIAVERINI, 1986)

2.2.1.2 Fundição em moldes permanentes

Utilizados para produção em larga escala de peças fundidas pequenas e simples, utiliza-se moldes permanentes, as peças produzidas possuem um bom acabamento superficial e vários detalhes (AGOSTINHO; BUTTON, 2004, p.12).

É um processo no qual são utilizados moldes metálicos, geralmente conhecidos como lingoteiras, possuindo a forma desejada da peça a ser fabricada. O metal fundido geralmente é despejado na parte superior, através de canais de alimentação, garantido um preenchimento mais uniforme do molde.

2.2.1.3 Fundição em coquilha Sob Pressão

“Nesse os moldes são permanentes, porém o metal líquido é mantido sobre pressão positiva durante a solidificação” (AGOSTINHO; BUTTON, 2004, p.12).

É um processo onde o molde também é metálico, bipartidos, porém é fechado no instante da pressurização do metal líquido. Trata-se de um processo onde se deseja obter peças bastante complexas e de espessuras finas, onde é difícil utilização do processo por gravidade. A pressão é mantida até a solidificação completa da peça.

2.2.1.4 Fundição com cera perdida

“[...] O modelo é feito de cera ou de plástico, molde é conformado em torno deste e o metal líquido é vazado sem a retirada do modelo, o qual vai se decompondo progressivamente até que o metal preencha totalmente o molde” (AGOSTINHO; BUTTON, 2004, p.12).

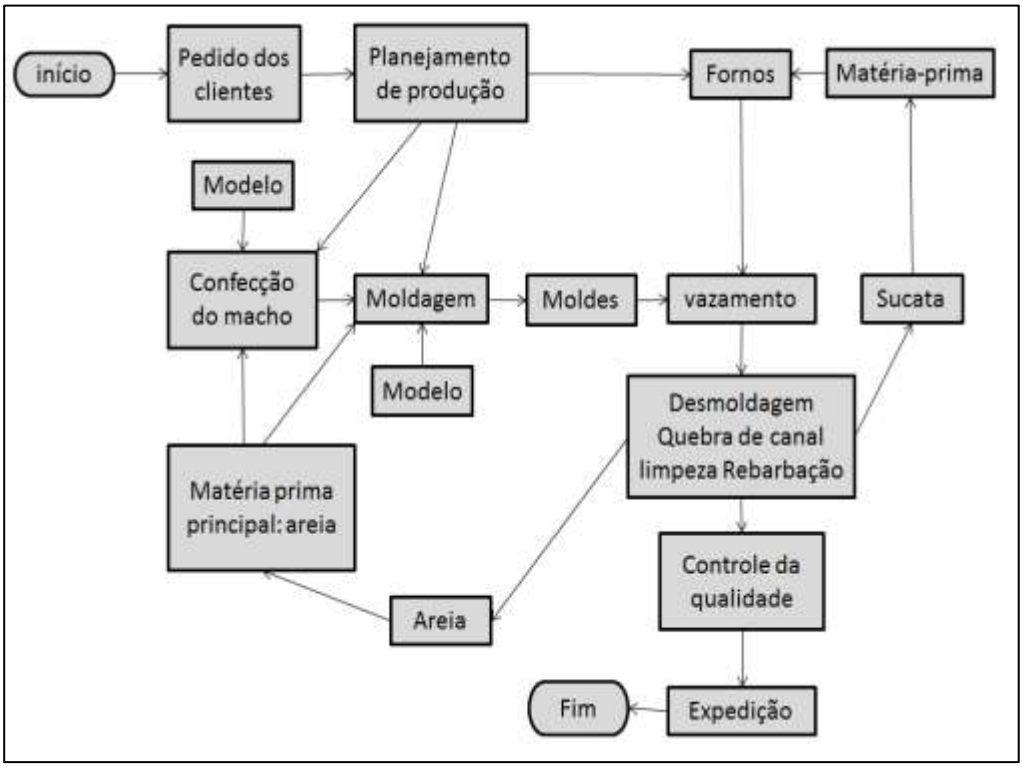
É um processo onde se deseja peças precisas. O que se diferencia em muitos dos outros processos de fundição é que neste processo o modelo é consumido, sendo revertido por uma mistura de massa refratária que é endurecida na temperatura ambiente ou aquecida a uma adequada temperatura. Devido ao modelo ser de cera durante aquecimento ele se funde, sendo a cera eliminada, proporcionando uma cavidade na qual será preenchida pelo metal líquido, produzindo a peça desejada.

2.2.2 Etapas do processo de fundição

De acordo com Chiaverini (1914, p. 9) “as etapas do processo de fundição são desenho das peças, projeto do modelo, confecção do modelo, confecção do molde, fusão do metal, vazamento do molde limpeza e rebarbação e controle de qualidade”.

Para Baldam e Vieira (2013) as etapas de fabricação de uma peça fundida requer as etapas de projeto, confecção do modelo e caixa de macho e fabricação da peça fundida. Ainda para esses autores a fábrica de fundição se subdivide em preparação da areia para moldação, etapa de moldação, confecção dos machos, fusão do metal líquido, vazamentos do metal líquido nos moldes e acabamento das peças a partir da rebarbação e limpeza das peças.

Figura 3 – Fluxograma de produção de peça metálica fundida



Fonte: adaptado (WOBERTO apud BALDAM; VIEIRA 2013)

2.2.2.1 Desenho da peça

“Consiste em projetar a peças a ser fundida, levando em conta os fenômenos que ocorrem na solidificação do metal no interior do molde, de modo a evitar que os defeitos que aparecem nas peças solidificadas” (CHIAVERINI, 1914, p. 9).

2.2.2.2 Projeto / Confecção do modelo

“Consiste em construir um modelo de madeira, metal, plástico, gesso com o formato da peça a ser fundida”. (MORO; AURAS, 2007, p. 7).

Para o processo de modelagem ou modelação consiste em construir uma réplica das peças que seja fundida, esse modelo tem a finalidade de imprimir as formas e dimensões das peças no molde de fundição e composto pelo modelo da peça, modelo dos canais de alimentação e modelo dos massalotes (BALDAM; VIEIRA, 2013).

Os modelos são matrizes com a formar aproximada da peça a ser fabricado, ele servirá para a confecção do molde, sendo que em sua construção deve ser prevista a contração do metalostática.

2.2.2.3 Confecção do molde

“Recipiente onde o metal fundido será despejado para que se obtenha a peça desejada. É feito de material refratário obtido a partir do modelo que, depois de retirado, deixa uma cavidade com o formato da peça” (MORO; AURAS, 2007 p. 7).
O molde é um negativo do modelo. São fabricados de materiais refratários, geralmente é feito como areia aglomerada ou de material metálico, onde sua cavidade dará o formato da peça a ser fundida.
Os moldes geralmente são construídos de areia verde, areia seca, areia-cimento, areia de macho e areia de *Shell Molding.* Porém a moldagem em areia verde é o processo de construção de molde mais empregado nas fundições (BALDAM; VIEIRA, 2013).

2.2.2.4 Confecção do macho

“O macho peça feita de refratário, que tem a finalidade de formar os vazios, furos e reentrâncias da peça. São colocados nos moldes antes que eles sejam fechados para receber o metal líquido” (MORO; AURAS, 2007, p. 7).

2.2.2.5 Fusão

“Fusão é aquecimento do metal até o estado líquido” (MORO; AURAS, 2007, p. 7).
Existem vários tipos de fornos no qual é possível fundir uma carga metálica. De acordo com Chiaverini (2006) podem ser empregados na fundição de peças metálicas os fornos cubilôs, fornos de indução elétrica de alta frequência, fornos elétricos a arco e fornos de arco indireto, tipo Detroit.

Segundo Baldam e Vieira (2013) a fusão do metal pode ocorre em:

- ✓ Forno a cadinho;
- ✓ Forno elétrico a indução;
- ✓ Forno de indução a canal;
- ✓ Forno de indução a cadinho;
- ✓ Forno elétrico a arco;
- ✓ Forno cubilô;
- ✓ Forno a vácuo.

Apos a fusão total da carga metálica são retiradas amostras e feita análise da composição química e temperatura do metal líquido. Se o resutado não atender os requisitos é feita a correção, logo após a escória formada sobre o banho é removida e o metal fundido está pronto para vazamento.

2.2.2.6 Vazamento

“É o enchimento do molde com metal líquido” (MORO; AURAS, 2007, p. 7).

O vazamento de peças numa fundição é o transporte do metal líquido devidamente tratado e despejado numa altura pequena no funil de vazamento alimentando do molde da peça (BALDAM; VIEIRA, 2013).

Essa operação de transporte da panela com metal líquido até o molde por ser manual, para pequenas peças, ou auxiliado com equipamentos com talhas ou ponte rolantes, em fundições não seriadas, ou em equipamentos automatizados de vazamento para fundição que produz grandes volumes de peças por hora. Todavia, trata-se de uma operação que requer bastante atenção, devido à proximidade com carga metálica líquida com elevadas temperaturas.

2.2.2.7 Desmoldagem

“Após a solidificação das peças fabricadas e passado tempo suficiente para devido resfriamento, segue-se com o processo de desmoldagem que consiste na separação da peça da areia do molde” (BALDAM; VIEIRA, 2013, p. 305).

A desmoldagem é a retirada da peça metálica fundida da areia, após resfriamento (BALDAM; VIEIRA, 2013). O processo de desmoldagem manual é conhecido como choques, onde as caixas são deixadas caírem no chão ou em um poço adequado. A desmoldagem mecânica por processo vibratório, onde as caixas posicionadas sobre uma mesa vibratória ou sustentadas por um suporte com vibradores.

2.2.2.8 Rebarbação e limpeza

As peças desmoldadas seguem por um processo de retirada de todos os vestígios de areia por processo de jateamento abrasivo, hidro jateamento, limpeza vibratória, limpeza utilizando abrasivos ou nos casos mais simples limpeza manual com escova de aço (BALDAM; VIEIRA, 2013).

A rebarbação “é a retirada dos canais de alimentação, massalotes e rebarbas que se formam durante a fundição, além da retirada das incrustações do molde na peça fundida, geralmente por meio de jatos abrasivos” (MORO; AURAS, 2007, p. 7).

2.2.2.9 Controle de qualidade numa fundição de peças

Para atender as exigências dos clientes, as fundições devem garantir uma boa qualidade, entregando os pedidos das peças fabricadas com a qualidade combinada e de acordo as normas nacionais ou internacionais para os produtos fabricados (BALDAM; VIEIRA, 2013).

Segundo Chiaverini (2006) a inspeção de peças fundidas tem objetivo de rejeitar as peças defeituosas, preservar a qualidade das matérias-primas e a mão de obras utilizadas na fundição.

“O controle da qualidade, do ponto de vista metalúrgico, tem por finalidade o controle das propriedades e da estrutura dos materiais metálicos”. (SOAREZ, 1987). O controle

de qualidade “É a verificação da conformidade da peça (ausência de defeitos)” (MORO; AURAS, 2007, p. 7).

De acordo com Chiaverini (2006) o controle de qualidade na fabricação de peças fundidas compreende nas seguintes etapas:

Tabela 1 – Etapas de controle de qualidade em fundição de peças metálicas

Controle de qualidade em peças fundidas	
Inspeção visual	A inspeção visual é empregada apenas para detecção de defeitos visíveis de fundição, resultante das operações de moldagens das peças, posicionamentos de machos, vazamento de metal incompleto, limpeza e acabamento (BALDAM; VIEIRA, 2013).
Inspeção dimensional	A inspeção dimensional é realizada nas peças através de uma seleção amostral, ou seja, é realizada numa pequena porcentagem de peças, geralmente quando será fabricada uma serie de peças com novo modelo é adequado que essa inspeção ocorra logo nas primeiras peças a serem produzidas, evitando assim desperdício caso as peças estejam com dimensões erradas. “Uma peça de fundição pode ter suas dimensões obtidas por processos de metrologia convencional, ou pode ser classificada como aceite ou rejeitada” (FERREIRA apud BALDAM; VIEIRA, 2013, p. 328).
Inspeção metalúrgica	A inspeção metalúrgica é uma etapa com maior complexidade e exige maior tempo para sua realização, pois envolve análise química, exames de metalografia, ensaios mecânicos, ensaios não destrutivos (BALDAM; VIEIRA, 2013).
Análise química	A análise química é realizada após a fusão do metal em amostras retirada do banho metálico. O vazamento do metal nos moldes só ocorre caso os resultados das amostras estejam dentro da faixa de normalidade baseada na composição química requerida pelo cliente. De acordo com Baldam e Vieira (2013) pode ser utilizada para análise química a espectrometria de emissão, onde a amostra é analisada numa câmara de evaporação através do comprimento das ondas emitidas pelo processo de difração.
Exame metalográfico	É um ensaio destrutivo, pode se realizado numa amostra retirada do banho metálico ou uma mostra retirada diretamente da peça. O exame de metalografia é utilizado para observação da microestrutura cristalina do material por micrografia ou macrografia. São exames rápidos, econômicos e seguros para avalição de qualidade da peça produzida (BAPTÍSTA; SOARES; NASCIMENTO, [18--]).
Ensaios mecânicos	É um ensaio destrutivo, realizado num corpo de prova com formato predefinido, sendo que este corpo de prova pode ser uma amostra retirada do banho metálico ou uma amostra retirada diretamente da peça metálica fundida. O ensaio mecânico é utilizado para determinação das propriedades mecânicas da peça fundida fabricada. “O conhecimento das propriedades dos materiais, muitas vezes, só é possível pela aplicação de ensaios que levam a destruição dos materiais” (ZOLIN, 2010, p. 35).
Ensaios não destrutivos	São ensaios que não causarão dano à aplicação da peça, ou seja, a peça após a realização deste ensaio será utilizada normalmente. Os ensaios não destrutivos mais aplicados na fundição de peças são ensaio de dureza, condutividade elétrica.

Fonte: Elaboração própria.

2.2.3 Defeitos de fundição.

A produção de peças fundidas é um processo complexo que envolve um grande número de fases de fabricação. A ocorrência de erros em qualquer fase do processo de produção de uma peça, seja na construção do modelo, preparação do molde, fusão e lingotamento da peça, pode resultar em rejeição total da peça fabricada, que é certamente desfavorável à fundição do ponto de vista econômico. Entretanto, certas imperfeições e erros em peças fundidas são aceitos desde que se não afete a funcionalidade da peça, dependendo dos requisitos de aplicação da peça proposta pelo cliente. Porem o aspecto mais importante que garantirá uma peça fabricada por fundição é o nível de sanidade do metal obtido após fusão e tratamento do banho metálico (MELLO; RIZZO; SANTO, 1996).

As classificações de defeitos de fundição exigem dos especialistas a experiências e o conhecimento sobre o processo no qual se deseja controlar. Para evitar ou reduzir a ocorrência de defeitos de fundição, é necessário controlar cuidadosamente todas as etapas no processo de produção de peças fundidas caso o defeito for detectado, torna-se necessário uma analise cuidadosa para determinação das causas de sua ocorrência e introdução de algumas alterações no processo de produção, a fim de evitar sua reincidência. No entanto, muitas vezes são vários fatores que podem permitir a ocorrência de defeitos, dificultando sua identificação e prevenção.

De acordo com *o International Atlas of Casting Defects* escrito por de Rowley e outros (1974), os defeitos de fundição são subdivididos em sete classes básicas a partir da localização e da possivel causa de sua origem, e são distribuídos nas classes: A, B, C, D, E, F e G.

- ✓ Na classe A estão os defeitos de saliência metálica, sem alteração da forma geométrica e com alteração da forma geométrica da peça metálica fundida;
- ✓ Na classe B estão os defeitos conhecidos como cavidade ou porosidade;
- ✓ Na classe C estão as descontinuidades ou trincas;
- ✓ Na classe D estão os defeitos de superfície;
- ✓ Na classe E estão os defeitos devido às peças Incompletas;
- ✓ Na classe F estão os defeitos devido às dimensões;

- ✓ Na classe G estão os defeitos de inclusões

Ainda de acordo com os autores Baldam e Vieira (2013) os defeitos de fundição podem ser classificado com de ordem metalúrgica, devido à areia de moldação e defeitos relacionados com a moldabilidade.

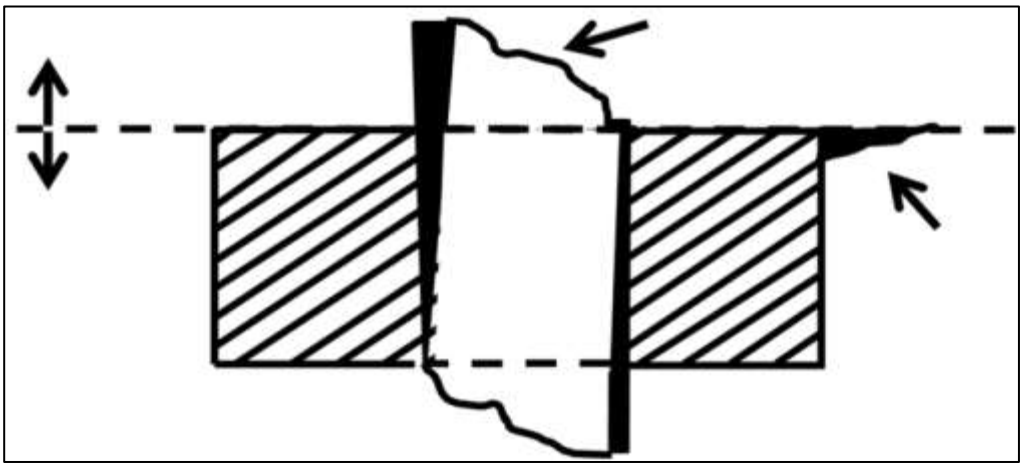
2.2.3.1 Saliências metálicas

As saliências metálicas podem afetar ou não a geometria da peça metálica fabricada. Quando não afeta a peça o defeito é denominado saliência metálica sem mudança da geometria, caso contrário é denominado saliência metálica com alteração da geometria da peça (BRAGA, 2011).

