

UTILIZAÇÃO DE MASSALOTES EM PEÇAS DE FERRO FUNDIDO

USE OF MASSALOTES IN CAST IRON PARTS

Luiz Carlos Monney¹

¹Faculdade de Tecnologia Assessoritec, Matriz – Rua Marquês de Pombal, 287 – Iriú, Joinville – SC, 89227-110.

²Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Campus Universitário Prof. Avelino Marcante – Rua Paulo Malschitzki, 200 - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, 89219-710.

RESUMO

A intervenção organizacional ocasionada durante a elaboração do mapeamento de fluxo de valor, permite a organização uma visão holística. Dessa forma, são identificadas necessidades para base de um plano de implementação de melhorias. Este estudo visa a aplicação do mapeamento do fluxo de valor (MFV), que utilizando dos princípios de manufatura enxuta, objetiva identificar desperdícios no processo de fabricação de peças artesanais provençais de ferro. Entre os diversos tipos de modelos de peças fabricados, foi selecionado o escorredor de louças, produto com maior demanda de produção. Pelo processo já ser bastante enxuto, que inclui corte, modelagem, soldagem e acabamento, o presente artigo mostra como ainda pode-se achar simples alternativas de otimização, e como elas terão impacto no fluxo de valor. Com o uso da metodologia de aplicação do MFV proposto, o processo de fabricação do escorredor foi exposto em seu estado atual e seu estado futuro. A projeção do estado futuro mostrou resultados positivos, que incluem principalmente redução do lead time de produção, e possível eliminação de serviço terceirizado.

Palavras-chave: produção enxuta, mapa do fluxo de valor, ferro.

ABSTRACT

The organizational intervention occasioned during the elaboration of the value stream mapping, allows the organization a holistic view. In this way, needs are identified for the basis of an improvement implementation plan. This study aims at the application of Value Stream Mapping (MFV), which, using the principles of lean manufacturing, aims to identify wastes in the process of manufacturing artisan pieces of iron. Among the different types of models of manufactured parts, the dishwasher was selected, product with greater production demand. Because the process is already quite lean, including cutting, modeling, welding and finishing, this article shows how simple optimization alternatives can still be found, and how they will impact the flow of value. With the use of the methodology of application of the proposed MFV, the process of manufacture of the colander was exposed in its current state and its future state. The projection of the future state showed positive results, which mainly include reduction of lead time of production, and possible elimination of outsourced service.

Keywords: lean manufacturing, value stream mapping, iron.

1. INTRODUÇÃO

O processo de Fundição é um dos processos que tem como finalidade a produção de peças fundidas, mesmo sendo um dos processos mais antigos do mundo, o processo de fundição devido às vantagens que oferece tem uma extrema importância para a fabricação de produtos.

O carbono livre que também é conhecido grafita, se forma com os percentuais de carbono acima de 2% que se forma na aparência veios (ferro fundido cinzento), grafita compacta (ferro fundido vermicular) e nódulos (ferro fundido nodular).

A solidificação de um metal se inicia nas paredes do molde e na parte superior, onde o metal fundido está em contato com o ar. Na primeira fase da solidificação, forma-se uma cama sólida em toda a periferia da peça ou lingote, fechando num envoltório rígido, toda a parte que ainda permanece líquida. A contração volumétrica é uma resultante da solidificação, no caso dos ferros fundidos, a contração varia de 1 a 1,5%, o valor de 1% corresponde ao ferro fundido cinzento e 1,5% ao ferro fundido nodular. A diferença entre os volumes no estado líquido e no estado sólido final dá como consequência o vazio ou rechupe.

O massalote é um prolongamento sobreposto à peça, constituído por um material refratário. Com o uso do massalote se faz com que os vazios se formem dentro do seu interior consequentemente deixando o fundido isento de defeitos. As regras básicas que definem o projeto de sistemas de alimentação de peças em ferros fundidos são: Projeto da ligação massalote/peça (pescoço), Critério Térmico, Critério Volumétrico e Distância de alimentação dos massalotes.

2. PROCESSO DE FUNDIÇÃO

A fundição é constituída por diversos processos que podem conter ligas metálicas ferrosas (ligas que compõem ferro e carbono) e não-ferrosas (liga de cobre, alumínio, zinco e magnésio). O processo de Fundição é um dos processos que tem como finalidade a produção de peças fundidas, ou seja, a sua matéria prima é aquecida até que chegue ao seu ponto de fusão e posteriormente é derramado em seu molde e logo depois solidificado para que possa dar forma à peça desejado (BOTELHO, 2011).

