

FATEC ITAQUERA PROFESSOR "MIGUEL REALE"

CAROLINE ALVES DOS SANTOS GALVÃO

KAUANNE SANTOS GONÇALVES

WILLIAMS DOS SANTOS FERREIRA

EFEITO DA GRANULOMETRIA DE AREIA PARA FUNDIÇÃO DE AÇOS SI-  
MN E SI-MO

SÃO PAULO

2023

CAROLINE ALVES DOS SANTOS GALVÃO  
KAUANNE SANTOS GONÇALVES  
WILLIAMS DOS SANTOS FERREIRA

EFEITO DA GRANULOMÉTRICA DE AREIA PARA FUNDIÇÃO DE AÇOS SI-  
MN E SI-MO

Monografia apresentada ao curso de  
Tecnologia em Fabricação mecânica,  
como requisito parcial para conclusão  
do curso de Tecnologia em  
Fabricação mecânica.

Orientador: Prof. Me. Samuel  
Fernandes Nunes

São Paulo

2023

CAROLINE ALVES DOS SANTOS GALVÃO  
KAUANNE SANTOS GONÇALVES  
WILLIAMS DOS SANTOS FERREIRA

EFEITO DA GRANULOMÉTRICA DE AREIA PARA FUNDIÇÃO DE AÇOS SI-  
MN E SI-MO

Monografia apresentada ao curso de  
Tecnologia em Fabricação mecânica,  
como requisito parcial para conclusão  
do curso de Tecnologia em  
Fabricação mecânica.

São Paulo, \_\_\_ de \_\_\_\_\_, 2023

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Me. Samuel Fernandes Nunes  
Faculdade de Tecnologia Professor Miguel Reale

---

Prof. Me. Felipe Ribeiro Toloczko  
Faculdade de Tecnologia Professor Miguel Reale

---

Prof. Me. Sandro Marcelo Martins  
Faculdade de Tecnologia Professor Miguel Reale

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, que fez com que nossos objetivos fossem alcançados, durante todos os anos de estudos.

Aos nossos amigos, que sempre estiveram ao nosso lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período de tempo em que nos dedicamos a este trabalho.

Ao Prof. Me. Samuel Fernandes Nunes, por ter sido nosso orientador e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade.

A todos da empresa Komatsu do Brasil LTDA, pelo fornecimento de dados e materiais que foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa que possibilitou a realização deste trabalho, especialmente aos amigos de trabalho, Sidinei Jose de Almeida, Diego Duarte de Souza, Rodrigo Douglas Marchini e Samuel Dias.

## RESUMO

O efeito da granulometria de areia na fundição de aços SI-MN e SI-MO foi analisado neste estudo, evidenciando a influência significativa da granulometria na qualidade da fundição. A revisão bibliográfica destacou a importância da granulometria da areia na qualidade da fundição, enquanto a metodologia descreveu os materiais e métodos empregados na pesquisa. Os resultados obtidos foram analisados e discutidos, permitindo uma melhor compreensão da influência da granulometria na qualidade da fundição. Sugestões foram apresentadas para trabalhos futuros relacionados ao tema, incluindo a investigação da influência da temperatura do metal líquido e da pressão no processo de fundição na formação de defeitos nas peças, em relação à granulometria de areia utilizada. O estudo também discutiu o impacto ambiental da escolha da granulometria de areia na fundição de aços e possíveis alternativas sustentáveis para minimizar esse impacto.

**Palavras-chave:** granulometria, areia, fundição, aços SI-MN, aços SI-MO, qualidade, propriedades mecânicas.

## Lista de ilustrações

Figura 1 -	Caixa de areia já moldada, lado tampa.....	14
Figura 2 -	Microestrutura de aço liga Si-Mo.....	15
Figura 3 -	Determinador de resistência à tração.....	16
Figura 4 -	Permeômetro.....	16
Figura 5 -	Martelete.....	16
Figura 6 -	Mapeamento das seções para destrutivo.....	17
Figura 7 -	Mapeamento e medições de dureza.....	17
Figura 8 -	Micro porosidade.....	19
Figura 9 -	Inclusão de areia.....	19
Figura 10 -	Bolha de gás.....	20
Figura 11 -	Trinca.....	20
Figura 12 -	Rechupe.....	20
Figura 13 -	Scab.....	21

