UNICESUMAR - UNIVERSIDADE DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS TECNOLÓGICAS E AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO E VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DO DEDO TRIPLO DE FERRO FUNDIDO PARA BARRA DE CORTE DE COLHEITADEIRA: UM ESTUDO DE CASO

GABRIEL JOSÉ PRADO

MARINGÁ – PR
2021

GABRIEL JOSÉ PRADO

PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO E VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DO DEDO TRIPLO DE FERRO FUNDIDO PARA BARRA DE CORTE DE COLHEITADEIRA: UM ESTUDO DE CASO

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da UNICESUMAR – Universidade de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Fernando Pereira Calderaro.

MARINGÁ – PR

2021

FOLHA DE APROVAÇÃO

GABRIEL JOSÉ PRADO

PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO E VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DO DEDO TRIPLO DE FERRO FUNDIDO PARA BARRA DE CORTE DE COLHEITADEIRA: UM ESTUDO DE CASO

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da UNICESUMAR – Universidade de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Fernando Pereira Calderaro.

Aprovado em: ____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

_____

Fernando Pereira Calderaro – (Titulação, nome e Instituição)

_____

Edgar Esteves dos Santos - (Titulação, nome e Instituição)

_____

Fernando Moro - (Titulação, nome e Instituição)

PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO E VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DO DEDO TRIPLO DE FERRO FUNDIDO PARA BARRA DE CORTE DE COLHEITADEIRA: UM ESTUDO DE CASO

PRADO, Gabriel José

CALDERARO, Fernando Pereira

RESUMO

O desenvolvimento de um produto consiste em um conjunto de processos que buscam atingir exigências de um mercado cada vez mais competitivo, que exige cada vez mais qualidade e eficiência. Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma peça componente da indústria de fundição, utilizada nas barras de máquinas agrícolas, comumente chamado de dedo triplo ou dedo de corte. A peça é utilizada para o corte de hastes das plantas. Para o desenvolvimento da mesma, será feito o uso da engenharia reversa, técnica muito utilizada e que tem por base o produto original. A análise realizada na peça original, definiu que o material a ser utilizado fosse o e ferro fundido nodular que segue a norma NBR 6916 e a classificação do material FE60003, que possui as características necessárias para aplicação desta peça. O objetivo é trazer um produto que não tenha uma rápida degradação e quebras devidas as circunstancias de uso da peça. Através das análises e testes realizados em laboratório, os resultados obtidos nas análises metalográficas, dureza Brinell e espectrometria ótica foram validados. Seguindo as exigências da norma do produto, os testes confirmaram que a estrutura metálica da mercadoria atenderá as condições exigidas. Como foi assertivo o experimento, o novo item, que fará parte do catálogo de uma fundição, será liberado para o início da produção em larga escala.

Palavras-chave: Ferro fundido. Máquinas agrícolas. Engenharia Reversa.

ABSTRACT

The development of a product consists of a multiple process that must deal with requirements of a very competitive market, that requires quality and efficiency of products. This study aims to develop a tool that is part of the foundry industry, it is used in agricultural machinery to cut the stem of plants, this tool is known as “triple finger”. Reverse engineering

was the method used to define that cast iron should be used, and it follows the norm NBR 6916 and the FE60003 classification, which are necessary to use this material. The objective is to make a product that does not have rapid degradation and undue breaks due while it's operating. The results obtained at the lab were valid. Following the product requirements, the Brinell spectrometry testes confirmed that the metal structure of the product will meet the requirements. The new product will be part of a new foundry catalog, and it will be free to use for large scale production.

Key-words: Cast Iron. Agricultural Machinery. Reverse Engineering.

1 INTRODUÇÃO

Com os grandes avanços tecnológicos que a humanidade tem passado, as exigências do mercado aumentaram cada vez mais. Diante disso, a área de Desenvolvimento de Produto (DP) tem crescido significantemente, juntamente das condições exigidas pelo mercado. As vantagens competitivas de uma empresa estão diretamente ligadas ao respeito de processos bem definidos e a qualidade dos produtos, ao *know-how* tecnológico e, com uma estrutura de gestão adequada, torna-se um diferencial para as empresas.