2.2.3.1.1 Rebarbas metálicas

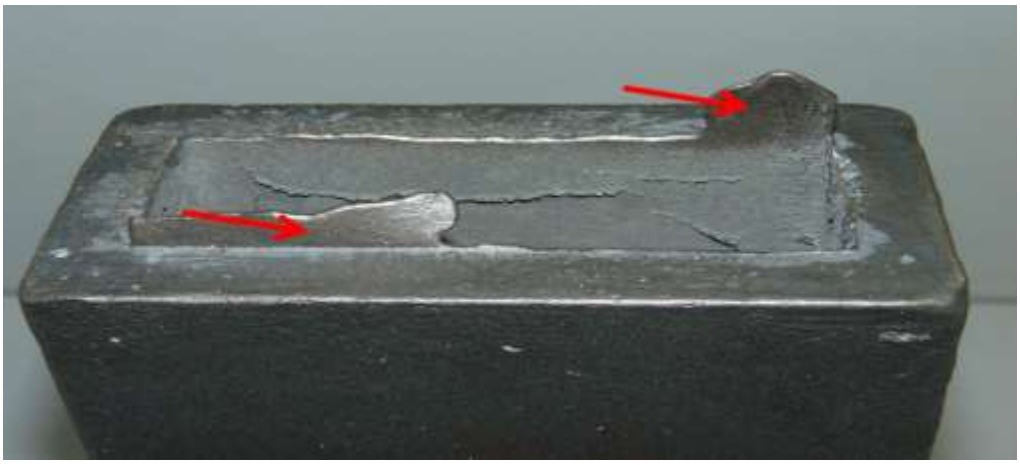
São defeitos de classe A, sem alteração da geometria da peça, ocorrem nas junções do molde e o macho das peças ou na linha divisória entre a caixa superior e inferior do molde (BRAGA, 2011). Estão relacionados a folgas entre molde e os machos ou devido ao incorreto fechamento das caixas superior e inferior do molde.

Figura 4 – Ilustração de defeito de rebarbar metálica



Fonte: Adaptado de International Atlas of Casting Defects (ROWLEY et al. 1974)

Imagem 1 – Fotografia de defeito de rebarbar metálica

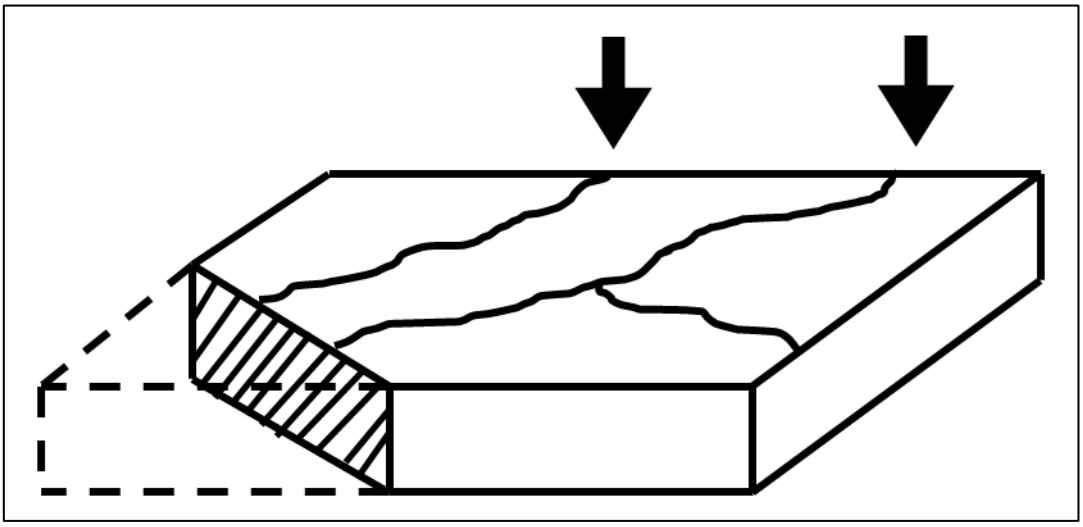


Fonte: Elaboração própria

2.2.3.1.2 Veiamento

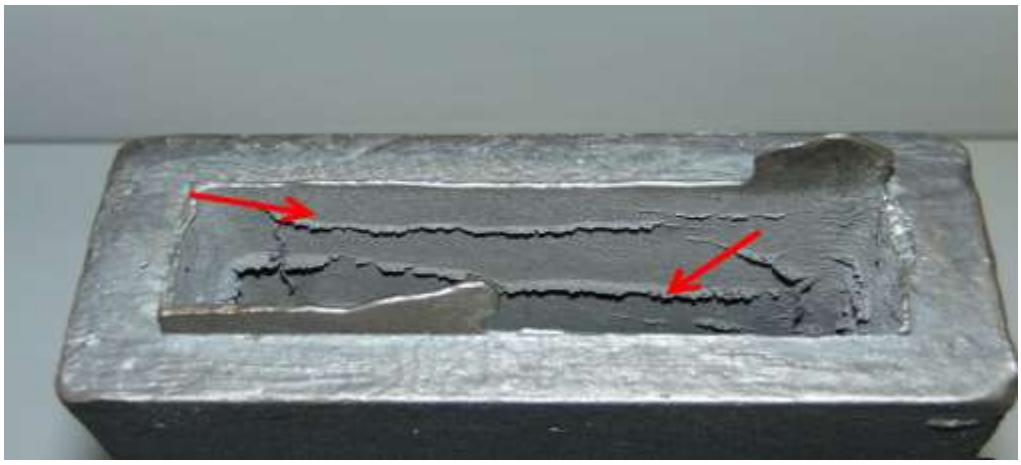
São defeitos da classe A, sem alteração da geometria da peça, ocorrem devido aos crescimentos na forma de veios perpendiculares à face da peça metálica fundida. Estão relacionados às trincas na face dos moldes (BRAGA, 2011).

Figura 5 – Ilustração de defeito de veiamento



Fonte: Adaptado de International Atlas of Casting Defects (ROWLEY et al. 1974)

Imagem 2 – Fotografia de defeito de veiamento

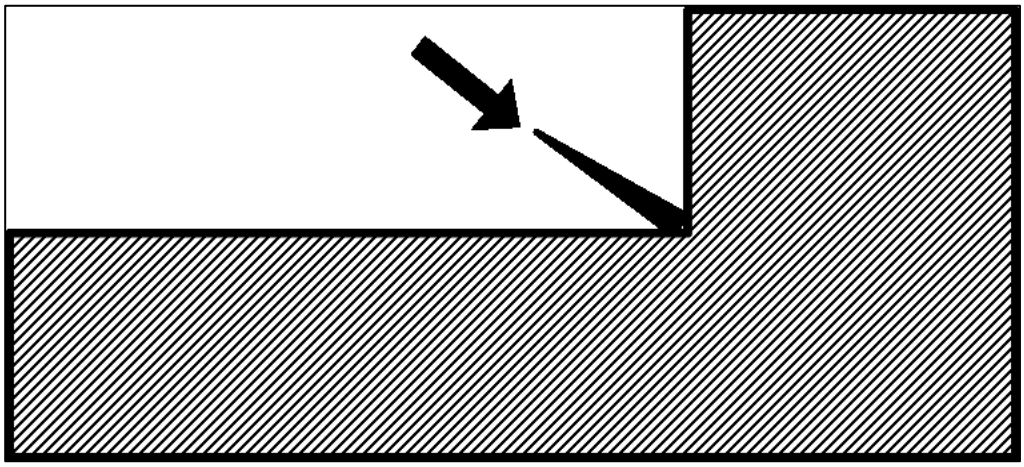


Fonte: Elaboração própria

2.2.3.1.3 Rebarba de ângulo

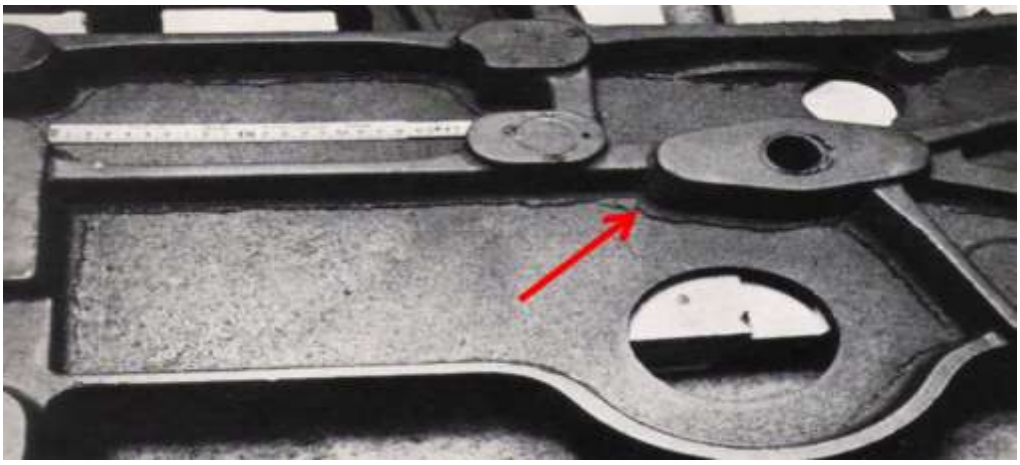
São defeitos da classe A, sem alteração da geometria, ocorrem na forma de lâmina metálica fina situada em cantos dos moldes que divide o ângulo em duas partes. Estão relacionados à trincas no molde ou no macho, produzidas durante o manuseio do molde (BRAGA, 2011).

Figura 6 – Ilustração de defeito de rebarba metálica em ângulo



Fonte: Adaptado de International Atlas of Casting Defects (ROWLEY et al. 1974)

Imagem 3 – Fotografia de defeito de rebarba metálica em ângulo

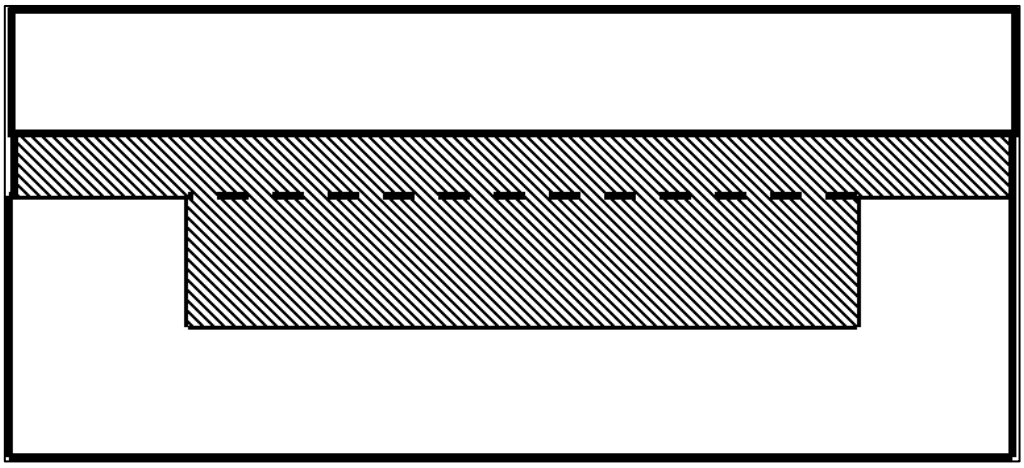


Fonte: (BRAGA, 2011)

2.2.3.1.4 Levantamento do Molde

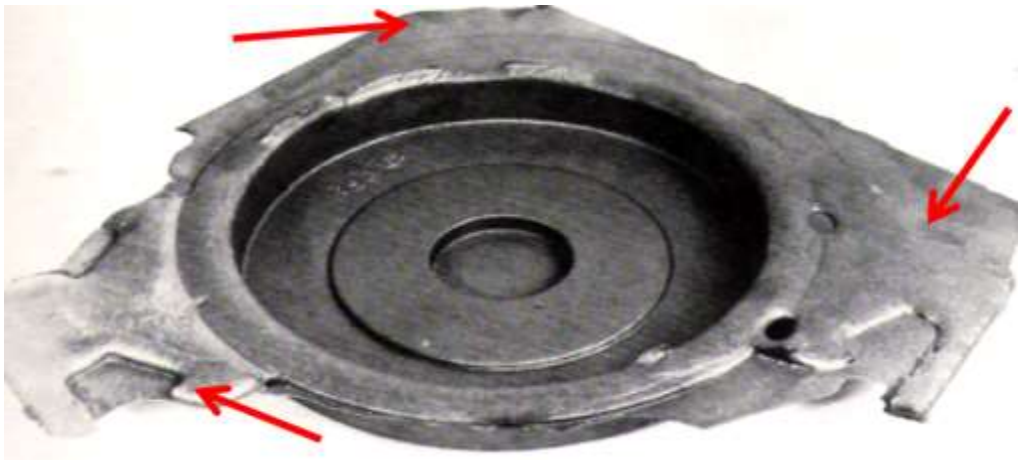
São defeitos de classe A, com alteração da geometria da peças metálica, rebarbas planas, geralmente com maior espessura, de perfil horizontal, na apartação do molde. Estão relacionadas a força que o metal líquido exerce nas paredes do molde e ao incorreto fechamento das caixas inferior e superior do molde, causando aumento das espessuras das peças (BRAGA, 2011).

Figura 7 – Ilustração de defeito de levantamento do molde



Fonte: Adaptado de International Atlas of Casting Defects (ROWLEY et al. 1974)

Imagem 4 – Fotografia de defeito de levantamento do molde

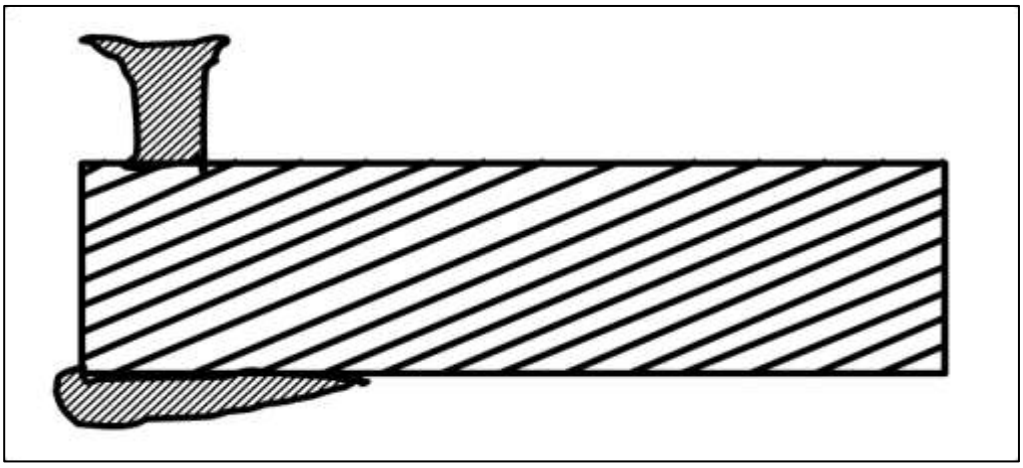


Fonte: (BRAGA, 2011)

2.2.3.1.5 Erosão de areia

São defeitos de classe A, com alteração da geometria da peça metálica, ocorrem de forma desigual e normalmente grosseira nas faces das peças, geralmente devido o desprendimento da areia do canal de ataque, sendo que a areia despendida formam inclusões da peça metálica. Está relacionada baixa coesão da areia do molde ou macho, sistema de canais mal projetado (BRAGA, 2011).

Figura 8 – Ilustração de defeito de erosão de areia

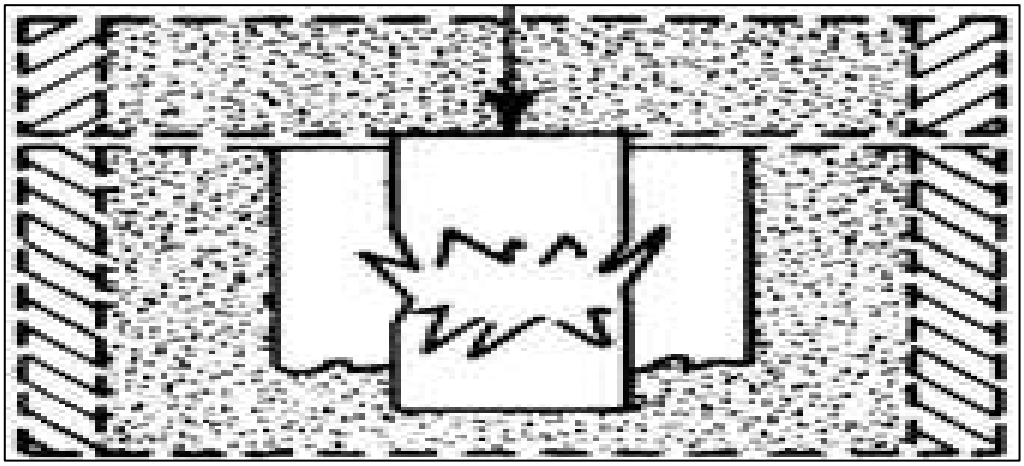


Fonte: Adaptado de International Atlas of Casting Defects (ROWLEY et al. 1974)

2.2.3.1.6 Macho quebrado

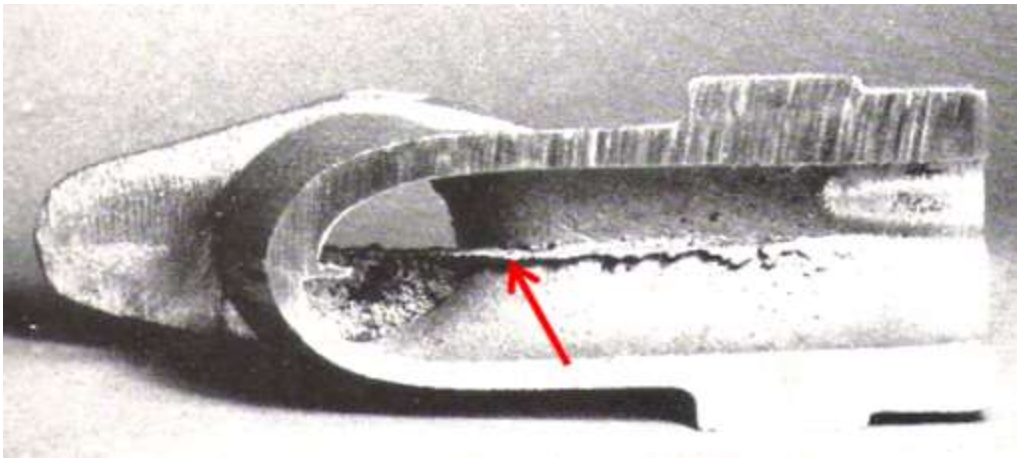
São defeitos de classe A, que apresentam alteração da geometria da peça metálica, ocorrem “[...] na forma de rebarba com aspecto de ruptura e estão situadas nas partes internas das peças obtidas por meio de machos. Os defeitos são vistos geralmente nas partes inferiores da peça na forma de inclusões de areia de macho” (BRAGA, 2011, p. 20).