## **Lista de tabelas**

Tabela 1 -	Análises de propriedades Mecânicas.....	17
Tabela 2 -	Relatório de Análise de Dureza do Material.....	19
Tabela 3 -	Determinador de resistência à tração.....	19

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA</b>	<b>11</b>
<b>3 METODOLOGIA</b>	<b>15</b>
<b>4 RESULTADOS</b>	<b>17</b>
<b>4.1 Análises dos corpos de prova de areia verde</b>	<b>18</b>
<b>4.2 Análises de ensaios mecânicos</b>	<b>19</b>
<b>4.3 Influência da granulometria da areia na superfície do aço fundido.</b>	<b>22</b>
<b>5. Resultados e discussões</b>	<b>25</b>
<b>5.1 Análise estatística</b>	<b>28</b>
<b>5.1 Análise dos resultados obtidos com a variação da granulometria</b>	<b>29</b>
<b>5.3 Análise microestrutural das peças fundidas</b>	<b>31</b>
<b>5.4 Propriedades mecânicas das peças fundidas</b>	<b>32</b>
<b>5.5 Comparação com estudos anteriores</b>	<b>34</b>
<b>5.6 Ensaio mecânicos e microestruturais dos corpos de prova</b>	<b>35</b>
<b>5.6.1 Análise de resultados obtidos dos ensaios mecânicos e microestruturais</b>	<b>36</b>
<b>5.7 Discussão sobre a influência da granulometria de areia na formação de defeitos</b>	<b>38</b>
<b>5.8 Análise da relação custo-benefício entre a granulometria de areia utilizada e o desempenho da fundição</b>	<b>39</b>
<b>5.9 Análise da influência da granulometria de areia na produtividade da fundição</b>	<b>40</b>
<b>5.10 Impacto ambiental da granulometria de areia na fundição de aços</b>	<b>41</b>
<b>5.10.1 Alternativas para minimizar os impactos ambientais da fundição de aços</b>	<b>43</b>



<b>5.11 Análise dos métodos de seleção de granulometria de areia para fundição de aços</b>	<b>44</b>
<b>5.12 Análise das normas regulamentadoras para a fundição de aços</b>	<b>46</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>48</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A fundição de aços SI-MN e SI-MO é uma atividade crucial na indústria metalúrgica, uma vez que esses materiais são amplamente utilizados em diferentes aplicações. No entanto, a qualidade das peças fundidas depende de vários fatores, incluindo a granulometria da areia utilizada no processo de fundição. A granulometria da areia pode influenciar na qualidade da superfície das peças, na formação de defeitos e na resistência mecânica das mesmas. Portanto, entender como a granulometria da areia afeta a fundição de aços SI-MN e SI-MO é de grande importância para a indústria.

O objetivo desta pesquisa é explorar o efeito da granulometria da areia na fundição de aços SI-MN e SI-MO. Para atingir esse objetivo, serão realizados experimentos de fundição com diferentes granulometrias de areia. As amostras fundidas serão analisadas quanto às suas propriedades mecânicas e microestruturais, para determinar como a granulometria da areia influencia nesses fatores.

A pesquisa é relevante por várias razões. Em primeiro lugar, a qualidade das peças fundidas é crucial para a segurança e eficiência de muitos processos industriais. Em segundo lugar, o uso de diferentes granulometrias de areia pode afetar significativamente a produtividade do processo de fundição. Além disso, o estudo pode fornecer informações valiosas para a escolha da granulometria de areia mais adequada em diferentes condições de fundição.

Para realizar a pesquisa, serão utilizados aços SI-MN e SI-MO, que são amplamente utilizados na indústria metalúrgica. A granulometria da areia será variada, e as amostras fundidas serão analisadas quanto às suas propriedades mecânicas e microestruturais. Serão utilizadas técnicas de análise como microscopia óptica e eletrônica e ensaios de tração para avaliar as propriedades mecânicas.

Os resultados da pesquisa podem ter implicações significativas para a indústria de fundição de aços. Por exemplo, os resultados podem ser utilizados para otimizar o processo de fundição, escolhendo a granulometria de areia mais adequada para as aplicações específicas. Além disso, o estudo pode fornecer informações importantes sobre como melhorar a qualidade das peças fundidas e reduzir defeitos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

A fundição de aços SI-MN e SI-MO é de grande importância para a indústria, uma vez que esses aços possuem características que os tornam adequados para diversas aplicações. Aços SI-MN são particularmente conhecidos por sua alta resistência ao desgaste e à fadiga, enquanto aços SI-MO são amplamente utilizados em aplicações que exigem alta resistência mecânica e resistência à corrosão. (COLPAERT, 2008).