Segundo Rozenfeld et al. (2006), o desenvolvimento de produtos se dá "a partir de uma série de atividades, que busca atingir as especificações do projeto de um produto, através das necessidades do mercado e das restrições existentes. " Por esse motivo, criar produtos inéditos pode vir a não satisfazer os clientes, portanto, procura-se uma identificação dos requisitos que o cliente deseja, para então definirmos as características que o produto deverá possuir. Segundo Baxter (2003), o mau planejamento de um produto pode culminar no seu fracasso, o resultado final é incerto, se o produto será um sucesso de vendas ou não.

Durante a fase do projeto, pode-se reduzir impactos negativos através de algumas escolhas e decisões. O desenvolvimento deve ser bem definido para que se obtenha os melhores resultados, distribuindo corretamente os devidos processos para os setores a fim de que as informações sejam executadas com eficiência. Levando em conta também o desenvolvimento de tecnologias que é de extrema importância, pois de acordo com Drejer (2002), o DP visa a definição e a diferenciação dos produtos no mercado, enquanto o desenvolvimento de tecnologias tem por objetivo a determinação das futuras tecnologias para o portfólio de produtos. O produto em questão é o chamado dedo de triplo de colheitadeiras, produzidos em

ferro fundido que serão posteriormente entregues à clientes que farão a montagem ou a venda dos itens em suas unidades.

2 DESENVOLVIMENTO

O processo de Desenvolvimento de Produtos é a peça chave para qualquer empresa que tenha o âmbito de competir por meio da criação de produtos próprios e da busca de liderança tecnológica. A antiga fórmula de sucesso, baseada em simplesmente produzir um produto com baixo custo e vendê-lo em grande escala, não se aplica mais ao ambiente atual dos negócios. O sucesso será conquistado pelas empresas que sabem produzir valor de mercado, aquelas que podem entrar o que as pessoas querem comprar. Assim sendo, o Processo de Desenvolvimento de Produtos deve ser abrangente, iniciando-se no entendimento das necessidades de mercado e terminando no final do ciclo de vida do produto, conforme aponta Rozenfeld et al. (2006).

Além do mais, com os avanços tecnológicos, criou-se uma necessidade de diminuição do tempo de desenvolvimento de novos produtos, tornando-se uma característica critica nas empresas para se manterem dentro da competitividade do mercado. Com essa necessidade criada, uma técnica existente para o desenvolvimento de produtos se mostra propícia para atender esse novo momento: a Engenharia Reversa (ER), que está hoje entre as principais técnicas existentes. Essa técnica consiste no processo de levantar dimensões, com rapidez e exatidão, e determinar padrões geométricos como área e volumes, além de poder definir tolerâncias e características do material, segundo Alves & Almeida (2020).

Com os avanços tecnológicos, a mecanização dos processos e o grande investimento que o setor agrícola vem tendo nas últimas décadas, a utilização das máquinas agrícolas nos processos de plantação e colheita se toram ferramentas essenciais para melhoria e agilidade.

A colheitadeira tem como ferramenta essencial a barra de corte, conjunto responsável pela colheita e corte dos grãos. Um dos itens que fazem parte desse conjunto é o que chamamos de dedo, conforme a figura 1.

Figura 1 - Barra de corte

Fonte: Case Brasil (2016)

Os dedos da barra de corte costumam ser fabricadas em materiais resistentes à abrasão, por muitas vezes poderem entrar em contato com o solo e também pelo aumento de temperatura gerado pelo atrito dos componentes com os plantios. Outro fator que deve ser considerado no material do item é a sua dureza, necessitando de um valor elevado devido as condições de trabalho que a peça é exposta.

Conforme foi feita a análise do produto original, através de estudos como metalográficos, dureza Brinell e espectrometria, as especificações do produto necessitavam de um material, uma liga, com as características próximas as do ferro fundido nodular 60003, Fe60003, conforme a norma ABNT NBR 6916.

No caso do produto a ser desenvolvido e das características necessárias para seu correto funcionamento, através das análises realizadas na peça original do fabricante, será adotado a utilização do ferro fundido nodular com a classe Fe60003, denominação conforme ABNT NBR 6916 que determina sua composição química e suas características mecânicas.