Figura 9 – Ilustração de defeito de macho quebrado



Fonte: : Adaptado de International Atlas of Casting Defects (ROWLEY et al. 1974)

Imagem 5 – Fotografia de defeito de macho quebrado



Fonte: (BRAGA, 2011)

2.2.3.2 Cavidades

2.2.3.2.1 Porosidades

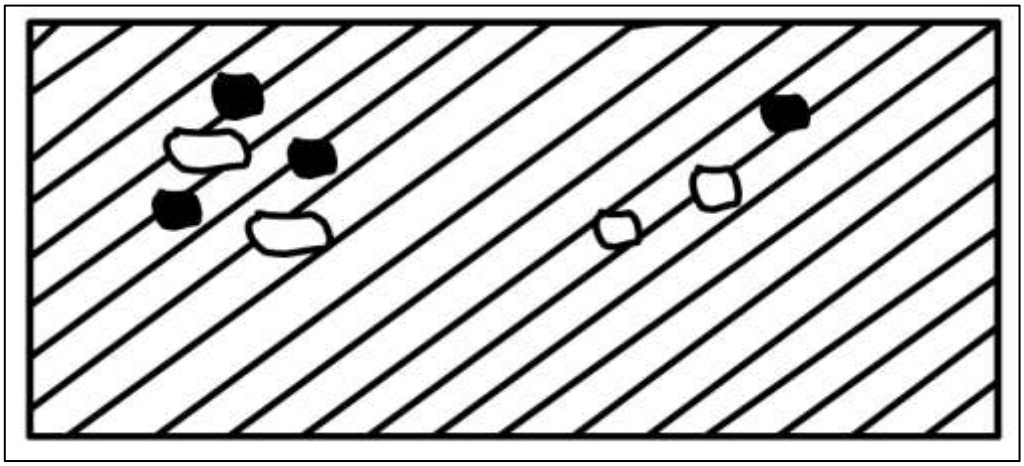
São defeitos de classe B, conhecidos como porosidades, bolhas ou gases. Possui aspecto de paredes lisas, forma esferoidal e interna a massa metálica das peças. As cavidades maiores surgem isoladamente uma da outras, porém as cavidades menores são bem agrupadas. Estão relacionadas às causas endógenas de origens metalúrgica, nativas do metal ou exógenas advindas dos constituintes dos machos e moldes, aprisionados no interior da peça mecanicamente (BRAGA, 2011).

A presença de poros numa peça pode estar relacionada à solubilização de gases como o Hidrogênio, Nitrogênio e Oxigênio no banho metálico. Porém para maiorias das ligas fundidas uma concentração de gases abaixo do limite de solubilidade não apresenta problemas para peças fabricadas (BALDAM; VIEIRA, 2013).

Quanto ao Nitrogênio e o Oxigêneo dissolvidos no metal líquido sua principal fonte é devido à umidade atmosférica, insuficiência do aquecimento da panela utilizada, moldes úmidos, combustão redutora nos fornos a óleo e a gás utilizado na fusão do metal. O Nitrogênio pode ser solubilizado ou devido ao teor de Nitrogênio contido nas resinas a base de Álcool Furfúrico, as bolhas causadas por esse gás possuem paredes rugosas em forma de vírgulas e se assemelham com trincas (BALDAM; VIEIRA, 2013).

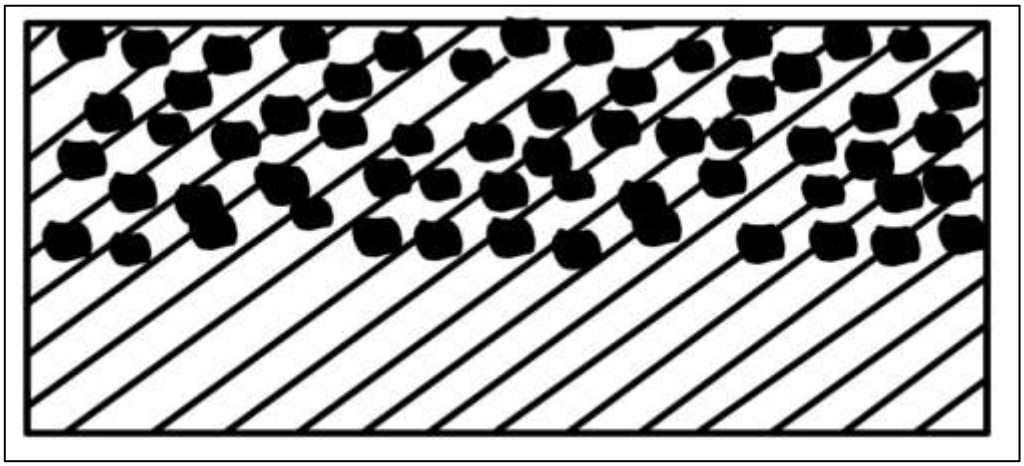
A falta de permeabilidade do molde também pode contribuir para formação de bolha no interior do metal fundido, pois os gases formados durante o vazamento podem não escapar através da areia (BALDAM; VIEIRA, 2013).

Figura 10 – Ilustrações de defeitos de porosidades dispersos



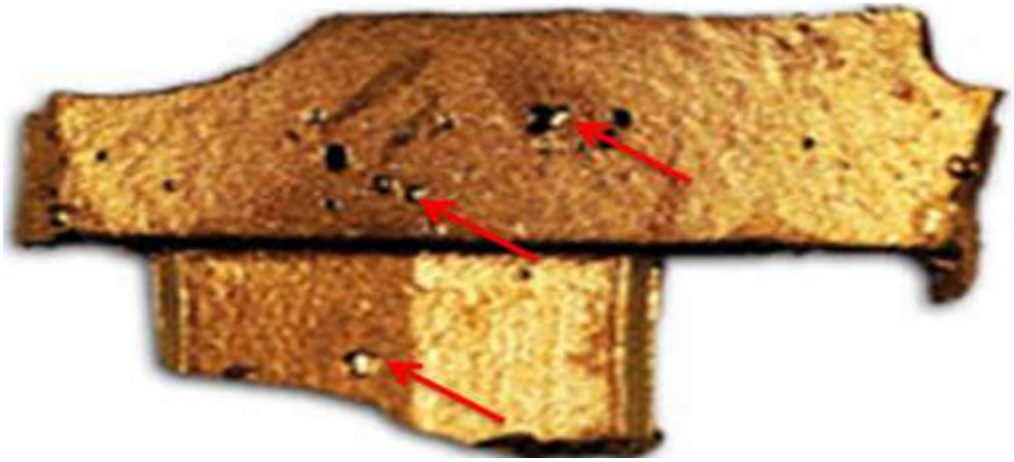
Fonte: Adaptado de International Atlas of Casting Defects (ROWLEY et al. 1974)

Figura 11– Ilustrações de defeitos de porosidades concentrada



Fonte: Adaptado de International Atlas of Casting Defects (ROWLEY et al. 1974)

Imagem 6 – Fotografia de porosidade em peça de Bronze



Fonte: AFS – American Foundry Society (2016)

Imagem 7 – Fotografia de porosidade em peças de Aço

Fonte: Elaboração própria

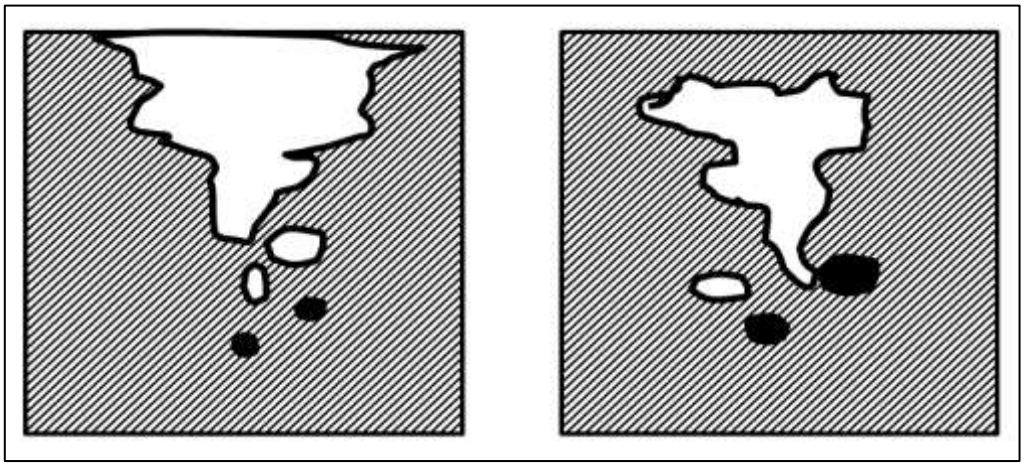
Imagem 8 – Fotografia de porosidade em peça de Cobre

Fonte: Elaboração própria

2.2.3.1.2 Rechupes

São defeitos de classe B, ocorrem na forma de vazios internos em uma peça fundida resultante da contração de volume que ocorre durante a solidificação. Podem ocorrer no formato de vírgulas, dispersadas na peça metálica, abertas ou fechadas. Ocorre próximo a face da peça. Está relacionada à baixa concentração de Carbono, grande concentração de Nitrogênio, com pouca resistência do molde, altas temperaturas, contração volumétrica, despendimento de gases pelo molde (BRAGA, 2011).

Figura 12 – Ilustrações de defeitos de rechupes



Fonte: Adaptado de International Atlas of Casting Defects (ROWLEY et al. 1974)

Imagem 9 – Fotografia de defeitos de rechupes em peças metálicas

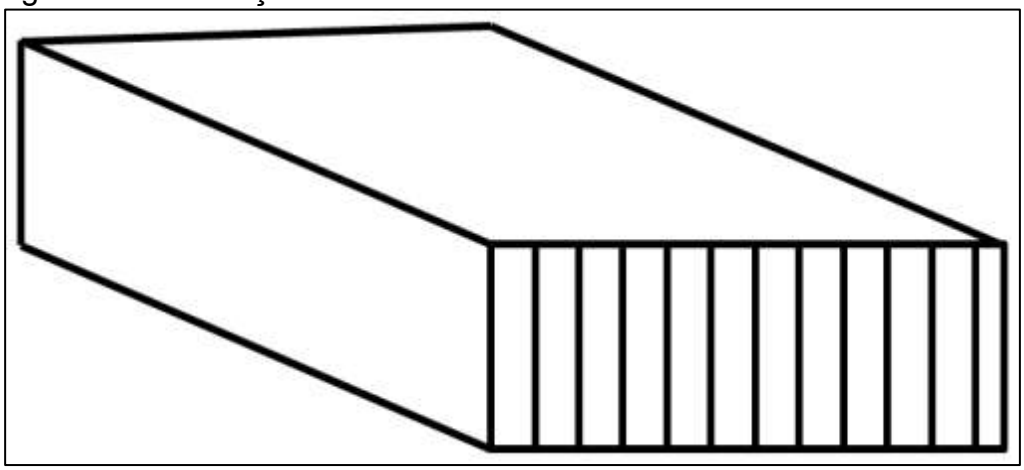
Fonte: Elaboração própria

2.2.3.3 Descontinuidades

2.2.3.3.1 Trincas à frio

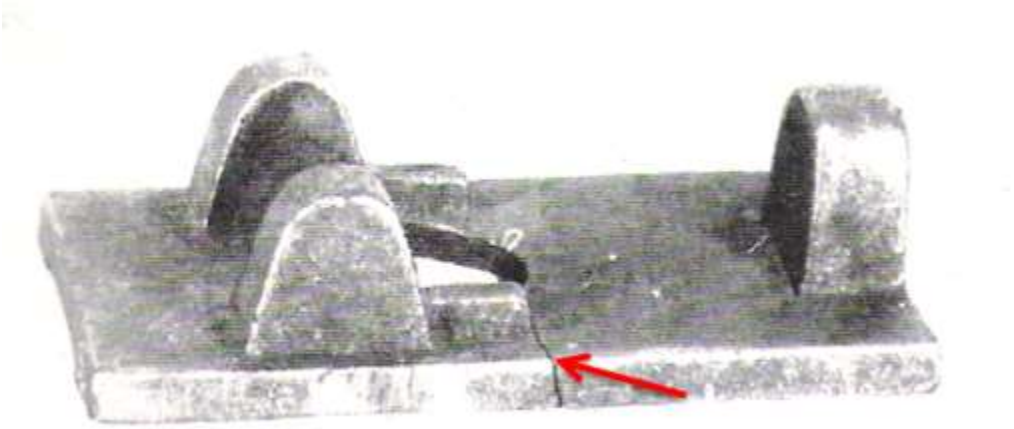
São defeitos de classe C, ocorrem no formato de trinca da peça metálica, são visíveis, que divide a peça em fragmentos não oxidados. Este defeito é de difícil relação, pois pode ser de choque térmico devido à troca de calor metal molde durante a contração, impacto durante a desmoldagem das peças. Porosidade excessiva nas regiões critica da peça (BRAGA, 2011).

Figura 13 – Ilustração de defeito de trica à frio



Fonte: Adaptado de International Atlas of Casting Defects (ROWLEY et al. 1974)

Imagem 10 – Fotografia de defeito de trinca à frio

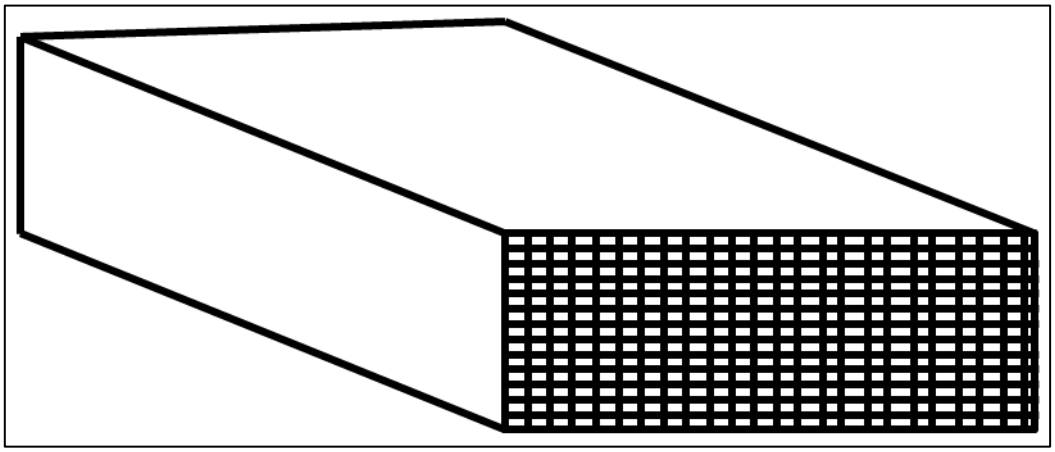


Fonte: (BRAGA, 2011)

2.2.3.3.2 Trincas à quente

São defeitos de classe C, ocorrem na forma de descontinuidade da peça metálica, são visíveis e que divide a peça em partes oxidadas, não sendo possível dizer se existiu encolhimento durante seu arrefecimento. Está relacionado a choque térmico devido à desmoldagem prematura do molde ou a movimentações bruscas e batidas (BRAGA, 2011).

Figura 14 – Ilustração de trica a quente em peça



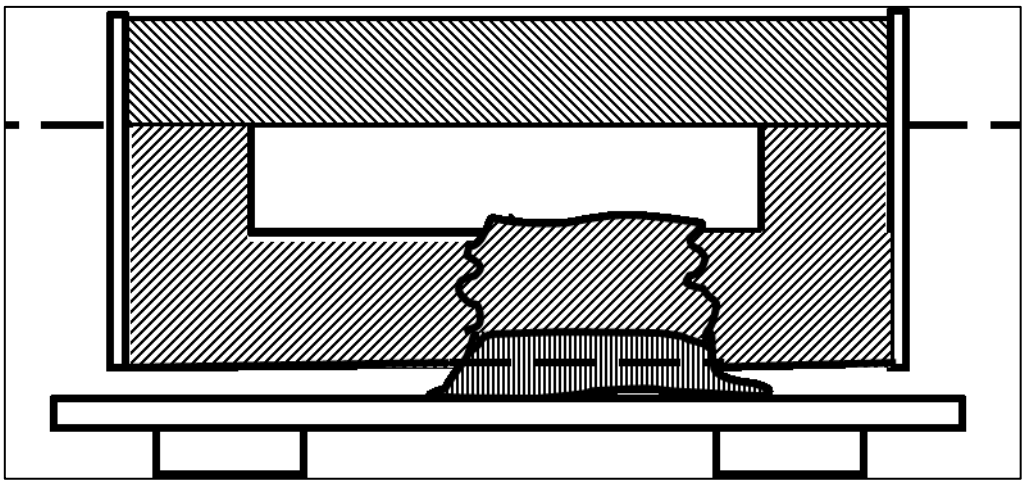
Fonte: Adaptado de International Atlas of Casting Defects (ROWLEY et al. 1974)

2.2.3.4 Superfície defeituosa

2.2.3.4.1 Esmagamento

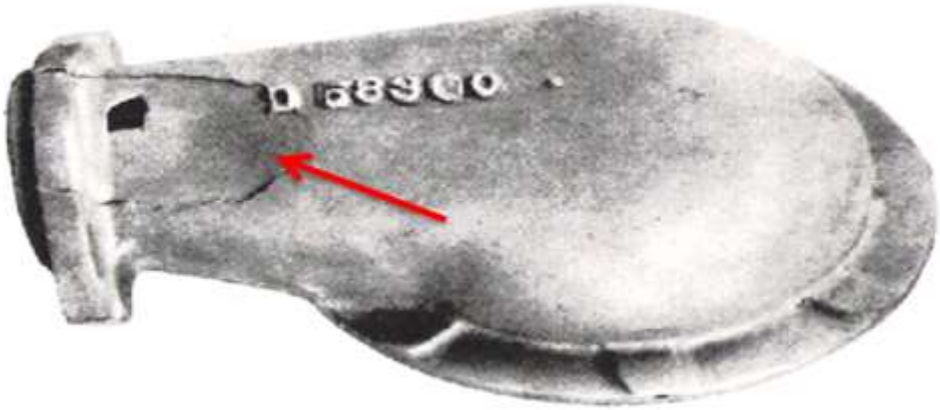
São defeitos de classe D, são pequenos, sem a mudança no restante da peça metálica fundida. Esta relacionada com deformação de parte da face do molde, devido a movimentação inadequada do molde, excesso de peso na tampa, travamento muito forte do molde, falta de planicidade do molde durante o vazamento do metal líquido (BRAGA, 2011).