Segundo Botelho (2011), mesmo sendo um dos processos mais antigos do mundo, o processo de fundição devido às vantagens que oferece, tem uma extrema importância para a fabricação de produtos pessoais, máquinas, utilidades domésticas, construção civil, setores automobilísticos, peças utilizadas em equipamentos de transporte, mineração e outros setores industriais, permitindo a fabricação de peças praticamente de qualquer forma, com pequenas limitações em dimensões, formas e complexidade, De acordo com a Figura 1, demonstra superficialmente o processo de fundição.

Figura 1 – Processo de fundição



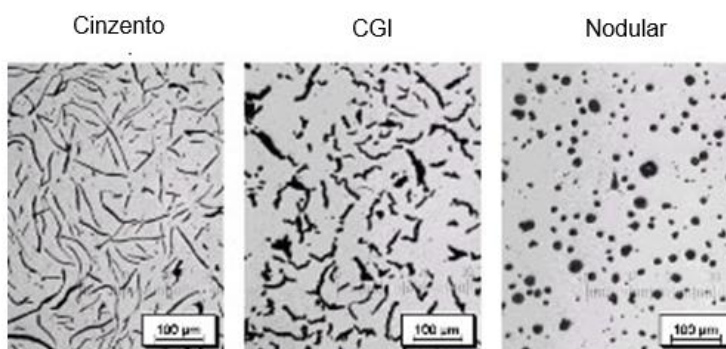
Fonte: (EMPRESA X), (2014)

A forma e a classificação da grafita, bem como a organização da matriz, influenciam diretamente nas características dos ferros fundidos, motivo pela qual a alternativa da classe de ferro fundido apropriada depende muito de sua aplicação. ((EMPRESA X), , 2011)

Segundo (EMPRESA X), (2011), o frequente progresso da tecnologia de fundição dos ferros fundidos está favorecendo cada vez mais para o acréscimo de novas utilidades, possibilitando, assim, opções mais econômicas para se obter produtos com qualidade.

Ferros Fundidos, também conhecido como FoFo, são ligas compostas de ferro-carbono-silício, com teores de carbono geralmente acima de 2,0%, de modo a resultar na formação de grafita, na forma de veios (cinzento - lamelas), grafita compacta (vermicular – CGI) e nódulos (nodular - esferas) (GUESSER, 2009). A figura 2 demonstra as formas do carbono livre nas peças fundidas.

Figura 2 - Classes do Ferro Fundido (Microscópio Óptico)



Fonte: SinterCast (2017)

O processo de fundição de ferros fundidos permite a obtenção de peças de geometria complexa, e sua evolução, no caso de blocos e cabeçotes, permitiu o desenvolvimento recente de motores de desempenho superior. Registram-se aqui os desenvolvimentos de modernas técnicas de fundição, em particular de macharia, e as novas classes de ferros fundidos, como o vermicular (CGI), os nodulares austemperados (ADI), os cinzentos de alta resistência e os nodulares ferríticos. (GUESSER; MELLERAS; CABEZAS, 2019)

3. SOLIDIFICAÇÃO

As peças que são fabricadas pelo processo de fundição devem apresentar determinadas características de utilização, isto é, devem possuir um padrão de qualidade especificado no pedido feito pelo cliente. Quando uma peça não atende as suas especificações, a mesma apresenta defeitos. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS, 1974)

Segundo Nascimento e Santana (2016), a solidificação de um metal se inicia nas paredes do molde e na parte superior, onde o metal fundido está em contato com o ar.

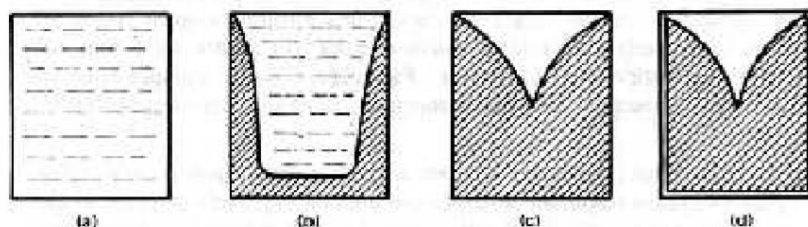
Na primeira fase da solidificação, forma-se uma cama sólida em toda a periferia da peça ou lingote, fechando num envoltório rígido, toda a parte que ainda permanece líquida. À medida que o conjunto vai se esfriando, a solidificação prossegue na parte interna, aumentando sucessivamente a espessura da camada já sólida (NASCIMENTO; SANTANA, 2016).