Segundo a ESPECTRU, empresa especializada em assistência técnica e comercialização de instrumental científico, o ferro fundido Fe60003 possui as determinadas características que podem ser constatadas no quadro 1:

Quadro 1 - Características do ferro fundido nodular Fe60003

CLASSIFICAÇÃO				
ABNT - NBR 6916	FE 38017	FE 42012	FE 50007	FE 60003
DIN 1693	GGG 40.3	GGG 40	GGG 50	GGG 60
MATRIZ	Ferrítica	Ferrítica	Ferrítica Perlítica	Perlítica
PROPRIEDADES MECÂNICAS (*)				
Limite de Resistência N/mm² (min.)	400	400	500	600
Limite de Escoamento (0,2%) N/mm² min.	250	250	320	380
Alongamento % min.	18	15	7	3
Dureza Brinell HB 30	120 - 165	135 - 185	170 - 220	200 - 250
Módulo de Elasticidade N/mm² (10^3)	160 a 185			
Resistência à Compressão N/mm²	800	800	850	1000
Resistência à Flexão N/mm²	800	800	850	900
Resistência ao Cisalhamento N/mm²	0,9 x LR			
Número de Poisson	0,28 a 0,29			
Resistência ao Impacto (sem entalhe) Kgfm/cm²	10 - 20	10 - 20	6 - 12	4 - 8
Resistência ao Impacto (com entalhe) Kgfm/cm²	> 20	1,5 - 2,8	0,5 - 1,5	0,5 - 1,2

(*) As propriedades mecânicas estão de conformidade com a norma DIN

Fonte: ESPECTRU (2016)

3 METODOLOGIA

Através de referências e também através de conceitos práticos disponíveis em um laboratório de fundição, serão contextualizadas e aplicadas as metodologias para efetivação destes conceitos no estudo de caso para a produção do dedo triplo de ferro fundido, para a posterior utilização na barra de corte das colheitadeiras do cliente.

Com a realização de testes metalográficos, testes de fusão de ligas de ferro fundido nodular, e a utilização de um espectrômetro no qual será medido a correta porcentagem de cada elemento na composição de cada liga produzida, após a classificação do material ser adotada, procederá à fabricação do componente, dedo triplo, para maquinas agrícolas de acordo com as seguintes etapas:

A. Fabricação do molde
B. Fusão do ferro
C. Vazamento

D. Ensaios laboratoriais (qualidade)

E. Rebarbação

A. **Moldagem**

O processo de moldagem consiste basicamente no enchimento do modelo, qual possui uma cópia da peça, de areia, manualmente ou através de ar comprimido. Os moldes fabricados nesse processo são constituídos, basicamente, por areia misturada com resinas fenólicas e adicionado também um catalisador. Após a confecção do molde, ele será enchido com ferro fundido. Este processo é denominado de moldagem cold box, RAFAELLI (2015). O resultado do processo pode ser evidenciado na figura 2:

Figura 2 - Molde de areia

Fonte: Fundição Carajás (2021)

B. Fusão

O processo de fusão é exatamente a transformação do metal sólido no estado líquido, Chiaverine (1996).

Este efeito acontece quando o ferro fundido atinge os 1147°C e está em seu ponto eutetico. O processo de fusão é feito em fornos que podem ser à indução, carvão ou óleo. Na figura 3 pode-se observar o processo de fusão feito em um forno a indução:

Figura 3 - Forno à indução

Fonte: O próprio autor (2021)

C. Vazamento

O vazamento compreende, basicamente, no enchimento do molde com o ferro fundido. Para o procedimento do vazamento deve-se tomar alguns cuidados, como: a temperatura em que o ferro fundido se encontra, o tempo de enchimento do molde, a velocidade que o ferro adentrará o molde. Este processo de enchimento pode ser evidenciado na figura 4:

Figura 4 – Vazamento

Fonte: MTA fundições (2019)