Figura 15 – Ilustrações de condição defeitos esmagamento



Fonte: Adaptado de International Atlas of Casting Defects (ROWLEY et al. 1974)

Imagem 11 – Fotografia de defeito de esmagamento

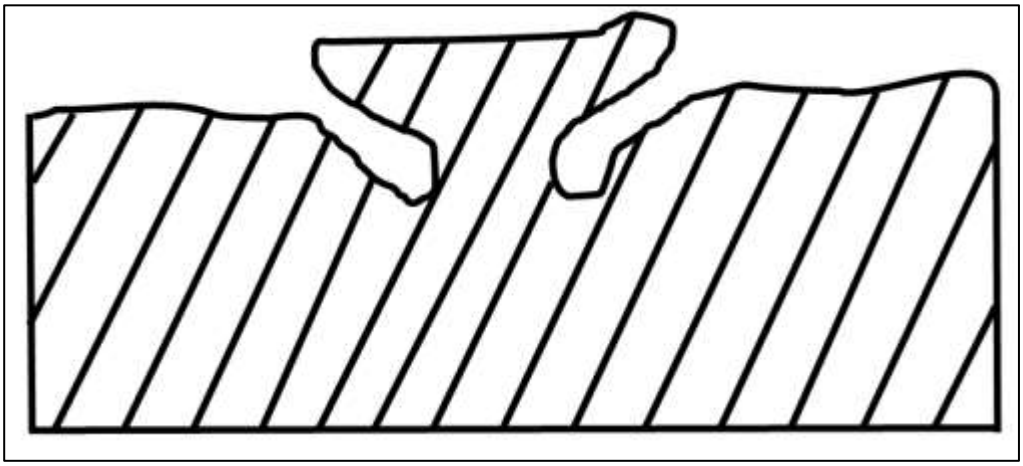


Fonte: (BRAGA, 2011)

2.2.3.4.2 Expansão da areia

São defeitos que ocorrem nas superfícies horizontais dos moldes, de pouca espessura ligada a peça metálica no formato de filete metálico. Abaixo desse defeito a superfície da peça apresenta uma pequena depressão. Na região superior do molde, esses defeitos estão relacionados com a condensação de umidade existente no interior do molde e pouca resistência da areia e possível dilatação do molde. Na parte inferior do molde esses defeitos estão relacionados condensação de umidade provocada pela lâmina de metal que desce o canal de ataque, favorecendo a pouca resistência à compreensão no fundo molde (BRAGA, 2011).

Figura 16 – Ilustrações de defeitos expansões da areia



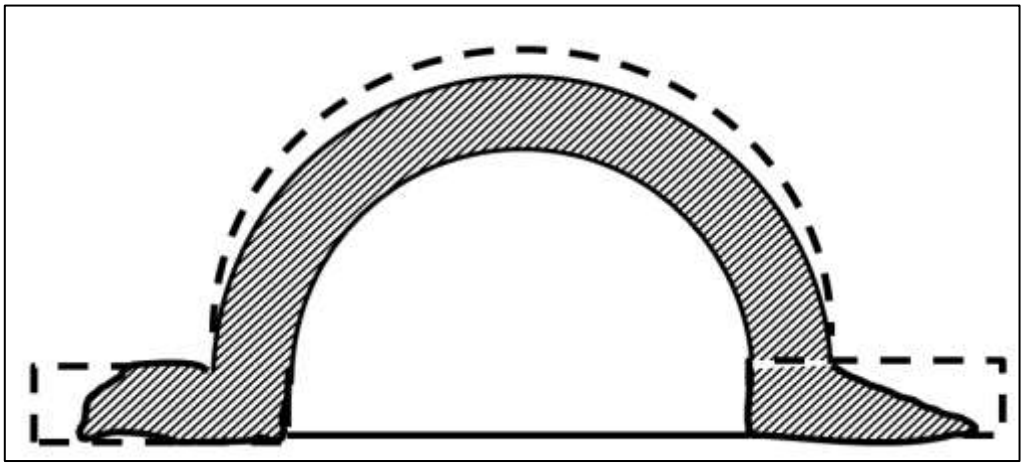
Fonte: Adaptado de International Atlas of Casting Defects (ROWLEY et al. 1974)

2.2.3.5 Peças Incompletas

2.2.3.5.1 Falta de enchimento

São defeitos de classe E, ocorrem geralmente nas arestas das peças metálica de forma arredondada e brilhante. Está relacionada a pouca fluidez do banho metálico, devido à baixa temperatura de vazamento ou a alta pressão proveniente da associação de gases no interior do molde com a elevada velocidade durante o vazamento.

Figura 17 – Ilustrações de defeitos de peças incompletas



Fonte: International *Atlas of Casting Defects* (ROWLEY et al. 1974)

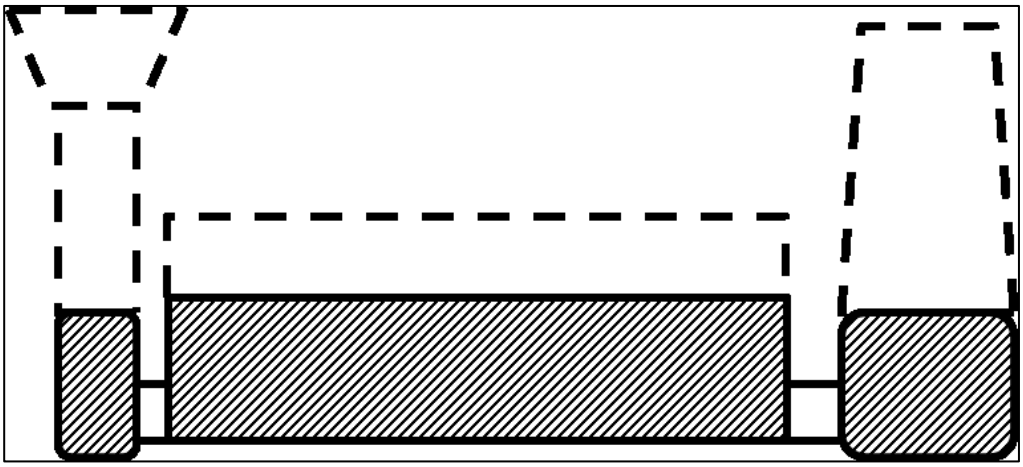
Imagem 12 – Fotografia de defeito de peça incompleta

Fonte: Fonte: (PAVANATI [20--])

2.2.3.5.2 Falta de metal

São defeitos de classe E, ocorrem geralmente na parte superior da peça metálica, possui formas levemente arredondadas. Estão relacionadas a quantidade insuficiente de metal líquido vazado no molde, devido a falta de metal na panela de vazamento, e interrupção no vazamento (BRAGA, 2011).

Figura 18 – Ilustrações de defeitos devido à falta de metal no vazamento

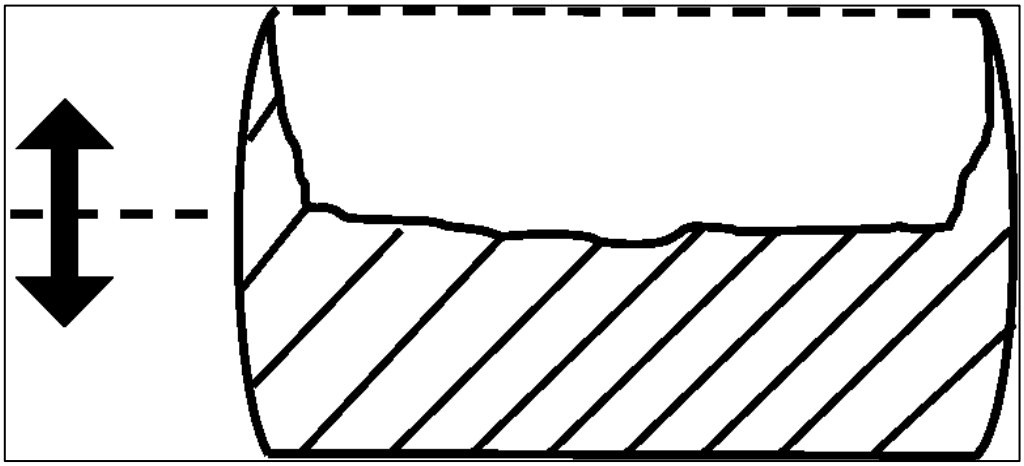


Fonte: Adaptado de International Atlas of Casting Defects (ROWLEY et al. 1974)

2.2.3.5.3 Molde vazando

São defeitos de classe E, ocorrem geralmente nas superfícies superiores das peças fundidas. Possuem forma côncava e se prolongam até o topo do molde, com aspecto de rebarbar. Estão relacionados à falta de vedação entre o molde inferior e superior. Ocorrem com maior incidência em peças com grandes espessuras.

Figura 19 – Ilustração de falta de metal devido a vazamento do molde



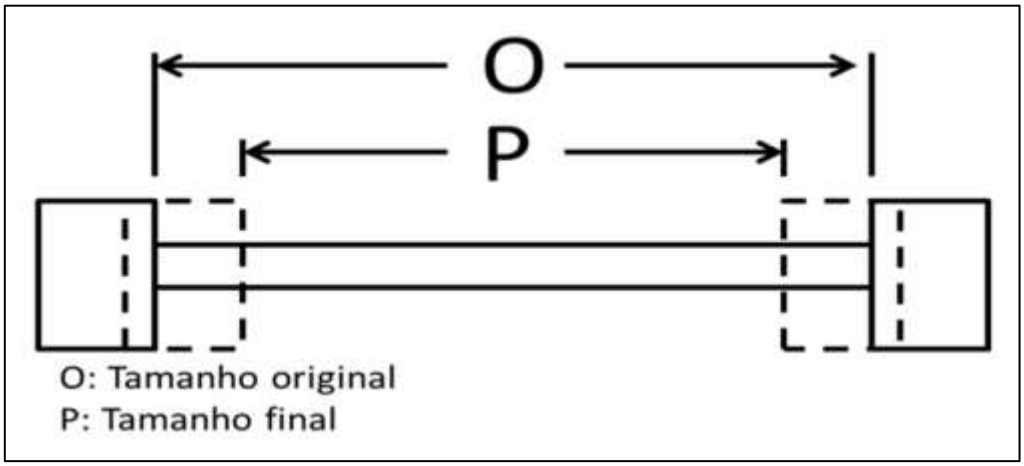
Fonte: Adaptado de International Atlas of Casting Defects (ROWLEY et al. 1974)

2.2.3.6 Dimensões ou forma incorretas

2.2.3.6.1 Defeito devido à contração

São defeitos de classe F, que podem ocorrer num único local ou longo de toda peça (BRAGA, 2011). Estes defeitos são repetitivos e ocorrem principalmente em partes da peça que possuem espessuras diferentes. Estão relacionados com a forma geométrica da peça, técnica de moldagem incorreta, contração irregular devido a uma desmoldagem antecipada (BRAGA, 2011).

Figura 20 – Ilustração de defeito devido à contração



Fonte: Adaptado de International Atlas of Casting Defects (ROWLEY et al. 1974)

2.2.3.7 Inclusões

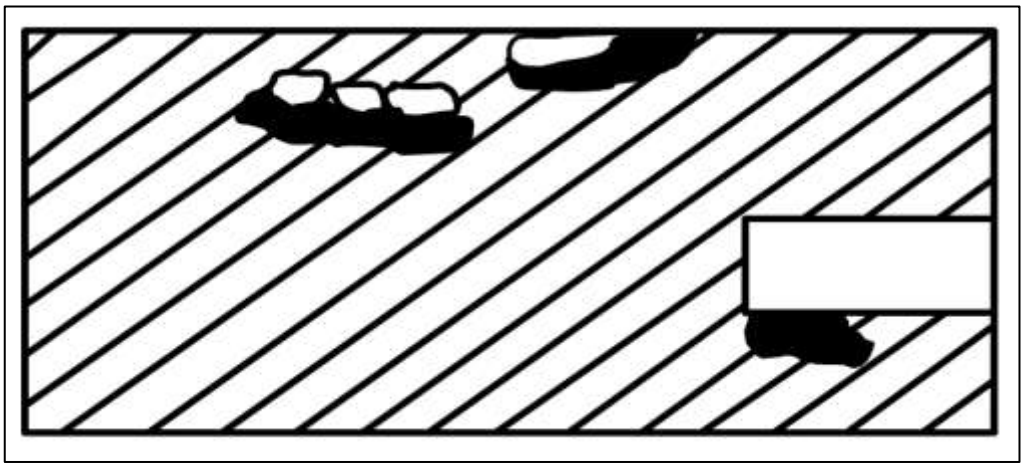
2.2.3.7.1 Inclusões endógenas

São defeitos de classe G, são de ordem matalúrgica na forma de Sulfetos, Óxidos, Silicatos e Aluminatos, ou seja, inclusões não metálicas como FeS, SiO, Al_2O_3. As inclusões endógenas adicionadas intencionalmente ao banho metálico, a fim de se obter efeitos benéficos nas peças fabricadas são tratadas como precipitados (BALDAM; VIEIRA, 2013).

2.2.3.7.2 Inclusões exógenas

São de feitos de classe G, na forma de inclusões, provem de fonte externa e não metálica. Podem ser de escória, erosão do refratário das paredes do forno ou panela de vazamento ou dos canais de vazamento ou ainda areia solta que não foi removida na etapa de preparação e pintura do molde da peça (BALDAM; VIEIRA, 2013). Esses defeitos possuem aparência lisa e ocorrem nas regiões superiores das peças ou nas partes inferiores dos machos das peças, de forma irregular, com aspecto de escória.

Figura 21 – Ilustração de inclusão em peças fundida



Fonte: Adaptado de International Atlas of Casting Defects (ROWLEY et al. 1974)

2.3 FUNDIÇÕES NO BRASIL.

2.3.1 Histórico das fundições brasileiras

> No Brasil, a primeira casa de fundição surgiu por volta de 1580, em São Paulo, e era destinada à fundição do ouro extraído das minas do Jaraguá e arredores. No decorrer do século XVIII, muitas casas de fundição foram criadas em Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Bahia. A fundição de ferro passou a ser feita a partir do século XVII e, nos últimos dias do seu domínio, a coroa portuguesa chegou a construir alguns altos-fornos na colônia (CASOTTI; BEL FILHO; CASTRO, 2011).

"[...] Com a chegada da indústria automotiva e a construção de Brasília, o setor de fundição ganhou novo fôlego, cumprindo um importante papel no desenvolvimento da indústria nacional" (CASOTTI; DEL BEL; CASTRO, 2011).

2.3.2 Características gerais das fundições brasileiras

As Indústrias Brasileiras de fundições são responsáveis pela produção de peças em Aço, Ferro fundido e ligas não ferrosas. Este segmento da indústria brasileira emprega aproximadamente 65.000 trabalhadores. Seu faturamento foi de 8,4 bilhões de dólares em 2014, com cerca de 1.300 empresas. As fundições brasileiras em sua maioria são de pequeno e médio porte, com predomínio do capital nacional. (Anuário ABIFA, 2015).
As fundições brasileiras possuem características de uma forte utilização de mão de obra, gerando grandes números de postos de trabalhos e também consome variados tipos de matérias primas de origem nacional, sendo um setor independente do mercado externo que colabora positivamente para balança comercial brasileira (Anuário ABIFA, 2015).

2.3.2.1 Produção mercado interno

O Brasil é o sétimo produtor de peças fundidas o cenário mundial. O mercado de material fundido brasileiro demostram potencial para se tornar um dos maiores produtores mundiais neste setor (Anuário ABIFA, 2015).

Tabela 2 – Produção mundial de fundidos

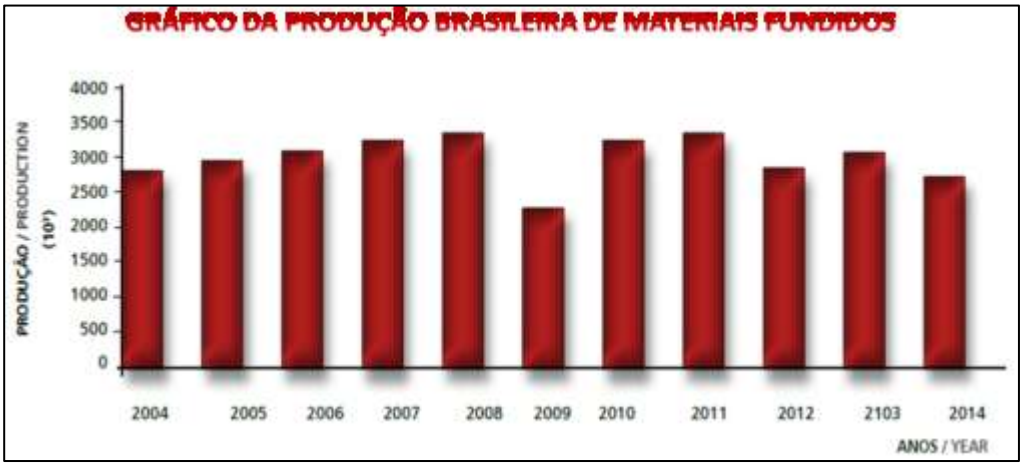
RANKING	PAÍSES	QUANTIDADE PRODUZIDA
1º	China / China	44500,0
2º	EUA / USA	12250,0
3º	Índia / INDIA	9810,0
4º	Japão / Japan	5538,0
5º	Alemanha / Germany	5186,7
6º	Rússia / Russia	4100,0
7º	Brasil / Brazil	3071,4
8º	Coréia / Korea	2562,0
9º	Itália / italy	1971,0
10º	França / France	1748,2

Fonte: Adaptado (Anuário ABIFA, 2015)

2.3.2.2 Produção brasileira de materiais fundidos

O Setor de fundição cresceu de forma contínua de 2004 a 2008, tendo, uma queda em 2009, devido crise internacional, reduzindo novamente seu nível de produção em 2014, desta vez devido à crise interna Brasileira, levando a produção do setor de fundição a um nível inferior ao ano de 2004. Conforme demonstrado no gráfico a seguir.