A solidificação do metal no interior da cavidade de moldação é um fenômeno não linear, transitório, que implica a libertação de calor latente numa interface líquido/sólido que avança à medida que a solidificação progride. É um fenômeno extremamente complexo e, no caso das moldações de areia, o modo predominante de transferência de calor é a condução pelos grãos de areia. A força motriz para a solidificação é o gradiente térmico entre metal e moldação. (MARQUES, 2008)

A solidificação tem início junto às paredes do molde, onde a transferência de calor é mais relevante, e progride para o centro. Assim, secções de menor espessura solidificam primeiro. A mudança para o estado sólido é acompanhada de contração que pode originar cavidades e poros se não for devidamente compensada. As regiões que solidificam em último lugar, comumente designadas por pontos quentes, são os locais onde existe maior probabilidade de ocorrência deste tipo de defeitos. Tipicamente, os defeitos de contração encontram-se no interior das peças, manifestando-se sob a forma de grande concentração de porosidade. A este defeito dá-se o nome de rechupe. A determinação da ordem de solidificação relativa no interior do fundido é vital para prever a sua sanidade. (MARQUES, 2008)

A contração volumétrica é uma resultante da solidificação, no caso dos ferros fundidos, a contração varia de 1 a 1,5%, o valor de 1% corresponde ao ferro fundido cinzento e 1,5% ao ferro fundido nodular. A diferença entre os volumes no estado líquido e no estado sólido final dá como consequência o vazio ou rechupe (NASCIMENTO; SANTANA, 2016).

Figura 3 - Solidificação



Fonte: IFSC (2019)

De acordo com a ABM (1974), o metal líquido é vazado na cavidade do molde com sua temperatura adequada para a fusão. A diferença entre a temperatura de vazamento e a de início de solidificação corresponde ao valor do grau de sobreaquecimento do metal no instante do vazamento.

Após o enchimento do molde, ocorre resfriamento da matéria-prima em três etapas:

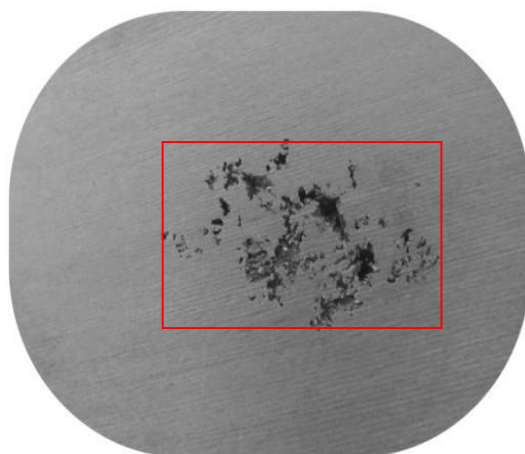
- a) Da liga no estado líquido;
- b) Da liga durante a sua solidificação;
- c) Da liga no estado sólido até a temperatura ambiente.

Sendo que cada uma destas etapas é, geralmente, acompanhada por uma contração do metal.

Imediatamente após o vazamento de um molde, tem-se a cavidade completamente preenchida por metal líquido, que inicia seu resfriamento com uma conseqüente contração (ABM, 1974).

As partes mais finas solidificam-se antes que as mais espessas. Numa mesma seção, a solidificação progride da periferia para o centro da peça e certa quantidade de liga fica envolvida por metal já solidificado. Devido à contração desse líquido restante, ao terminar a solidificação da peça, nota-se uma cavidade em seu interior, que é determinado como “rechupe”, ou seja, a peça não foi adequadamente alimentada (ABM, 1974).