D. Dados laboratoriais

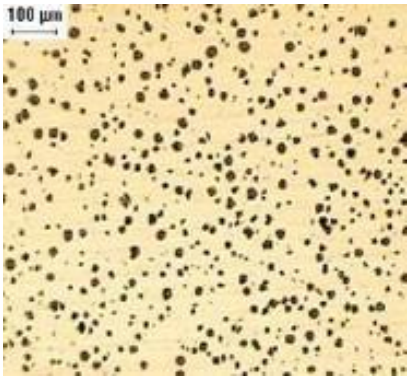
Após ser realizado o vazamento do ferro e posteriormente a espera para o resfriamento do ferro, serão iniciados os testes de laboratório da peça fundida. Primeiro será realizado o estudo de metalografia, que segundo Colpaert (2009), é o estudo da morfologia e dos estruturados dos metais. A metalografia é realizada a partir da análise de uma superfície preparada. Com base na interpretação dessa análise é possível relacionar a estrutura do metal com suas propriedades físicas e mecânicas, além de sua composição química, Materiais júnior (2021).

Esta superfície preparada resume-se na retirada de um corpo de prova da peça já pronta, sendo cortada, lixada e polida para a análise, (figuras 5 e 6).

Figura 5 - Corpo de prova

Fonte: O próprio autor (2021)

Figura 6 - Metalografia, imagem de um corpo de prova de ferro fundido nodular aumentada 100x



Fonte: Perfilville (2019)

É por meio deste ensaio que será avaliada a qualidade da peça que será enviada de amostra ao cliente, para que possa analisar se a as peças atendem aos requisitos necessários para seu bom funcionamento.

Ainda é necessário também o estudo de espectrometria, que nos evidencia os elementos químicos presentes na composição da liga, no caso do ferro fundido, analisamos o carbono, silício, fósforo, manganês e enxofre. Este procedimento é efetuado com a utilização de um espectrômetro de emissão ótica (Figura 7).

Além disso, ainda deve ser analisado o dimensional do produto, ou seja, se as medidas estão de acordo com as exigências do cliente.

Figura 7 - Espectrômetro

Fonte: Fundição Carajás (2015)

E. Rebarbação

A rebarbação compreende na retirada das sobras de metal que se localizam próximas à linha de partição dos moldes, canais, massalotes, drenos, marcações e descontinuidades. Para isso, são utilizados esmeris e retificas. Estas máquinas possuem ferramentas de corte ou materiais abrasivos cuja finalidade é retirar rebarbas ou dar acabamento na superfície da peça, Pieske (1980).

Este processo é o que permite que o produto tenha uma oba aparência e esteja pronto para a venda ao mercado. O procedimento adotado no caso dos dedos triplos para a barra de corte é a retirada da rebarba da quebra de canal com o esmeril e a retirada da linha de partição do molde com a retifica. (Figuras 8 e 9).

Figura 8 - Retirada da rebarba da quebra de canal

Fonte: O próprio autor (2021)

Figura 9 - Retirada da linha de partição do molde

Fonte: O próprio autor (2021)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

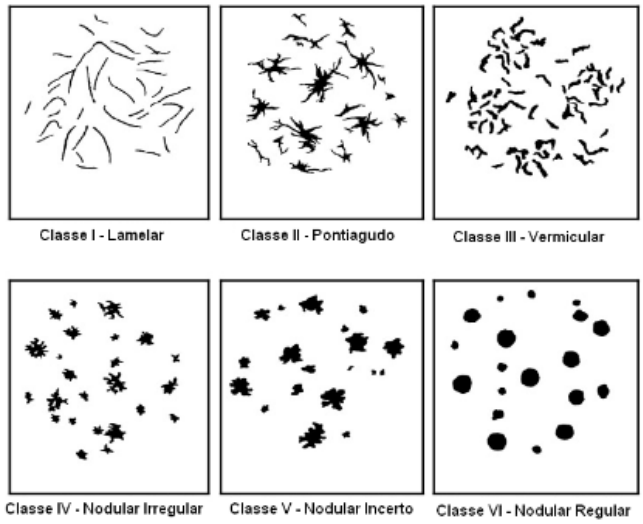
Para o experimento de desenvolvimento deste item foi realizada a fusão da liga Fe60003 com adição de 3,6% de carbono e 1,6% de silício para a obtenção da matriz desejada.