Gráfico 1 – Produção brasileira de materiais fundidos últimos dez anos

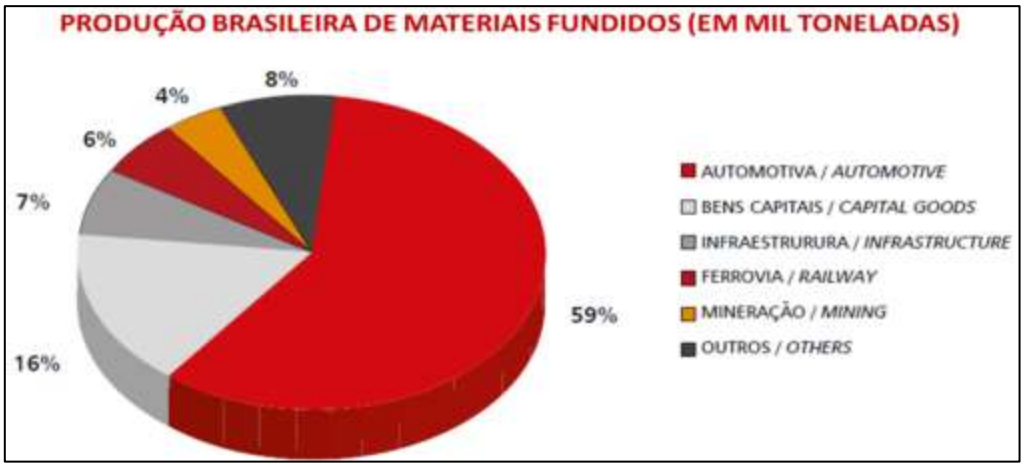


Fonte: (Anuário ABIFA, 2015)

2.3.2.3 Mercado interno

O setor de fundição de peça destina 59,0% da sua produção à indústria automotiva, fornecendo peças para as autopeças e montadoras de veículos automotores como caminhões, ônibus e tratores. O segundo maior consumidor das peças fundidas é o de bens capitais, onde se destina 16% da produção, o terceiro maior consumidor é o de infraestrutura, consumindo apenas 7% da produção, os demais são demonstrados no gráfico a seguir.

Gráfico 2 – Destinação da produção brasileira de materiais fundidos



Fonte: (Anuário ABIFA, 2015)

2.3.2.4 Projeção da demanda

A previsão de demanda feita pela ABIFA - Associação Brasileira de Fundição previu uma leve queda na demanda produção no ano de 2015. No entanto, de acordo com ABIFA haverá um crescimento para atender a demanda futura de 2016 a 2019. Esta estimativa foi calculada com base no desempenho dos segmentos consumidores de peças fundidas. Essa projeção é demonstrada na tabela abaixo.

Tabela 3 – Projeção da demanda de material fundido

PROJEÇÃO DA DEMANDA DE PEÇAS FUNDIDAS EM MIL TONELADAS						
	Real	Projeção				
Ano	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Mercado brasileiro	2332,3	2160,0	2430,0	2730,0	2900,0	3250,0

Fonte: (Anuário ABIFA, 2015)

2.4 QUALIDADE

2.4.1 Conceito de qualidade

Para Juran e Gryna (1991) a palavra qualidade tem múltiplos significados, sendo que o uso da palavra é dominado pela caracterização do produto e a ausência de falhas.

“Um produto ou serviço é aquela que atente perfeitamente, de formas confiável, acessível, segura e, no tempo certo, as necessidades do cliente” (CAMPOS apud TENÓRIO, 2002 p. 81).

Trata-se de um produto ou serviço perfeito, ou seja, sem de defeitos, de baixo custo, que transmita segurança ao cliente, que é entregue no tempo, local e quantidade certos.

Qualidade “é totalidade dos requisitos e características de um produto ou serviço que estabelecem a sua capacidade de satisfazer determinadas necessidades” (*American Society for Quality / The American National Standards Institute* apud CANDÉO; KOVALESKI, 2015 p. 2).

De acordo com Carvalho e Paladini (2012) um grande conhecedor da Qualidade e Ph.D David A. Garvin, após pesquisar várias definições de qualidade na literatura e nos ambientes corporativos, classificou as abordagens da qualidade em transcendental, baseada num produto, baseado no usuário, baseada na produção, baseado no valor.

Para David Garvin abordagem transcendental é o sinônimo de excelência inata, absoluta e universalmente reconhecida. A abordagem baseada no produto é tratada como uma variável precisa e mensurável, oriunda dos atributos do produto. A abordagem baseada no usuário admite que a qualidade é uma variável subjetiva, pois está associada à capacidade de satisfazer desejos e necessidade do consumidor. A abordagem baseada na produção é uma variável precisa e mensurável, oriunda do grau de conformidade às especificações. A abordagem baseada no valor mistura os conceitos excelência e valor (BATALHA, 2008).

Para Montgomery (2013) a qualidade de um produto pode ser analisada de vários modos, sendo os principais pontos relativos a dimensões da qualidade o desempenho,

a confiabilidade, a durabilidade, a assistência técnica, a estética, a característica, a qualidade percebida e a conformidade em especificações.

2.4.2 Ferramentas da qualidade

As ferramentas da qualidade são métodos utilizados que podem ser aplicados como forma de precisar, avaliar, estudar e apresentar soluções a eventualmente falhas que afetam o desempenho dos processos produtivos das empresas. São muito aplicadas na área industrial, devido à capacidade de identificar e remover causas das falhas, reduzindo as perdas e aumentando produtividade da organização. A grande maioria dos problemas nas organizações empresariais pode ser analisada e resolvida com o uso das ferramentas da qualidade. São ferramentas simples de serem aplicadas, no entanto quando aplicadas de forma correta se tornam um instrumento poderoso na eliminação dos problemas (PEINADO; GRAEML, 2007)

Para Carpinetti (2012) existem sete ferramentas de qualidade que auxilia no desenvolvimento de melhoria contínua de produtos e serviços. Afirma ainda que essas ferramentas da qualidade são:

- ✓ Diagrama de dispersão;
- ✓ Gráfico de Pareto;
- ✓ Histograma;
- ✓ Diagrama de causa e efeito;
- ✓ Fluxograma;
- ✓ Folha de verificação;
- ✓ Gráficos de controle.

2.4.2.1 Diagrama de dispersão

O Diagrama de dispersão representa de duas ou mais variantes de forma organizadas num gráfico, uma em relação a outra, exibindo o que acontece com uma variável

quando a outra assume outro valor, confirmando a relações de causa e efeito entre elas. A interpretação é feita através do gráfico, onde os pontos X e Y no espaço cartesiano são empregados para indicar os valores das variantes quantitativas medidas em cada categoria de dados.

O diagrama de dispersão permite a confirmação do grau de relação entre as variáveis X e Y, sendo favorável para estabelecer uma associação entre as duas variáveis.

Segundo Paladini (1997) esta ferramenta é resultado de aplanamentos realizados em métodos estatísticos usuais e permitem ligeira relação entre as causas e os efeitos. Cruzando informações das duas variantes para os quais se estuda a existência ou não de uma relação.

2.4.2.2 Gráfico de Pareto

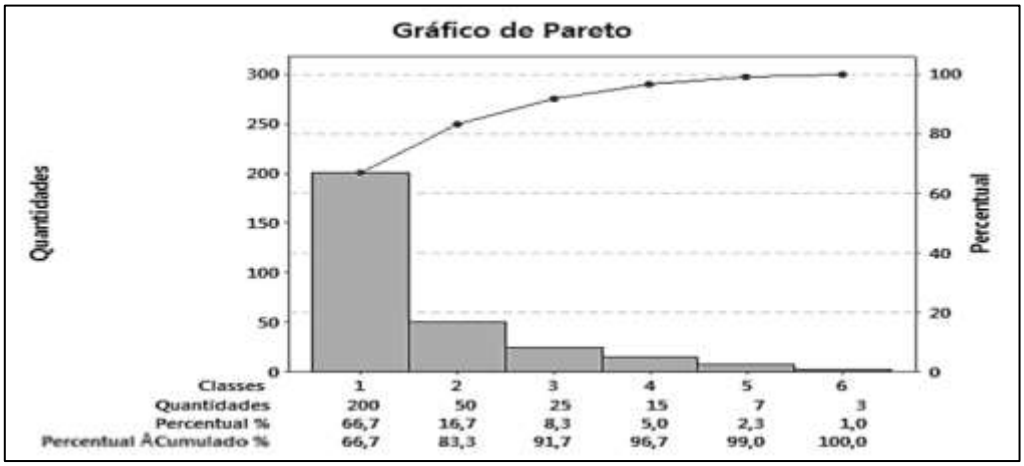
O gráfico de Pareto recebe essa nomeação em honra ao Vilfredo Pareto (1848-1923), que observou que a maioria da riqueza estava concentrada na mão da minoria da população, onde aproximadamente 80% da riqueza pertenciam apenas a 20% da população, conhecida com a regra dos 80/20. Juran tornou conhecida essa ferramenta, após constatar que as ocorrências de defeitos na indústria seguiam a mesma teoria descrita por Vilfredo Pareto (CASTRO, 2013).

“O Princípio de Pareto é demonstrado através de um gráfico de barras verticais (Gráfico de Pareto) que dispõe a informação de forma a tornar evidente e visual a ordem de importância de problemas, causas e temas em geral” (CARPINETTI, 2012, p. 80).

“O diagrama de Pareto é usado quando é preciso dar atenção aos problemas de uma maneira sistemática e quando se tem um grande número de problemas e recursos limitados para resolvê-los” (RAMOS, 2000, p.100).

O gráfico de Pareto indica os elementos críticos organizados da esquerda para direita na ordem decrescente de importância, indicando facilmente ao gestor onde ele deve focar o investimento para reduzir os problemas identificados.

Figura 22 – Exemplo de Gráfico de Pareto



Fonte: Elaboração própria

2.4.2.3 Histograma

O histograma é uma ferramenta da qualidade que exibe a distribuição dos dados numa representação gráfica em colunas retangulares verticais, apontando de forma tabulada o número de unidades em cada classe. “O histograma mostra a forma como os dados se distribuem, a tendência central de seus valores e sua variabilidade, dispersão” (CÉSAR, 2011, p. 69).

De acordo com Nascimento, M. e Nascimento, J. (2015, p. 6).

> São várias as aplicações dos Histogramas, tais como: verificar o número de produtos não conformes; determinar a dispersão dos valores de medidas em peças; em processos que necessitam ações corretivas; e para encontrar e mostrar através de gráfico o número de unidade por cada categoria.

2.4.2.4 Diagrama de causa e efeito

O diagrama de causa e efeito conhecido também como espinha de peixe ou Ishikawa é uma ferramenta da qualidade. Para Oliveira, S. (1995, p.29) o diagrama de causa e efeito “É uma representação gráfica que permite a organização das informações possibilitando a identificação das possíveis causas de um determinado problema ou efeito”.

Segundo Trivellato (2010) o Diagrama de Causa e Efeito é uma ferramenta que permite a organização das informações de forma a descrever as possíveis causas do problema. Sendo um guia facilitador de identificação da causa fundamental e do problema. É "[...] utilizado para sumarizar e apresentar as possíveis causas do problema, com isso, pode-se então determinar medidas corretivas para serem adotadas" (TRIVELLATO, 2010 p. 38).

Sueckes (2001) afirma que no Diagrama de Casa e Efeito "Os fatores ou causas são agrupados em seis principais categorias com a identificação de 6M que são representadas pelas palavras" abaixo:

- ✓ Matéria Prima.
- ✓ Máquina;
- ✓ Medida;
- ✓ Meio Ambiente;
- ✓ Mão de Obra;
- ✓ Método.

Segundo Ramos, Almeida e Araújo (2013) para construir o Diagrama de Causa e Efeito são necessário seguir os passos:

- ✓ Identificar o problema que será resolvido;
- ✓ Eleição de um líder que esclarecerá o problema a todos os participantes;
- ✓ Desenhar o Diagrama num quadro à vista de todos;
- ✓ Listar as causas por meio de *brainstoring*;
- ✓ Determinar a importância das várias causas após duas rodadas.

Para construir Diagrama de Causa e Efeito Lobo (2010) indica as seguintes ações:

- ✓ Dizer no retângulo à direita, o problema/efeito que se procura;
- ✓ Desenhar as tradicionais categorias que geralmente estará dentro do 6M;
- ✓ Aplicar os resultados do *brainstorming* para as adequadas categorias.

De acordo com César (2011) o diagrama de cauda e efeito é utilizado quando necessita a identificação de todas as causas possíveis de um problema, para a obtenção da melhor visualização da relação entre a causa e efeito, para a classificação das causas e subcausas sobre um efeito ou resultado e para saber quais as causas que estão provocando o problema.

2.4.2.5 Fluxograma

Para Lucinda (2010) o fluxograma é uma ferramenta da qualidade que mostra de forma gráfica as etapas de um processo, desde o seu início até a sua finalização. Permitindo a sua compreensão de forma rápida o seu funcionamento. Os fluxogramas podem ser utilizados para estudo do processo atuais que apresentam variações e facilitando o entendimento a fim de encontrar uma solução.

Para Veras (2009) são várias as aplicações dos fluxogramas destacando-se:

- ✓ Identificação do fluxo dos produtos ou serviços, para detecção de desvios;
- ✓ Verificação da sequencia dos processos;
- ✓ Definição do projeto, oportunidades de mudanças, definição dos limites;
- ✓ Avaliações das possíveis soluções e identificação das áreas afetadas pelas mudanças.

2.4.2.6 Folha de verificação

Para Vieira (2014) as folhas de verificação são ferramentas em forma de planilha previamente preparadas para o registro das informações que devem ser colocadas em passos específicos do processo. Servem para registro de dados julgados, medidos, testados ou observados.

A folha de verificação é utilizada para coleta de dados de forma fácil e concisa, sendo essa estabelecida no formato de um formulário de fácil preenchimento e deve possuir espaço suficiente para notação dos dados (LOBO, 2010). Trata-se de uma ferramenta

bastante útil para registros de variação de processo e verificação para classificação defeitos de um processo (CARPINETTI, 2012).

De acordo com Toleto e outros (2017) as etapas para a elaboração de uma folha de verificação são:

- ✓ Planejamento da coleta de dados;
- ✓ Coleta dos dados;
- ✓ Análise dos dados coletados.

Toleto e outros (2017, p.197) explica assim a etapa de planejamento da coleta de dados.

> a) Definir o problema que se quer resolver e formular a pergunta ou perguntas, corretas e específicas, que devem ser respondidas para decidir de forma adequada as futuras ações a serem realizadas (por exemplo: sobre as casas identificadas num Diagrama de Ishikawa ou de Causa e Efeito).
>
> b) Definir as ferramentas apropriadas para a análise dos dados. Segundo o tipo de ferramenta a ser utilizada, deve-se decidir sobre as características dos dados a serem recolhidos (tipo de dado, volume dos dados, exatidão, amostras etc.).
>
> c) Definir as condições da coleta de dados. Deve-se atentar para que o processo de coleta de dados não distorça o valor dos mesmos, devendo ter em conta: a formação e experiência do pessoal de coleta de dados; o tempo disponível e a dedicação à coleta.
>
> d) Projetar o formulário, tendo em conta os seguintes pontos: a anotação deve ser simples; será projetado procurando evitar erros de anotação; deve-se incluir um campo para observações; o impresso deve ser autoexplicativo; deve-se levar em conta o aspecto formal.

Na etapa de coleta de dados, as informações devem ser fieis e registradas adequadamente, sendo importante que a pessoa responsável possua treinamento e que tenha tempo suficiente para coletar os dados (TOLETO *et al,* 2017).

Após a coleta os formulários que tiveram as informações preenchidas devem ser organizados e análise por pessoas capacitadas em leitura e interpretação dos registros (TOLETO *et al,* 2017).

2.4.2.7 Gráficos de controle.

Conhecido também como carta de controle é uma ferramenta bastante conhecida e difundida nas organizações para auxiliar o monitoramento da variabilidade de um

processo. De acordo com (MAGALHÃES; BRITO, 2007) a carta de controle permite a distinção entre os dois tipos de causas de variações, informado se o processo encontra-se sob controle estatístico ou não.

2.5 MELHORIA CONTÍNUA

Para Liker e Franz a melhoria contínua é:

> A tradução para o português do termo kaizen, que significa mudança (kai) para melhor (zen). Apesar de amplamente utilizado nas empresas, a prática do conceito da melhoria contínua envolve conheci- mento muito profundo. Ela significa o compromisso de melhorar continua- mente todas as partes de uma empresa, tratando-se, portanto, de um ideal, visto que esse objetivo nunca é alcançado por nenhuma empresa no mundo real, pois nenhuma pode melhorar sempre e sem exceção.

2.5.1 Filosofia Kaizen

A melhoria contínua é uma filosofia japonesa, conhecida como *Kaizen.* Essa ferramenta foi criada por *Taichi Ohno* e ficou conhecida pela aplicação no sistema Toyota de Produção. A filosofia do *Kaizen* é descrita como "[...] contínuo melhoramento, envolvendo todos, inclusive gerentes e operários. A filosofia do kaizen afirma que o nosso modo de vida – seja no trabalho, na sociedade ou em casa – merece ser constantemente melhorado" (IMAI, 1994, p. 3).

As empresas devem sempre buscar a melhoria contínua de seus processos produtivos, tanto na manufatura quanto na prestação de serviços, para manter-se no mercado globalizado. Portando, devem continuamente aprimorar a eficácia do sistema de gestão da qualidade a fim de se obter um diferencial competitivo frente as demais organizações. Aplicação do *kaizen* produz efeitos positivos em pouco tempo e com poucos investimentos e os resultados acontecem devido ao trabalho e cooperação de pessoas que são indicadas pelos gestores da empresa (IMAI, 1994).

Dessa forma, quando uma organização decide aplicar a filosofia da melhoria contínua nos seus processos, desenvolvem a capacidade de promover mudanças rápidas e necessárias para enfrentar desafios que encontram no seu ramo de atuação.

2.5.2 Método de melhoria PDCA

O método de melhoria PDCA foi desenvolvido pelo estatístico americano Walter A. Shewhart nos laboratórios da *Bell Laboratories* nos EUA (ANDRADE, 2003). Essa poderosa ferramenta foi introduzida no Japão na década de 1950 por doutor Deming (CAXITO, 2008).

O PDCA é um método cíclico de controle de processo, que pode ser girado sucessivamente sobre qualquer processo que se deseja uma solução para o problema. Essa ferramenta é eficiente para manter uma organização no caminho da melhoria constante.

As letras da palavra PDCA vem do inglês *Plan, Do, Check, Action*, é composto pela etapa de planejamento, execução, verificação atuação corretiva e ação corretiva (WERKEMA, 1995).