Figura 4 – Ilustração de rechupe em uma peça fundida



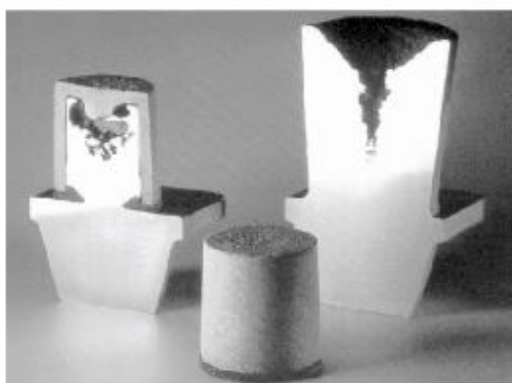
Fonte: (EMPRESA X), (2017)

3.1 Massalotes

O massalote, é um prolongamento sobreposto a peça, constituído por um material refratário. Certa quantidade de metal destinado a preencher o oco que tende a aparecer na peça é mantida no estado de fusão, com o uso do massalote se faz com que os vazios se formem dentro do seu interior consequentemente deixando o fundido são. A função destes reservatórios é atrair o quanto possível o defeito (NASCIMENTO; SANTANA, 2016).

O massalote é uma reserva de metal líquido, adjacente à peça, cujo objetivo é fornecer metal líquido para compensar a contração no estado líquido e durante a solidificação, ou seja, alimentar a peça a fim de evitar a formação do defeito (ABM, 1974).

Figura 5 – Ilustração de massalotes com rechupe



Fonte: DOCSITY (2011)

As partes mais finas solidificam-se antes que as mais espessas. Numa mesma seção, a solidificação progride da periferia para o centro da peça e certa quantidade de liga fica envolvida por metal já solidificado. Devido à contração desse líquido restante, ao terminar a solidificação da peça, nota-se uma

cavidade em seu interior, que é determinado como “rechupe”, ou seja, a peça não foi adequadamente alimentada (ABM, 1974).

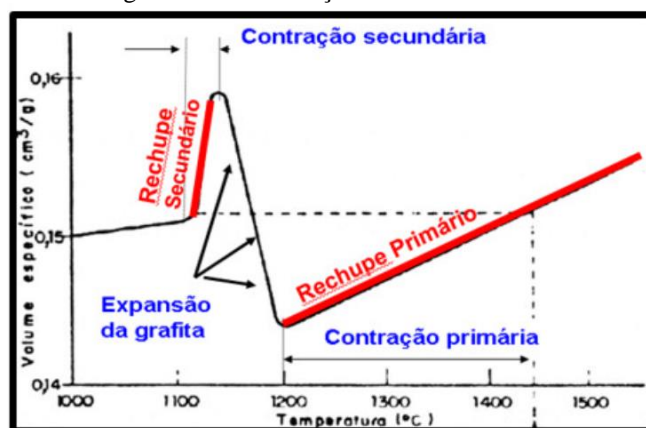
O local estratégico para a aplicação dessa ferramenta seria a parte da peça que se solidifica por último, ou seja, próximo ao ponto quente da peça. Deve-se deslocar este ponto quente de maneira que o rechupe seja formado no massalote e não no produto fundido (FUOCO, 2016).

A macroporosidade é um defeito que se caracteriza por contrações concentradas em um único ponto da peça (na última região a se solidificar), resultando em um espaço vazio e com superfície interna rugosa (formada pelas dendritas). É causada pelo efeito de contração do material na solidificação (...). Já a microporosidade é um defeito que se caracteriza por suas pequenas dimensões e pela distribuição ao longo da peça. Forma-se quando as dendritas presentes na frente de solidificação (interface L-S) são de grande tamanho. (CIMM, 2010)

Nos ferros fundidos, o processo de solidificação apresenta 3 fases: uma contração volumétrica inicial (ou primária), ocorre a expansão volumétrica devido a formação de grafita e se encerra com uma contração volumétrica secundária devido a solidificação do líquido intercelular, o que fica entre as fases já solidificada (FUOCO, 2016).

A figura 6 ilustra a maneira que as variações volumétricas que ocorrem em ferros fundidos cinzentos, vermiculares e nodulares durante o processo de resfriamento do metal líquido e de solidificação das peças fundidas dentro dos moldes (FUOCO, 2016).