O vazamento do molde foi efetuado com uma temperatura controlada de 1500°C, após o vazamento do molde foi respeitado um tempo de resfriamento de 15 minutos para evitar possíveis empenamentos e geração de tensões superficiais que poderiam levar o material a trincar.

Depois de desmoldada a peça, a mesma foi serrada para confecção de um corpo de prova para análise metalográfica e confirmação dos resultados.

O objetivo do teste era a obtenção de uma matriz que se enquadre nas definições da referida liga Fe60003 segundo a norma NBR 6916 conforme figura 10.

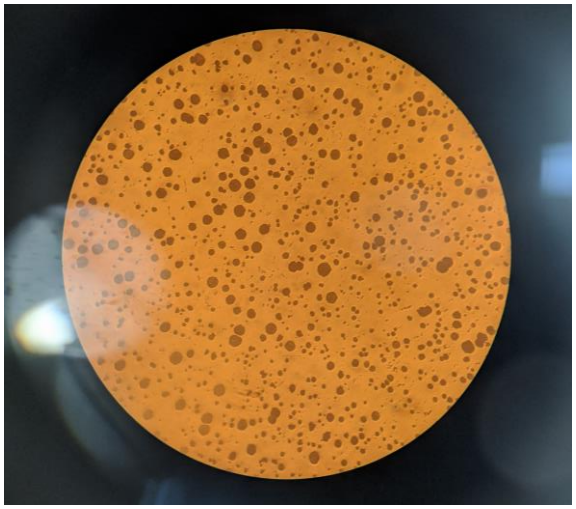
Figura 10 - Microestruturas de ferro fundido nodular



Fonte: Uezo (1990)

Através do ensaio metalográfico é possível comprovar que a matriz metálica obteve os elementos necessários para se enquadrar nas definições da NBR 6916 e se enquadrou perfeitamente à norma da liga Fe60003, este resultado pode ser evidenciado na figura 11.

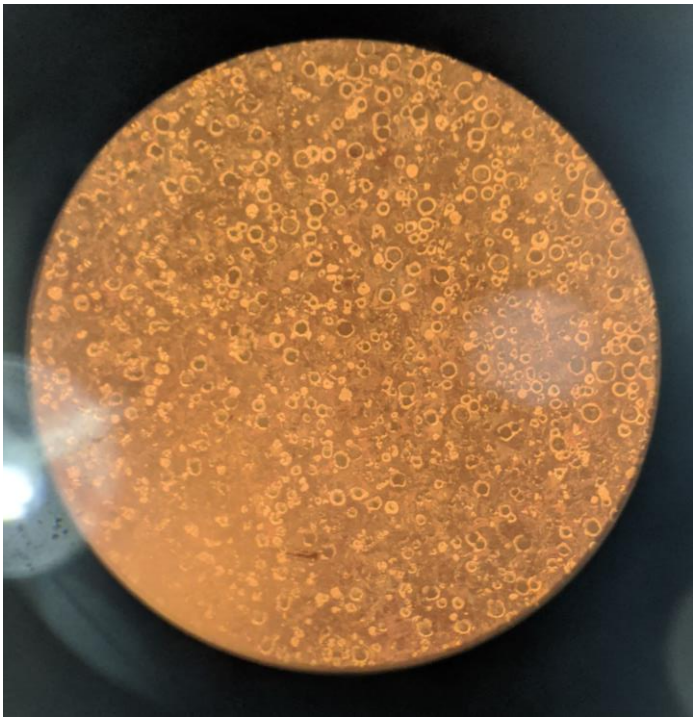
Figura 11 - Resultado metalográfico



Fonte: O próprio autor (2021)

Segundo a norma NBR 6916 para a caracterização do ferro fundido com a classificação Fe60003, é necessário que a matriz possua uma disposição de perlitas (Figura 12), e uma matriz de classe VI – Nodular regular, conforma a imagem ilustrativa (Figura 10) e a amostra do teste realizado (Figura 10).