Segundo (MARSHALL JUNIOR *et al*, 2010, p.95), as fases do PDCA são apresentadas da seguinte forma:

> 1ª *Fase – Plan* (planejamento). Deve-se estabelecer os objetivos e metas, para que sejam desenvolvidos métodos, procedimentos e padrões para alcançá-los. Normalmente, as metas são desdobradas do planejamento estratégico e representam requisitos do cliente ou parâmetros e características de produtos, serviços ou processos. Os métodos contemplam os procedimentos e as orientações técnicas necessárias para se atingirem as metas.
>
> 2ª Fase – *Do* (execução). Esta é a fase de implementação do planejamento. É preciso oferecer treinamento e educação dos métodos desenvolvimento na fase de planejamento. Ao longo da execução devem-se coletar os dados que serão utilizados na fase de verificação. Quando o pessoal envolvido na execução vem participação desde a fase de planejamento, o treinamento, em geral, deixa de ser necessária.
>
> 3ª Fase – *Check* (verificação). É quando se verifica se o planejamento 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 carta de controle, histogramas, folhas verificação, entre outras. É importante ressaltar que essa comparação deve ser baseada em fatos e dados, e não em opiniões ou intuição.
>
> 4ª Fase – *Act* (agir corretivamente). Nessa fase têm-se duas alternativas. A primeiramente consiste em buscar as causas fundamentais. A primeira consiste em buscar fundamentais a fim de prevenir a repetição dos efeitos indesejados, no caso de não terem sido alcançadas as metas planejadas. A segunda, em

> adotar, como padrão o planejamento na primeira fase, já que as metas planejadas foram alcançadas.

Segundo Aguiar (2012) para que se promova uma melhoria eficiente é necessário um bom planejamento e deve possuir as seguintes etapas:

- ✓ Identificação do problema;
- ✓ Análise do fenômeno, ou seja, observação para reconhecimento do problema;
- ✓ Análise do processo, ou seja, descobrir as causas principais do problema;
- ✓ Estabelecimento do plano de ação, ou seja, contramedidas às causas principais do problema.

Após a elaboração do plano de ação é necessário sua implantação que ocorre na fase de execução. Todas as ações desenvolvidas para a solução do problema deve esta de acordo com plano de ação. Nesta etapa é essencial a educação e o treinamento das pessoas envolvidas nas atividades que sofreram modificações (WERKEMA, 1995).

Com as implantações das ações na etapa da execução, deverá ser verificada a efetividade do plano de ação através dos resultados coletados e comparados com a meta planejada (WERKEMA, 1995).

Na etapa da atuação corretiva, as contramedidas que apresentaram o resultado esperado na etapa de verificação são adotadas com novo padrão dentro do processo (WERKEMA, 1995). Todavia, quando os resultados para solução do problema não foram alcançados, o ciclo PDCA deverá ser novamente reiniciado até que a solução do problema seja alcançada.

3 METODOLOGIA

Para dar início ao presente trabalho realizou-se um levantamento bibliográfico, pois a pesquisa bibliográfica é considerada por Lakatos (1992) como primeiro passo para todas as pesquisas científicas servindo de embasamento teórico-metodológico, ampliando o leque de conhecimento e capacidade argumentativa do pesquisador. Dessa forma, consultou-se artigos, dissertações, documentos, livros, revistas eletrônicas, *sites* e teses sobre fundição e os defeitos que ocorrem nesse processo de fabricação de peças metálicas.

Buscando a coleta de dados, realizou-se uma pesquisa documental nas informações sobre os defeitos de fundição numa ferramenta conhecida como *BancoFun, software* de plataforma no *Excel* desenvolvido para o gerenciamento da oficina de fundição, porem foi constatado que as planilhas estavam desatualizadas, pois não eram alimentadas com as informações sobre os defeitos que ocorriam na produção de peças.

Para tanto, foi necessário definir a ferramenta de qualidade adequada que poderia ser empregada para coletar os dados de ocorrência dos defeitos de fundição numa inspeção visual nas peças fabricadas na fundição estudada.

Para Vieira (1999 p. 1), “A folha de verificação é uma planilha para o registro de dados. O uso de uma folha de verificação torna a coleta de dados rápida e automática. Toda a folha de verificação deve ter espaço onde registrar local e data da coleta dos dados”.

Segundo Kume (1993) as folhas de verificação são formulários impressos em papel, que já possuem os itens a serem verificados, facilitando a coleta de dados de forma organizada. Porém é essencial que os defeitos a serem analisados sejam definidos claramente, de antemão, para que no momento da coleta dos dados não seja prejudicada caso a peça a ser analisada apresente mais de um defeito descrito na lista de verificação.

Portanto, segundo as características da folha de verificação mencionada pelos autores acima, a ferramenta indicada para coletar as ocorrências de defeitos de fundição será a folha de verificação.

3.1 CONSTRUÇÃO DA FOLHA DE VERIFICAÇÃO

A folha de verificação elaborada para coleta de dados construiu-se na forma de tabela, no Microsoft Excel, com sete classes de defeitos de fundição. A estrutura da folha de verificação foi estruturada da seguinte forma:

- ✓ Nas linhas da primeira coluna colocou-se às sete classes de defeitos, classificados conforme o Atlas Internacional de Defeitos de Fundição;
- ✓ Na segunda coluna da tabela colocou-se as subclasses dos defeitos de fundição;
- ✓ Nas colunas subsequentes deixou-se campos para informações das ordens de produção, contendo o tipo de peças, o número da ordem de produção e a quantidades de peças fabricadas;
- ✓ Nas demais linhas, abaixo dos dados das ordens de produção, deixou espaços para o preenchimento da quantidade de defeitos coletados durante a inspeção visual.

Os registros da coleta dos dados da inspeção visuais ocorreram no período de 01 de junho de 2016 a 08 de agosto de 2016. Com as informações coletadas foram preencheram-se os campos dos dados da folha de verificação. Essas informações coletadas se basearam em problemas de qualidades, observados através de inspeções visuais, após os processos de desmoldagem, limpeza e rebarbação das peças.

Durante o período da coleta das informações, produziram-se 76 ordens de produções na fundição, diante das inspeções visuais realizadas nas peças fabricadas constatou-se que nem todas as ordens produzidas apresentavam defeitos de fundição. Com as ordens que apresentaram defeitos de fundição preencheram-se no *check list* na folha de verificação os seguinte dados: tipo das peças, números da ordem de produção e quantidade produzida, além dos tipos de defeitos visualizados. Na figura abaixo é representada a folha de verificação desenvolvida e utilizada para coleta de dados.

Tabela 4 – Folha de verificação desenvolvida para coleta de dados

FOLHA DE VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS DE FUNDIÇÃO					
Classes de defeitos	Tipos de defeitos	Peças: Nº corrida: Quantidade:	Peças: Nº corrida: Quantidade:	Peças: Nº corrida: Quantidade:	TOTAL DE DEFEITOS
Protuberância metálica	Erosão de areia				0
	Levantamento de molde				0
	Macho quebrado				0
	Rebarba de ângulo				0
	Rebarba metálica				0
	Veiamento				0
Cavidades	Porosidade				0
	Rechupe				0
Descontinuidades	Trinca a frio				0
	Trinca a quente				0
Superfície defeituosa	Esmagamento				0
	Expansão da areia				0
Peças Incompletas	Falta de enchimento				0
	Falta de metal				0
	Molde vazando				0
Dimensões incorretas	Contração				0
Inclusões	Escória/Areia				0
	Prod. Usad. Banho Metálico				0
Totais de defeitos					0

Fonte: Elaboração própria

Através da folha de verificação acima coletou as informações das ordens de produção que apresentaram defeitos, os resultados dessa coleta de dados estão tabulados abaixo. A comprovação das informações coletadas está nos apêndices A e B no final do trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na tabela abaixo, estão reunidas informações sobre os defeitos levantados através de inspeções visuais que foram preenchidas nas folhas de verificações.

Tabela 5 – Totais defeitos de fundição levantados na coleta de dados

DEFEITOS DE FUNDIÇÃO

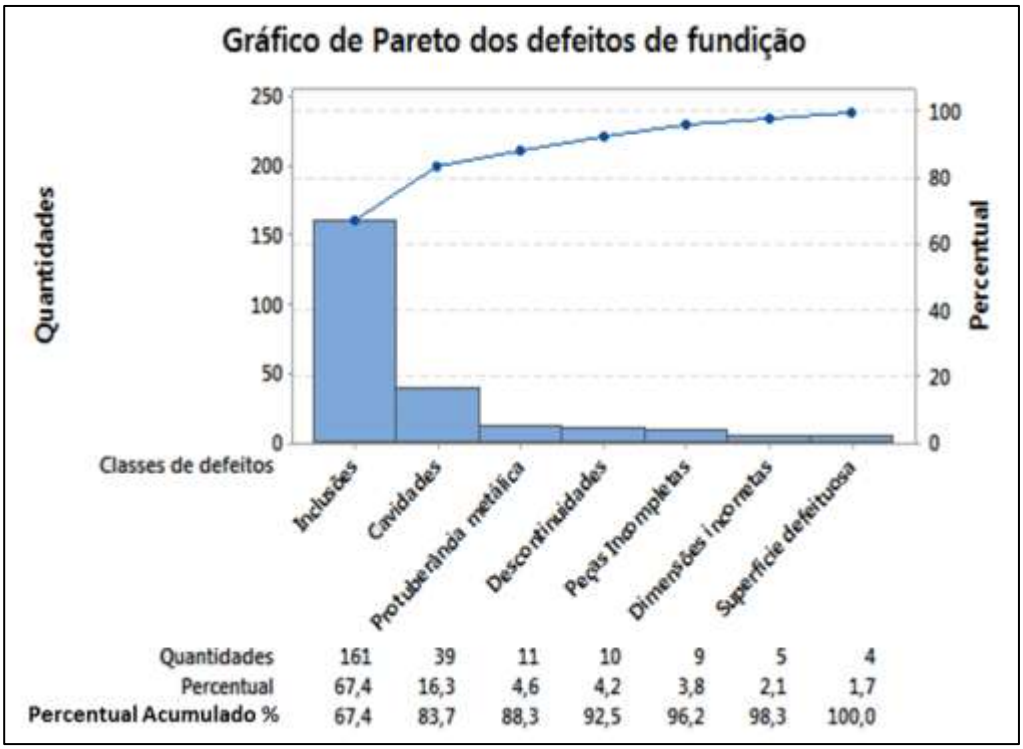
Classes de defeitos	Tipos de defeitos	Quantidade por tipo de defeito	Quantidade por classe de defeitos
Protuberância metálica	Erosão de areia	0	11
	Levantamento de molde	0	
	Macho quebrado	0	
	Rebarba de ângulo	4	
	Rebarba metálica	3	
	Veiamento	4	
Cavidades	Porosidade	38	39
	Rechupes	1	
Descontinuidades	Trinca a frio	1	10
	Trinca a quente	9	
Superfície defeituosa	Esmagamento	0	4
	Expansão da areia	4	
Peças Incompletas	Falta de enchimento	0	9
	Falta de metal	8	
	Molde vazando	1	
Dimensões incorretas	Contração	5	5
Inclusões	Escória/Areia	161	161
	Produto utilizado Banho Metálico	0	
		Totais de defeitos	**239**

Fonte: Elaboração própria

4.1 CONSTRUÇÃO DO GRÁFICO DE PARETO

Para a construção do Gráfico de Pareto, utilizaram-se os valores da quantidade de defeitos levantados pela folha de verificação. Carregou os dados coletados no programa *MINITAB*® na forma de duas colunas, sendo a primeira com as classes dos defeitos e a segunda com as quantidades de defeitos coletadas, após foi feito a construção do gráfico de Pareto demonstrado na representação abaixo.

Gráfico 3 – Gráfico de Pareto dos defeitos de fundição



Fonte: Elaboração própria

O gráfico de Pareto é uma ferramenta da qualidade que proporciona visualizar uma ordenação das causas de perdas que devem ser eliminadas, admitindo como alvo os principais desvios, onde a tratativa trará melhores benefícios. Pela observação do gráfico de Pareto acima, constatou-se que os defeitos críticos são as inclusões de areia e as cavidades, pois os percentuais acumulados das duas classes de defeitos correspondem a 83,7% dos defeitos de fundição. Sendo assim a análise do gráfico de Pareto é possível à identificação dos dois principais defeitos, inclusão e cavidades, que ocorrem na fundição alvo desse estudo. Essa ferramenta indica ainda as duas classes

de defeitos que deve ser priorizada no estudo de causa efeito, a fim de buscar as principais variáveis estão contribuindo para a ocorrência desses defeitos.

4.2.UTILIZAÇÃO DA FILOSOFIA PDCA NO PROBLEMA DE INCLUSÕES

A partir do gráfico de Pareto, conforme o gráfico 3, conclui-se que as inclusões e cavidade representavam a maior parcela dos problemas encontrados, sendo as inclusões responsáveis por 67,4% e as cavidades 16,3% dos defeitos de fundição levantados. Diante porcentagem dos defeitos de inclusão, necessitou-se identificar o tipo de inclusão e as principais causas que contribuem para o seu surgimento.

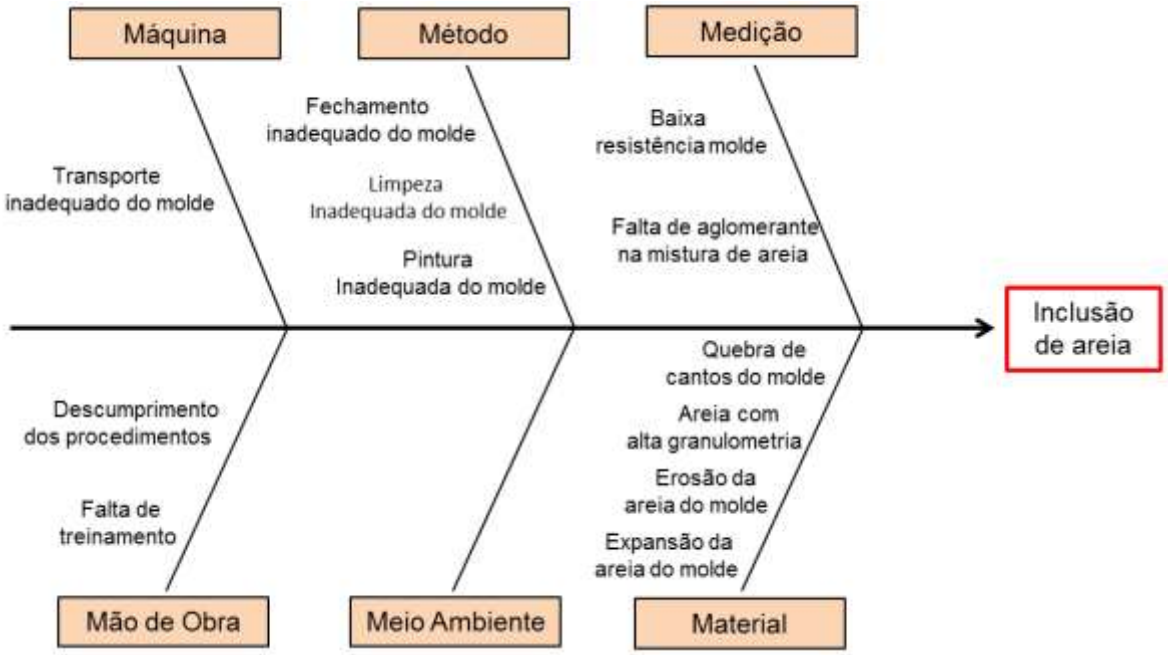
Para Baldam e Vieira (2013) as inclusões podem ser do tipo endógena de ordem métalúrgica na forma de Sulfetos, Óxidos, Silicatos e Aluminatos ou do tipo exógena na forma de inclusões, provenientes de fonte externa e não metálica com escória, erosão do refratário das paredes do forno, panela de vazamento, canais de vazamento do molde ou ainda areia solta que não foi removida na etapa de preparação e pintura do molde da peça.

Após inspeção visual, verificou-se que se tratava de inclusões do tipo exógena devido a areia encontrada, ficando evidente que se tratava de inclusões de areia presente nas peças metálicas fundidas. Como esses defeitos foram os mais detectados buscou-se às possíveis causas dessas ocorrências nas literaturas e publicações existentes sobre esse tipo de defeito.

As causas de ocorrências são devido à erosão da areia, quebra de cantos do molde, fechamento, transporte e limpezas inadequadas dos moldes (PAVANATI, 20--). Ainda de acordo com Braga (2011) as inclusões de areia podem ocorrer pela baixa coesão da mistura do molde, areia muito seca e sistema de vazamento mal projetado. Para o técnico de fundição da empresa estudada, esse defeito pode estar associado a outros defeitos, como os a expansão da areia do molde, esmagamento do molde e penetração metálica por explosão da areia. As inclusões de areia é um dos defeitos mais comuns de fundição e ocorrem em posições variadas da peça, são na sua maioria acompanhadas de bolhas de Monóxido de Carbono e partículas de Òxido (JURIANI, 2015).

Diante das causas de inclusões citadas pelos diferentes autores acima, construiu o gráfico de causas e efeito que se encontra logo abaixo, demonstrado as várias causas que levam a ocorrência de defeito de inclusão de areia nas peças metálicas produzidas na fundição estudada.

Diagrama 1 – Causas e efeito inclusão de areia em peças metálicas fundidas

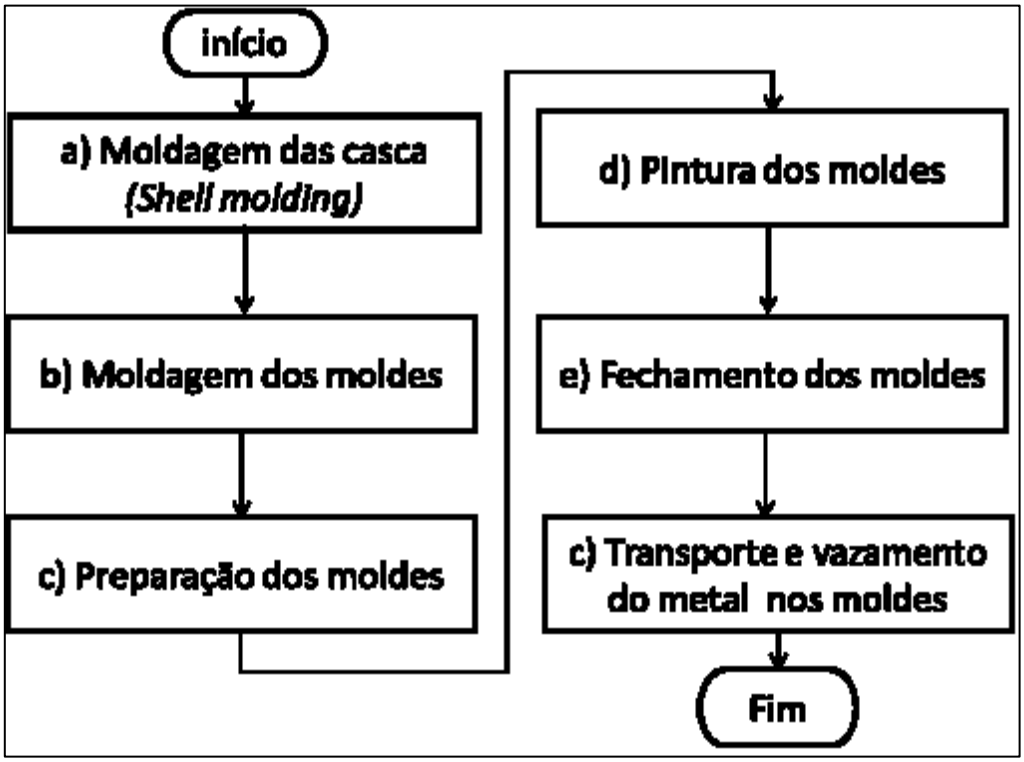


Fonte: Elaboração própria

Analisando os dados levantados na folha de verificação constatou-se que as inclusões ocorreram apenas nas peças de barras de grelhas, com um total de 161 defeitos em apenas duas ordens de produção inspecionadas, sendo que cada ordem possuía um lote com 200 unidades. Essa quantidade de defeitos demonstrou que o processo de produção das peças de barra de grelha estava totalmente fora de controle, devido a volume de defeitos detectados nas inspeções visuais.