Figura 6 – Solidificação dos ferros fundidos



Fonte: Fuoco (2016)

Para produzir peças fundidas com a mínima presença de rechupes é necessário que determinados requisitos de alimentação sejam atendidos e que dependem de variáveis tais como a geometria da peça, composição química da liga, temperatura de trabalho da liga entre outras. Geralmente três requisitos fundamentais devem ser atendidos que são: Requisito térmico, onde deve existir um gradiente de temperatura positivo em direção ao macho, ou seja, o massalote deve ser o último a solidificar; Requisito volumétrico, onde o volume do massalote deve ser suficiente para compensar as contrações da peça ou secção da peça a qual o mesmo deve atender; Requisito da distância, geralmente aplicado para peças mais extensas como placas, barras, anéis, etc. O mesmo deve verificar a distância máxima de vinte e uma coberturas de cada massalote para calcular a quantidade do mesmo. (FERREIRA, 2019)

De acordo com Fuoco (2016), para a obtenção de peças sem defeitos de rechupes, o projeto das ligações

entre massalotes e peça tem papel fundamental nesta técnica de alimentação.

Segundo Fuoco (2016), existem regras básicas que definem o projeto de sistemas de alimentação de peças em ferros fundidos são as seguintes:

- a) **Projeto da ligação massalote/peça (pescoço):** A ligação entre massalote e peça, chamado de pescoço do massalote, deve estar líquida e aberta para permitir a passagem do metal do reservatório para a peça durante a contração líquida e durante a solidificação das partes finas da peça.
- b) **Critério Térmico:** Tipicamente, o módulo de resfriamento do massalote deve ser no mínimo 10% superior ao módulo de resfriamento do pescoço. O reservatório de metal deve apresentar módulo de resfriamento superior ao do pescoço de ligação com a peça, de modo a garantir que haverá metal líquido no massalote enquanto o pescoço estiver aberto.
- c) **Critério Volumétrico:** Também obedecendo ao critério térmico, os massalotes devem ter volume suficiente para garantir a alimentação durante a contração líquida de toda a peça e a contração de solidificação das partes finas da peça.
- d) **Distância de alimentação dos massalotes:** No caso de ferros fundidos cinzentos, vermiculares e nodulares, os reservatórios de metal são projetados para alimentar principalmente a contração líquida, sendo assim, necessitando somente que os massalotes estejam acima do nível da peça a ser alimentada.

O processo tradicionalmente utilizado para alimentação das contrações volumétricas em peças de ferros fundidos cinzentos e nodulares é o de projetar massalotes que alimentem a contração primária e de projetar ligações entre massalotes e peças (pescoços) que solidifiquem nos momentos iniciais da solidificação, quando ocorre a expansão da grafita. (FUOCO, 2016).

De acordo com esta técnica, na primeira fase da alimentação os massalotes devem suprir a peça de metal líquido para compensar a contração primária (do metal líquido).

A segunda fase da alimentação se inicia com o começo da solidificação do ferro fundido, ou mais precisamente, quando começar a expansão volumétrica devido à formação de grafita. Nesta fase, os massalotes devem perder sua conexão com a peça, ou seja, as ligações entre massalotes e peça devem se solidificar. Em consequência, a expansão volumétrica devido à formação da grafita não deve promover um substancial refluxo de metal da peça para os massalotes. Não havendo refluxo excessivo, a expansão volumétrica devido à formação da grafita ficará acumulada nas poças de metal líquido presentes na peça na forma de pressão positiva. (FUOCO, 2016).

Na última fase da alimentação, o líquido remanescente, que está distribuído em poças isoladas nas regiões intercelulares, se solidifica e promove uma nova contração (contração secundária). A pressão positiva acumulada na fase líquida durante a expansão da grafita será reduzida em consequência da contração volumétrica secundária, mas esta redução de pressão não deverá ser suficiente para gerar porosidades de contração (auto-alimentação). (FUOCO, 2016).

A figura 7 ilustra esquematicamente a movimentação do metal líquido durante o processo de alimentação de uma peça fundida.

Figura 7 – Etapas de solidificação e ação do massalote em ferros fundidos



Fonte: Fuoco (2016)

O rendimento típico de massalotes em ferros fundidos cinzentos, vermiculares e nodulares é de 20 a 30% e a contração típica destes ferros fundidos é de 1 a 2% a cada 100C de superaquecimento (FUOCO, 2016).