Figura 12 – Resultado metalográfico após ataque à peça



Fonte: O próprio autor (2021)

Após a metalografia, foi realizado o teste de dureza Brinell para evidenciar a dureza da peça produzida. A peça testada apresentou uma dureza de 268HB na qual foi um resultado excelente para o item, pois de acordo com a norma NBR 6916 a liga Fe60003 tem uma faixa de dureza entre 210HB e 280HB.

Este teste foi realizado com a utilização de um durômetro Brinell (Figura 13), com uma carga de 3 toneladas e uma esfera de penetração de 10mm.

Figura 13 - Durômetro Brinell

Fonte: O próprio autor (2021)

Através de um teste de espectrometria ótica para a confirmação dos resultados de concentração dos elementos químicos presentes na liga, procedeu-se este experimento a fim de conferir os elementos encontrados na liga de ferro fundido fabricada.

Conforme a norma NBR 6916 a composição típica do ferro fundido nodular é a seguinte:
Composição química típica (%)
C 3,4 – 3,9
Si 2,1 – 2,8
Mn 0,1 – 0,5
S 0,01 – 0,02
P 0,04 – 0,1

O resultado obtido na análise de espectrometria demonstra que o material possui a composição química desejada e comprova sua perfeita caracterização na norma requerida. (Figura 14).

Figura 14 – Resultado espectrometria

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Al
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	3.661	2.123	0.397	0.045	0.010	0.018	0.008	0.014	0.489	0.039
2.	3.674	2.189	0.401	0.047	0.011	0.018	0.009	0.015	0.492	0.042
3.	3.660	2.167	0.395	0.047	0.010	0.019	0.009	0.016	0.496	0.044
Ø	**3.668**	**2.160**	**0.398**	**0.046**	**0.010**	**0.018**	**0.009**	**0.015**	**0.493**	**0.041**

Fonte: O próprio autor (2021)

Com os testes realizados e aprovados na peça fabricada o passo a seguir é a produção de um lote piloto para a confirmação da repetibilidade dos resultados e posterior comercialização da peça.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme objetivo do estudo, as análises dos testes demonstram que o desenvolvimento deste produto atende a todas as exigências do cliente e é viável para produção. Os testes realizados visaram garantir a integridade do produto no momento de sua utilização, pelos grandes índices de atrito, tanto em contato com as plantas quanto em contato com o solo.

A garantia que todos os parâmetros do processo como, composição química, temperatura de vazamento, disposição da matriz ferrosa, são essenciais e o motivo do êxito no estudo.

Em todas as partes do processo o produto obteve satisfatório êxito e em principal nos controles de qualidade que atenderam com total rigor as exigências conforme a necessidade do cliente.

Diante o resultado obtido, procederá o envio das amostras ao cliente que efetuará a montagem do dedo triplo na barra de corte da colheitadeira.

REFERÊNCIAS

AMARAL, D. C.; ALLIPRANDINI, D. H.; FORCELLINI, F. A.; ROZENFELD, H.; SCALICE, R. K.; SILVA, S. L.; TOLEDO, J. C. **Gestão de desenvolvimento de produtos – uma referência para a melhoria do processo.** São Paulo: Saraiva, 2006.

BAXTER, M. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos.** 2.ed. rev. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

DREJER, Anders. **Strategic management and Core Competencie**s. Quorumbooks, USA, 2002.

ALVES, T. P.; ALMEIDA, A. G. S. **Utilização da engenharia reversa e da manufatura aditiva na fabricação de peças de reposição: uma alternativa para manutenção de equipamentos médico-hospitalares.** Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 12, n°. 3, out/2020. Instituto Federal da Bahia.

RAFAELLI, G. **A determinação da espessura da parede em moldes de areia cold box para o sistema em árvore e sua recuperação térmica.** Jaraguá do Sul, 2015. Instituto Federal de Santa Catarina.

CHIAVERINE, V. **Aços e Ferros Fundidos**, 7ª ed. São Paulo: ABM, 1996; p. 492 e 537.

COLPAERT, H. **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns.** 2° ed. São Paulo: Ibrape, 2009; p. 156, 157 e 332.

Metalografia: o que é e como funciona. Materiais Júnior, 2021. Disponível em: <https://materiaisjr.com.br/metalografia/>. Acessado em 18/09/2021.