A grande quantidade de ocorrência de defeito de inclusão de areia indicava que o problema seria facilmente identificado por um acompanhamento criterioso de todas as etapas de fabricações dos moldes das peças das barras de grelhas. Para evidenciar a etapa que estava causando os defeitos de fundição, o técnico da fundição da empresa estudada, seguindo a filosofia do ciclo do PDCA, adotou a postura de um observador a fim de reconhecer a origem do problema e acompanhou as etapas de fabricação da peça de barra de grelha que estão representadas no fluxograma abaixo.

Fluxograma 1 – Etapas de fabricação das peças de barras de grelhas



Fonte: Elaboração própria

As etapas de fabricação das peças de barras de grelhas são descritas a seguir..

a) Fabricação do molde em casca das barras de grelhas, processo de cura a quente;

Nesse processo de moldagem, consiste em cobrir a superfície do modelo metálico aquecido com areia de *shell molding*, para obtenção molde da peças de barra de grelha. Após a cura do molde, as cascas são partida no meio e colada com auxílio de uma prensa pneumática.

b) Processo de moldagem das cascas num molde maior, com quatorze cascas, envoltas por areia aglomeradas quimicamente;

Nesse processo de moldagem, as cascas do molde da barra de grelhas são posicionadas num modelo, na forma de uma placa, e posicionadas caixas metálicas envoltas e preenchido com areia numa moldagem em areia aglomerada com resina.

c) Preparação dos moldes de barras de grelhas;

Nessa etapa do processo de fabricação, os moldes com 14 cascas da barra de grelhas são limpos os canais de vazamento e os suspiros para retirar os grãos ou pedaços de

areia, a fim de evitar obstrução dos canais de vazamento do metal líquido e inclusões de areias nas peças.

d) Pintura dos moldes de barras de grelhas;

A pintura dos moldes é realizada com tinta de grafite a base de Álcool Etílico, com objetivo de forma uma superfície refratária no molde para resistir à temperatura do metal líquido, evitando a sinterização, a erosão da areia do molde que são arrastadas durante a passagem do metal nos canais de alimentação da peça.

e) Fechamento dos moldes de garras de grelhas;

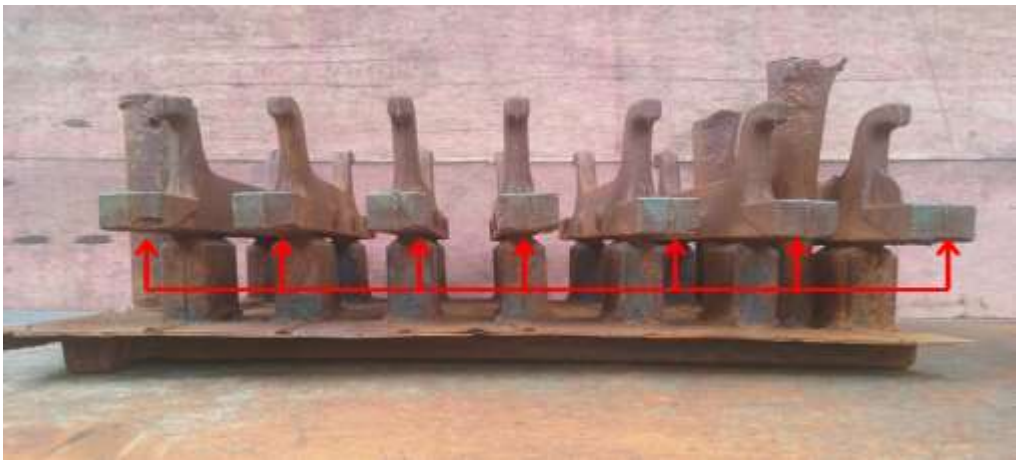
Após a pintura a secagem do molde pela queima do álcool da tinta, o molde superior das peças são posicionados sobre o molde inferior, travados, empilhados e enviados para o local de vazamento.

f) Transportes dos moldes para o local de vazamento do metal líquido.

Com os moldes das barras de grelhas todos moldados, pintados, travados e empilhados são transportados para o local de vazamento com auxílio da ponte rolante e posicionado para o vazamento com metal líquido.

Durante análise das etapas de fabricação da peça de barra de grelha, o técnico da fundição observou que na etapa de pintura eram introduzidas areias para dentro dos moldes, devido à operação de limpeza de areia acumulada nos canais de vazamento, pois o operador utilizava uma pistola de ar comprimido. Dessa os grãos de areia eram levados para dentro dos moldes e ficavam acumulados na extremidade inferior das cascas, não sendo possível sua retirada. Ficando evidente que nessa etapa ocorria o principal desvio que estava causando os defeitos de inclusão nas peças metálicas produzidas, essa conclusão confirmou-se nas inspeções visuais realizadas nas peças metálicas fundidas após etapa de desmoldagem, sendo possível visualizar os defeitos nas extremidades das peças inspecionadas, conforme imagem abaixo.

Imagem 13 – Fotografia da posição dos defeitos de inclusão de areia



Fonte: Elaboração própria

O defeito de inclusão de areia é mais bem visualizado na imagem 14, sendo possível perceber falta de material metálico, devido a areia acumulada formando uma cavidade, com aspecto de escória.

Imagem 14 – Fotografia de defeitos encontrados de inclusões de areia

Fonte: Elaboração própria

Após análise das etapas de fabricação da peça de barra de grelha, ficou constatado as reais causas que levaram ao defeito de inclusão de areia, sendo elas ligadas ao método de limpeza e pintura nos moldes das peças de barra de grelhas por falta de treinamento do operador. As verdadeiras causas então destacadas no diagrama de causa e efeito abaixo.

Diagrama 2 – Identificação das causas de inclusão de areia.

Fonte: elaboração própria

4.2.1 Plano de ação para eliminação dos defeitos de inclusão de areia

Para reduzir os defeitos de inclusão de areia nas peças metálicas produzidas na empresa estuda, será necessário treinar os operadores, pois “[...] esses defeitos são característicos de uma prática de fundição muito pobre” (BALDAM; VIERIA, 2013, p.76).

4.2.1.1 Propostas para eliminação das inclusões de areia nas barra de grelhas

- ✓ Mudar a forma de execução da atividade de preparação e pintura dos moldes de barras de grelhas para limpeza acúmulo de areia nos canais de vazamento, para que as areias não sejam introduzidas para dentro do molde.
- ✓ Atualizar o manual da atividade de preparação e pintura dos moldes das barras de grelhas.
- ✓ Controlar o processo, garantindo o cumprimento do manual da atividade.

É importante que as pessoas envolvidas nas operações na empresa fabricante de peças metálicas fundidas possuam conhecimentos sobre os defeitos de fundição,

saibam quais as principais causas para cada tipo de defeito, pois os funcionários treinados e informados desempenharam suas conscientemente e evitarão práticas que produzem defeitos nas peças metálicas fabricadas.

4.2.1.2 Mudanças realizadas na preparação dos moldes de barras de grelhas

Antes da constatação das causas dos defeitos de inclusão de areia nas peças de barras de gralhas, os moldes estavam sendo preparados e pintados numa posição horizontal, favorecendo o acúmulo de areia nas extremidades inferiores dos moldes, pelo sopro de ar comprimido que o operador realizava. Portanto, ao constatar que ocorria a introdução de areia para dentro do molde das cascas, executou a mudança da forma da realização de preparação e pintura dos moldes para eliminação do problema.

Na mudança executada, trocou-se a posição horizontal de preparação dos moldes para uma posição vertical, apoiada num cavalete com 1,8 metros de altura, onde o operador passou a realizar limpeza dos canais de ataque dos moldes e areia acumulada passou a ser eliminada devido à queda pelo efeito da força da gravidade. A mudança é visualizada logo abaixo, comparando as imagens 15 e 16.

Imagem 15 – Forma anterior de preparação e pintura dos moldes

Fonte: Elaboração própria

Na imagem abaixo demonstra a nova posição de preparação do molde, onde os canais são desobstruídos e a grãos de areias caem devido à caixa do molde estar numa posição acima, apoiada sobre um cavalete.

Imagem 16 – Forma atual de preparação do molde de barra de grelha

Fonte: Elaboração própria

Com a execução do plano de ação, verificou-se que houve redução dos defeitos de inclusão de areia nas peças de barras de grelhas, após implantação da nova forma de preparação e pintura dos moldes, as peças produzidas não apresentam os problemas esse tipo de defeito.

Após a constatação da redução dos defeitos de inclusão de areia nas peças de barras de grelhas, o manual de operação da atividade para fabricação das peças de barras de grelhas sofreu-se atualização e consequentemente padronização para que os operadores da empresa estudada executem as atividades sempre da mesma forma. Eliminado definitivamente as causa dos problemas de inclusão de areias, fechando assim o ciclo PDCA de melhoria contínua.

4.2.1.3 Segurança e ergonomia da melhoria no processo

Quanto a questão de segurança operacional o molde de barra de grelha pesa 0,3 toneladas e os cavaletes foram projetas para suportarem 1 tonelada e para aumentar o segurança o molde permanecem seguros numa corrente pelo equipamento de levantamento de carga, ponte rolante, que possui capacidade de 10 toneladas.

Quando a questão ergonômica, as ordens de produção das peças de barras de grelha são compostas por 200 peças, sendo que cada molde contém 14 peças, totalizando cerca de 15 moldes. Cada molde levam 2 a 4 minutos para serem limpos os canais de ataques para posterior pintura, desta forma o operador fica exposto nesta posição no

máximo de 60 minutos em um turno de trabalho. Ainda existe uma carteira de ordens variadas, ou seja, as ordens peças de barras de grelha não são fabricadas cotidianamente. Dessa forma, o operador permanece exposto nesta postura em 9 % do seu período de trabalho e sofre danos, pois de acordo com o método Ovako Sistema de Análise de Trabalho proposto por Mas e Antonio (2015) quando uma postura onde braço de um trabalhador está localizado abaixo do nível dos ombros e o outro acima do nível do ombro com carga menor que dez quilogramas, exposto numa frequência relativa menor que 10 %, trata-se de uma postura normal e natural, sem efeitos nocivos sobre a postura do sistema músculo-esqueléticos.

4.2.2 Utilização da filosofia PDCA no problema de cavidade

Nas inspeções visuais foi detectado que 38 defeitos de porosidades e apenas 1 defeito de rechupe, desta forma os defeitos da classe de cavidade serão tratados com porosidade, pois esses tipos de defeitos representam cerca de 97,5 % dos defeitos de cavidade. Esse defeito foi o segundo mais detectados, representando uma porcentagem de 16,3% dos defeitos na análise do gráfico de Pareto. Dessa forma, buscou às possíveis causas dos defeitos de porosidade em literaturas e publicações existem sobre o assunto.

O principal motivo do defeito de porosidades nas peças metálicas é devido a não eliminação de gases existentes dentro moldes, no momento do vazamento do metal líquido, por falta de permeabilidade da areia, falta de suspiros que facilitam a eliminação desses gases.

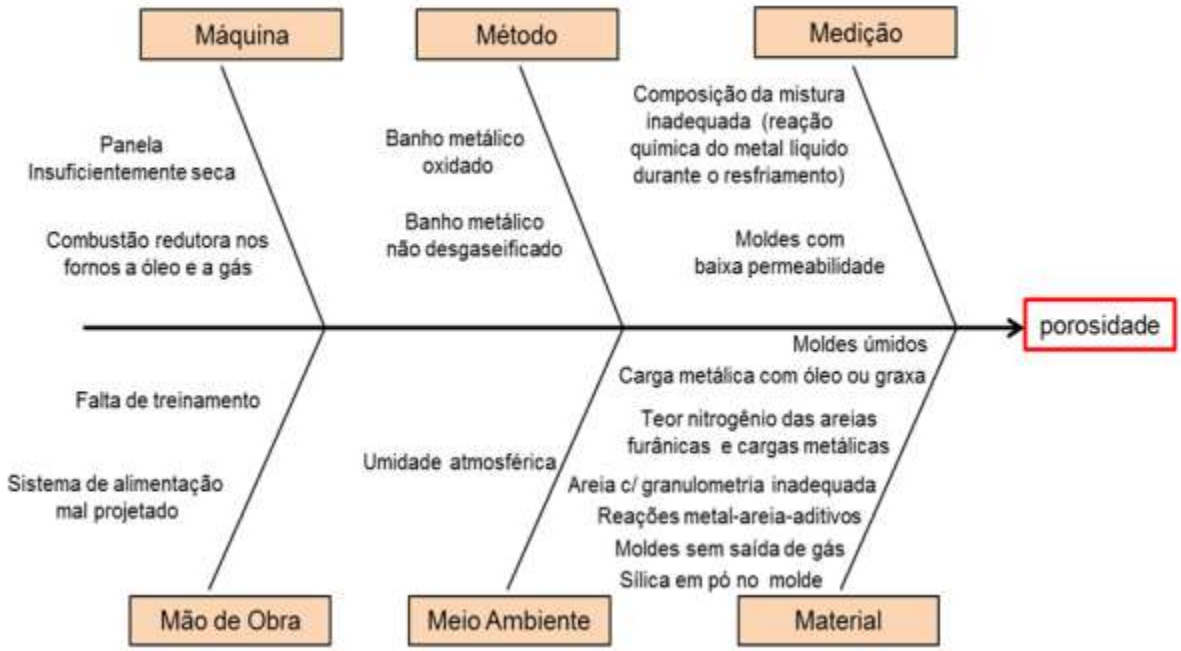
O segundo motivo é de causas endógenas, devido aos gases de Hidrogênio e Oxigênio solubilizados no banho metálico ou gerados pela decomposição de água contida na areia do molde (BALDAM; VIEIRA, 2013).

Por último existem as causas exógenas provenientes dos materiais que constituem os moldes e machos, aprisionados no interior da peça mecanicamente durante a fase de solidificação, devido à sua geometria (BRAGA, 2011).

Diante das causas de cavidade do tipo de porosidade citada pelos diferentes autores acima, construiu-se o diagrama de causas e efeito que se encontra logo abaixo,

constando as várias causas de ocorrência de porosidade nas peças metálicas produzidas na fundição estuda.

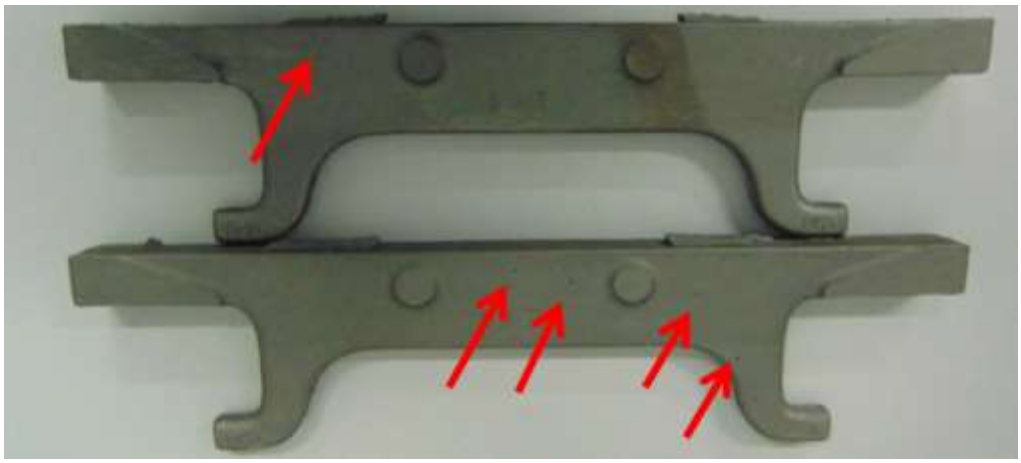
Diagrama 3 – Causa e efeito da porosidade nas peças metálicas fundidas



Fonte: Elaboração própria

As imagens abaixo são fotografias das peças fundidas que apresentaram de porosidades detectadas nas inspeções visuais, suas informações foram preenchidas na folha de verificação se encontra nos apêndices A e B.

Imagem 17 – Fotografia das Barras de grelhas com defeitos porosidades



Fontes: Elaboração própria

A imagem abaixo é de um pote de escória. Os Potes de Escória utilizados na siderúrgica estudada, são peças metálicas fundida em aço carbono com 48 t de forma

elíptica, com capacidade de 25 m^3 de volume e sua finalidade é recolher escória gerada no processo de fabricação de aço nos convertedores na Aciaria. São montados em vagões ferroviários específicos e recebem escória dos convertedores a cada final de corrida (NASSER et al, 2006).