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Ao suceder este artigo por intermédio do levantamento histórico, se torna notório os efeitos da metodologia e conceitos aplicados, como também os avanços dos quais o presente projeto proporcionou. Analisando os avanços tecnológicos na área da fundição, visa se atender ainda mais requisitos para manter a qualidade do fundido e melhoria durante o processo de fabricação do mesmo. Mesmo sendo um dos processos mais antigos do mundo, o processo de fundição devido às vantagens que oferece, tem uma extrema importância para a fabricação de objetos pessoais até peças de mineração. Os ferros fundidos são definidos como ligas compostas de ferro-carbono-silício, com teores de carbono geralmente acima de 2,0%, resultando em grafita lamelar, compacta e nodular.

Durante o processo de solidificação do fundido, onde se inicia nas paredes do molde e na parte superior, onde o metal fundido está em contato com o ar, imediatamente após o vazamento de um molde, tem-se a cavidade completamente preenchida por metal líquido, que inicia seu resfriamento com uma consequente contração. Para evitar defeitos oriundos a contração do metal, fica evidente que a utilização do massalotes tem extrema importância e eficácia.

Atendendo todos os requisitos citados no artigo, ligação entre massalote e peça, os fatores térmicos, volumétricos e de distância devem ser aplicados com excelência para garantir que defeitos como rechupe não se mantenha na peça. Portanto a ordem de solidificação das diferentes seções de uma peça deve ser mais afastada para a mais próxima do massalote, ou seja, deve elaborar um mecanismo de solidificação dirigida da peça para a reserva de metal.

O devido artigo alcançou seu objetivo de analisar e discutir os fatores e solução para a defeitos de rechupe devido a contração durante a solidificação de ferros fundidos cinzentos, vermiculares e nodulares, todos elementos citados no artigo tem devida importância para a solução do mesmo, porém outros estudos futuros podem analisar o devido defeito de fundição e que outras medidas podem ser executadas.

No que tange a trabalhos futuros, que o mesmo possa ser estudado e o tema aprofundado visando outras técnicas solução de problemas de fundição.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS. **Curso de fundição**. 5.ed. São Paulo, 1974.

BOTELHO, Vitor. **Introdução à fundição.** 2011. Disponível em: <<https://literaturamecanica.wordpress.com/2011/07/22/introducao-a-fundicao/>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

CATARINA, Instituto Federal de Santa. **Processo de Fundição.** Disponível em: <http://www.joinville.ifsc.edu.br/~valterv/Processos_de_Fabricacao/aula%20%20Processo%20de%20Fundicao.pdf>. Acesso em: 25 maio 2019.

CIMM. **Defeitosdesolidificação.** 2010. Disponível em: <https://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/6751-defeitos-de-solidificacao>. Acesso em: 11 out. 2019.

FERREIRA, Priscila. **Rechupe ou marcas de chupagem.** Disponível em: <<https://www.docsity.com/pt/rechupe-ou-marcas-de-chupagem/4716510/>>. Acesso em: 09 out. 2019.

FUOCO, Ricardo. **Regras básicas para alimentação de peças em ferros fundidos cinzentos e nodulares.** 2016. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/regras-basicas-para-alimentacao-de-peças-em-ferros-fundidos-fuoco>>. Acesso em: 25 maio 2019.

GUESSER, Wilson Luiz; MELLERAS, Eitan; CABEZAS, Carlos de Souza. **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE METALÚRGICA EM FERROS FUNDIDOS NODULARES E CINZENTOS.** Disponível em: <[http://www.\(EMPRESA X\), .com.br/downloads/guesser/avaliacao-da-qualidade-metallurgica.pdf](http://www.(EMPRESA X), .com.br/downloads/guesser/avaliacao-da-qualidade-metallurgica.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2019.

MARQUES, Andreia Isabel Granadeiro Cercas. **Diagnóstico de um defeito de fundição Aplicabilidade da simulação numérica em FLOWCast para previsão e resolução de defeitos:** Dissertação submetida à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto para conclusão do Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Porto: Feup, 2008.

NASCIMENTO, Dacio do; SANTANA, Paulo Iolando de. **Ferros Fundidos Cinzentos e Branco.** Joinville: Nova Letra, 2016.

(EMPRESA X), S/A. **Tecnologia:** Processos. Disponível em: <[http://www.\(EMPRESA X\), .com.br/portugues/tecnologia/eng_metalurgica.php](http://www.(EMPRESA X), .com.br/portugues/tecnologia/eng_metalurgica.php)>. Acesso em: 02 out. 2017.