Imagem 18 – Fotografia de pote de escória com defeitos porosidades

Fontes: Elaboração própria

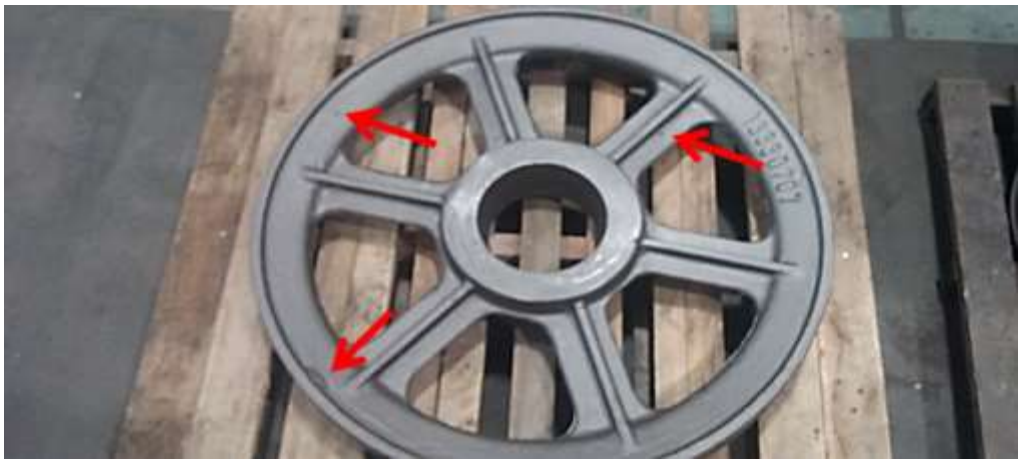
A imagem a seguir é uma fotografia de defeitos de porosidades detectados nas paredes interna de um pote de escória.

Imagem 19 – Fotografia de defeitos porosidades encontrado no pote de escória

Fontes: Elaboração própria

A imagem a seguir é uma fotografia de defeitos de porosidades numa roda, contudo os defeitos de porosidade foram mínimos não comprometendo aplicação da peça.

Imagem 20 – Fotografia de roda com defeitos porosidades



Fontes: Elaboração própria

A imagem a seguir é uma fotografia de defeitos de porosidades numa chapa de desgaste. Porém, o defeito foi aberto com arco elétrico com uso de eletrodo de grafite, para recuperação através de enchimento com solda.

Imagem 21 – Fotografia de chapa de desgaste com porosidade

Fontes: Elaboração própria

4.2.2.1 Plano de ação para eliminação dos defeitos de porosidades

De acordo com Baldam e Vieira (2103) as porosidades nas peças metálicas estão relacionadas às causas endógenas ou exógenas.

Para reduzir os defeitos de porosidade nas peças metálicas fabricadas, será necessário um estudo mais aprofundado, desenvolvido num trabalho futuro, pois os defeitos de

porosidade são complexos e podem surgir devido a diversas variáveis, não foi possível distinguir a verdadeira causa raiz do problema nesse estudo.

Todavia, com implantação de algumas ações como controle da granulometria da areia utilizada na moldagem e eliminação da presença de Sílica em pó na mistura do molde, pode resultar numa melhor permeabilidade do molde, facilitando a saída dos gases aprisionados durante o vazamento da peça metálica (BALDAM; VIERIA, 2103). Outra forma de manter uma boa permeabilidade do molde é controlar a pressão da compactação da areia no momento da confecção do molde.

Existem ainda outras formas que ajudam a eliminação dos gases gerados devido à reação metal molde, como a instalação de respiros nos pontos de possíveis aprisionamentos bolhas de gás no molde (BALDAM; VIERIA, 2103).

Essas ações serão executadas na empresa e os resultados serão coletados para verificação do êxito, Contudo não pode ser constatado neste trabalho, pois demandaram de planejamento para seu desenvolvimento e devido à data de entrega desse estudo não são apresentados os resultados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que a utilização da folha de verificação, gráfico de Pareto e diagrama de causa efeito são ferramentas de qualidade essenciais para a identificação, compreensão e eliminação dos problemas que afetam a qualidade dos produtos. Possibilitando a determinação dos principais defeitos ocorridos nas peças metálicas fundidas e suas causas na fundição estudada.

Determinou-se os motivos das ocorrências dos defeitos de inclusão de areia nas peças de barra de grelha, sendo eles o método de execução de limpeza e pintura dos moldes aliada a falta de treinamento do operador, e através da melhoria no processo realizada com auxílio do ciclo do PDCA, aprimorou os procedimentos de limpeza e pintura dos moldes das peças, percebeu-se a redução dos defeitos e padronizou-se a melhoria do processo, sanando o defeito, conforme discutido no tópico de execução das mudanças realizadas na atividade de preparação dos moldes de barras de grelhas

A porosidade foi o segundo principal defeito identificado e para este defeito determinou-se as suas causas de ocorrência, mas em função da complexidade e as diversas variáveis que podem causar esse tipo de defeito de fundição, requer maior tempo e estudo para identificar a causa raiz e desenvolver plano de ação, executar, verificar e padronizar melhoria. Logo, estes itens poderão ser realizados futuramente. Fica indicado o estudo de macrografia e metalografia em amostra de peças fundidas com defeitos porosidades, a fim de determinar as características dos poros e se estão relacionados a causas endógenas de origem metalúrgica, exógenas advindas dos moldes ou devido a solubilização de gases.

Todavia, o objetivo desse trabalho foi alcançado, pois foram identificados que os defeitos de inclusões de areia e as porosidades são os principais defeitos de fundição que ocorrem na fabricação de peças através da aplicação das ferramentas da qualidade. Sendo ainda determinadas as causas para os defeitos de porosidade e as causas do defeito de inclusões de areia, além da melhoria no processo de fabricação, reduzida o número de defeitos.

REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, O. L; BUTTON, S. T. **Processos de Fabricação e Planejamento de Processos**. 2004. Disponível em: <http://mariloureiro.net/tecnica/mecanica/ProcessosFabricoUnivCampinas.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2016.

AGUIAR, Silvio. **Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA ao programa seis Sigma.** Nova Lima: INDG, 2012.

ANDRADE, FÁBIO F. de. **O método de melhoria PDCA.** 2003.169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-04092003-150859/publico/dissertacao_FABIOFA.pdf>. Acesso em 14 set. 2016.

Anuário ABIFA 2015, 181, 2015, PIRACICABA. **Guia ABIFA de fundição.** Piracicaba: ABIFA, 2015.

BALDAM, R. L.; VIEIRA, E.A. **Fundição: Processos e tecnologia correlatas.** 1. Ed. São Paulo: Érica, 2013.

BATALHA, M. B. **Introdução à engenharia de produção.** 6. Ed. – Rio de Janeiro: Elservier, 2008.

BRAGA, Arnaldo F. Junior**.** Defeitos de Fundição Cavidades: Porosidades. In. **III Workshop LABMAT da área de fundição.** Piracicaba. n 3, jun. 2012. Disponível em:< http://www.jmmsassessoria.com.br/upload/files/defeito-de-porosidade-gas-em-pecas-fundidas.pdf> acesso em: 04 mar. 2016.

BRAGA, Arnaldo F. Junior**.** Defeitos em peças fabricadas pelo processo de fundição. In. **II Workshop LABMAT da área de fundição.** Piracicaba. Disponível em:< http://www.jmmsassessoria.com.br/upload/files/defeitos-em-pecas-fabricadas-pelo-processo-de-fundicao.pdf> acesso em: 04 mar. 2016.

BRAGA, Wendel; SILVA, A. Carlos; ALVES, L. H. Dias. Stack Moldink: Uma solução para melhoria de qualidade e produtividade na produção de peças de pequeno porte e grandes séries fundidas em moldes de areia. In **Tecnologia em Matalurgia e Materiais - ABM.** São Paulo. n 4, p.22-25, abr. - jun. 2005.

BAPTÍSTA, A. L. B; SOARES, Â. R.; NASCIMENTO, I. A. **O ensaio metalográfico no controle da qualidade.** [S.l.: s.n., 18--].

CANDÉO, M.; KOVALESKI, J. L. Os principais modelos de gestão industrial no Brasil. In **V Congresso brasileiro de Engenharia de Produção.** Ponta Grossa, Dez. 2015.

CARPINETTI, L. C. R**. Gestão da qualidade: conceitos e técnicas.** 2. Ed. São Paulo: Atlas, 2012.

CASOTTI B. P; DEL BEL, E. F.; CASTRO P. C. Indústria de fundição: situação atual e perspectivas. In. **Metalurgia BNDES** Setorial 33, p. 121-162. Mar. -2011. Disponível em <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3304.pdf>. Acesso em 12 jun. 2016.

CASTRO, P. N. P. D. **Analisar e estabilizar o processo de fundição injetada de Alumínio para minimizar a rejeição no produto na STA – Sociedade Transformadora de Alumínios.** 2013. 39 f. Dissertação (Mestrado integrado em Engenharia Mecânica) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2013. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/69301/1/000155484.pdf>. Acesso 22 jun. 2016.

CARVALHO, M. M; PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade.** 2. Ed. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2012.

CÉSAR, F. I. G. **Ferramentas básicas da qualidade:** instrumento para gerenciamento de processos e melhoria contínua. São Paulo: Biblioteca 24horas. 2011. Disponível em:<https://books.google.com.br/books?isbn=8578938895>. Acesso em 13 jun. 2016.

CHIAVERINI, V, 1914 - **Tecnologia mecânica:** Processos de Fabricação e Tratamento. 2. ed. - São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

CAXITO, Fabiano, de A. **Produção:** Fundamentos e Processos. Curitiba: IESDE Brasil, 2008.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Dicionário da língua portuguesa**. 5. ed. Curitiba: Positivo, 2010

IMAI, Masaaki. **Kaizen:** a estratégia para o sucesso competitivo. 6ªed. São Paulo: Instituto IMAM, 1994. 235p.

JURAN, J. M.; GRYNA, Frank M. **Controle da qualidade handbook**: conceitos, políticas e filosofia da qualidade. São Paulo: Makron Books, 1991.

JURIANI, A. Casting Defects Analysis in Foundry and Their Remedial Measures with Industrial Case Studies. **Journal of Mechanical and Civil Engineering**, v.12, n. 1, p, 43-54, nov./dez. 2015. Disponível em: < http://iosrjournals.org/iosr-jmce/papers/vol12-issue6/Version-1/G012614354.pdf>. Acesso em: 11 set. 2016

KUME, H.: **Métodos estatísticos para melhoria da qualidade.** Tradução Dário Ikuo Miyake. São Paulo: Gente, 1993.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia do Trabalho**. São Paulo: Atlas. 1992.

LIKE, J. K; FRANZ, J. K. **O modelo Toyota de melhoria contínua.** Porto Alegre: Bookman, 2013.

LIMA, M. A. M. **Introdução aos Materiais e Processo para Designer.** Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2006.

MAGALHÃES, I. L; BRITO, W. **Gerenciamento de serviço de TI na prática:** uma abordagem com base na ITIL. São Paulo: Novatec. 2007.

MARSHALL JUNIOR, Isnard. et al. **Gestão da qualidade.** 10 ed. Rio de Janeiro: FGV, 2010.

LOBO, R. N. **Gestão da qualidade.** São Paulo: Érica, 2010.

LUCINDA, M. A. Qualidade: **Fundamentos e práticas para cursos de graduação**. Rio de Janeiro: Brasport, 2010.

Mas, D.; Antonio, J. **A Avaliação Postural Pelo Método OWAS.** Ergonautas. Universidade Politécnica de Valência, 2015. Disponível em <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/owas/owas-ayuda.php>. Acesso em 01 nov. 2016.

MELLO, M. de I. N. M; RIZZO, E. M. da S; SANTOS, R. G. dos S. Análise da influência do teor de hidrogênio e da contração na forma de microporosidades durante a solidificação da liga Al-4,5%Cu. In **51º congresso anual da ABM**. São Paulo, p.609-620. 1996.

MIRANDA, H. C. de. **Apostila Processos de Fabricação:** Tecnologia Mecânica III. Ceará: UFC, 2012. Disponível em: <https://kaiohdutra.files.wordpress.com/2012/10/apostilateciii.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2016.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle da qualidade.** 4. Ed. – Rio de janeiro: LTC, 2013.

MORO, N; AURAS A. P. **Processos de Fabricação.** Florianópolis: CFET-SC. 2007. Disponível em:< http://norbertocefetsc.pro.br/elm/wp-content/uploads/2014/09/fundicao.pdf>. Acesso em 11 maio 2016.

NASSER, A. R. et al. **Produção de potes de escória na CST.** Revista Tecnologia em Metalurgia e Materiais, São Paulo, v.3. n.1, p. 53-56, jul./set., 2006.

NASCIMENTO, M. G. F.; NASCIMENTO, J. F. Indicadores de desempenho e ferramentas da qualidade em uma empresa fabricante de estruturas metálicas**.** In **XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS.** Foz do Iguaçu, Nov. 2015. Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/viewFile/4054/4055>. Acesso em 06 dez. 2016.

OLIVEIRA, B. F. de. **Fundição.** Belém: IFECT-PA. 2013. Disponível em: <http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifpa/tecnico_metalurgica/fundicao.pdf>. Acesso em: 17 maio. 2016.

OLIVEIRA, B. F. de. **Fundição.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Belém-PR. 2013. Disponível em: <http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifpa/tecnico_metalurgica/fundicao.pdf >. Acesso em 22 maio. 2016.

OLIVEIRA, O. J.; GOBBO Jr, J. A.; CESAR, M. C. Implantação do sistema de gestão da qualidade ISO 9000 em uma empresa de transporte rodoviário. In**. XXVI ENEGEP.** Fortaleza, 2006

OLIVEIRA, S. T. **Ferramentas para o Aprimoramento da Qualidade.** São Paulo: Pioneira, 1995.

PALADINI, E. P. **Qualidade total na prática:** implantação e avaliação de sistema de qualidade total. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1997.

PRIBULOVÁ, A.; BARTOŠOVÁ, M.; BARICOVÁ, D. **Quality control in foundry– Analysis of casting defects.** 2013. Disponível em: <http://www.depot.ceon.pl/bitstream/handle/123456789/3379/10.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2016.

PEINADO, J. GRAEML, A. R. **Administração da produção**: operações industriais e de serviços. Curitiba: UnicenP, 2007.

PAVANATI, H. C. **Processos de Fabricação Fundição.** Florianópolis. IFSC**,** [20--].

RAMOS, A.W. **CEP para processos contínuos e em bateladas.** São Paulo: Fundação Vanzolini, 2000.

RAMOS, E. M. L. S; ALMEIDA, S. dos S; ARAÚJO, A. dos R. **Controle estatístico da qualidade.** Porto Alegre: Bookman, 2013.

ROWLEY, M. T. et al. **International Atlas of Casting Defects.** Des Plaines: American Foundrymen's Society, 1974.

RUBIO, J. C. C; PANZERA, T. H; NOGUEIRA, W. A. **Qualidade Superficial de Peças de Alumínio Fundidas em Molde de Areia.** Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-70762006000200006>. Acesso em: 16 mar. 2016.

SANTOS, R. S. et al. Structural analysis of Alloy Al-2,5 Mg solidofy through the process Squeeze Casting. In. **21º Brazilian Congress of Mechanical Engineering**. Natal, RN, Brazil. p. 24-28, October 2011. Disponível em: <http://www.abcm.org.br/app/webroot/anais/cobem/2011/PDF/269801.PDF>. Acesso em: 14 mar. 2016.

SOARES, G. A. **Fundição:** Mercado, Processos e Metalurgia. Rio de Janeiro: COPPE / UFRJ. 2000.

SOAREZ, João Carlos Miguez**. Manual CNI.** Controle de qualidade na indústria Metalúrgica. 3. ed.- Rio de Janeiro. 1987.

TENÓRIO, F. G. **Flexibilização organizacional total:** Aplicação de um modelo de produtividade total. Rio de Janeiro: FGV Eletronorte, 2002.

SUECKES, P. **Xusing:** a teoria sistêmca do usarismo: O paradigma da siciedade do uso ao invés da sociedade de consumo para uma nova ordem social, política, monetária e econômica mundial. Bauru, Do autor, 2001.

TRIVELLATO, A. A. **Aplicação das sete ferramentas básica da qualidade no ciclo PDCA para melhoria contínua: Estudo de caso numa empresa de autopeças.** 2010. 73f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia de Produção Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010.

VIEIRA, S. **Estatística para a qualidade.** 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

VIEIRA, S. **Estatística para a qualidade**: como avaliar com precisão a qualidade em produtos e serviços. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

VERAS, C. M. A. **Gestão da qualidade.** São Luis: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão. 2009. Disponível em: <http://www2.ifma.edu.br/proen/arquivos/artigos.php/gestao_da_qualidade.pdf>. Acesso em 13. Jun. 2016.

WERKEMA, Maria. C. C. **As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos.** 2. Ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995.

ZOLIN, I. **Curso técnico em automação industrial:** ensaios mecânicos e análise de falhas. 3. ed. Santa Maria: UFSM, 2010. Disponível em: <http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_ctrl_proc_indust/tec_autom_ind/ensaios_mec/161012_ens_mec_an_fal.pdf>, Acesso em: 25 out. 2016,

APÊNDICE A – Defeitos encontrados

FOLHA DE VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS DE FUNDIÇÃO																													
CLASSES DE DEFEITOS	**TIPOS DE DEFEITOS**	Peças: **WPP**	Nº corrida: 13419232	Quantidade: 1	Peças: **WPP**	Nº corrida:13419233	Quantidade: 1	Peças: **Wpp**	Nº corrida: 13419234	Quantidade: 1	Peças: **WPP**	Nº corrida: 13419234	Quantidade: 1	Peças: **POTE DE ESCÓRIA**	Nº corrida: 160	Quantidade: 1	Peças: **MANCAL**	Nº corrida: 13538382	Quantidade: 1	Peças: **WPP**	Nº corrida: 13419236	Quantidade: 1	Peças: **CHAPA DE DESGATE**	Nº corrida: 135191555	Quantidade: 20	Peças: **DOOR FRAME**	Nº corrida: 13564302	Quantidade: 1	TOTAL DE DEFEITOS
Protuberância metálica	Erosão de areia																												0
	Levantamento de molde																												0
	Macho quebrado																												0
	Rebarda de ângulo																												0
	Rebarda metálica																												0
	veiamento	I			I			I			I																		4
Cavidades	Porosidade													I									⧅⧅□						15
	Rechupe																			I									1
Descontinuidades	Trinca a frio													I															1
	Trinca a quente																												0
Superficie defeituosa	Esmagamento																												0
	Expansão da areia	I			I			I			I																		4
Peças Incompletas	Falta de enchimento																												0
	Falta de metal																I												1
	Molde vazando																									I			1
Dimensões	Contração	I			I			I			I									I									5
Inclusões	Escória/Areia																												0
	Prod. Usad. Banho Metálico																												0
																												Totais de defeitos	**32**

Fonte: Elaboração própria

APÊNDICE B – Defeitos encontrados

| FOLHA DE VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS DE FUNDIÇÃO | | |