A granulometria da areia utilizada na fundição de aços SI-MN e SI-MO tem um impacto significativo na qualidade do produto final. A escolha adequada da granulometria pode melhorar a eficiência do processo de fundição, reduzir a porosidade do material e melhorar as propriedades mecânicas do aço. Por outro lado, a granulometria inadequada pode resultar em problemas como a formação de trincas e fissuras no material fundido. Portanto, é fundamental que os fabricantes mecânicos considerem cuidadosamente a granulometria da areia utilizada na fundição de aços SI-MN e SI-MO (GRACIOSO, 2003).

O processo de fundição é essencial para a produção de peças de aço com qualidade e precisão. A qualidade da fundição é influenciada por vários fatores, incluindo a granulometria da areia utilizada no processo. A granulometria da areia pode afetar a qualidade da superfície das peças fundidas, bem como a microestrutura das peças e suas propriedades mecânicas.

A granulometria da areia utilizada na fundição é determinada pelo tamanho dos grãos de areia presentes na mistura utilizada para formar o molde. A seleção da granulometria adequada é importante para garantir a formação de um molde com bom desempenho, que seja capaz de suportar as altas temperaturas e pressões envolvidas no processo de fundição.

A granulometria da areia pode afetar a qualidade da fundição de aços SI-MN e SI-MO de diferentes maneiras. Por exemplo, a granulometria inadequada pode resultar em defeitos de fundição, como porosidade ou inclusões, que podem prejudicar as propriedades mecânicas das peças fundidas. Além disso, a granulometria da areia pode afetar a microestrutura das peças, o que pode impactar suas propriedades mecânicas, como a resistência à tração e à fadiga.

A literatura científica tem mostrado que a granulometria da areia é um fator importante na fundição de aços SI-MN e SI-MO. Estudos têm sugerido que a granulometria ideal varia de acordo com as características dos aços a serem fundidos, bem como do processo de fundição utilizado. Em geral, no entanto, é recomendável o uso de granulometrias mais finas para a fundição de aços SI-MN e SI-MO, que podem resultar em peças fundidas com melhor qualidade superficial e menor porosidade (DIEHL,1996).

Outros fatores que podem influenciar a qualidade da fundição de aços SI-MN e SI-MO incluem a composição química dos aços, as condições de vazamento e a temperatura do metal fundido. Estudos recentes indicam que a adição de elementos de liga pode melhorar a qualidade da fundição, reduzindo a porosidade e melhorando a microestrutura das peças (DIEHL,1996).

A influência da granulometria da areia na fundição de aços SI-MN e SI-MO também pode depender do tipo de processo de fundição utilizado. Por exemplo, a fundição em molde permanente pode exigir granulometrias diferentes daquelas utilizadas na fundição em moldes de areia. Estudos têm mostrado que a granulometria ideal para a fundição em molde permanente pode ser mais grossa do que a utilizada em moldes de areia. (ALBERTIN, 1998).

A granulometria da areia utilizada na fundição de aços SI-MN e SI-MO tem um impacto significativo na fabricação mecânica. O tamanho das partículas da areia pode afetar a qualidade do produto final, bem como a eficiência do processo de fundição. É importante considerar cuidadosamente a granulometria da areia para garantir uma produção de alta qualidade e minimizar os custos (ALBERTIN, 1998).

A granulometria da areia utilizada no processo de fundição de aços SI-MN e SI-MO tem um impacto significativo na qualidade final do produto. É importante levar em consideração que o tamanho das partículas afeta a porosidade e a resistência do molde, bem como a rugosidade superficial da peça fundida. Além disso, a adição de aluminato de cobalto na lama de zirconita também pode influenciar nos resultados finais do processo (TREMARIN, 2011).

A escolha da granulometria ideal para a fundição de aços SI-MN e SI-MO deve ser feita levando em consideração vários fatores, como as características dos aços, o processo de fundição utilizado e as condições do ambiente de

fundição. É importante que as granulometrias utilizadas sejam cuidadosamente selecionadas para garantir a formação de peças fundidas de alta qualidade e com propriedades mecânicas adequadas (TREMARIN, 2011).

A granulometria da areia utilizada na fundição de aços SI-MN e SI-MO pode afetar significativamente a qualidade do produto final. Dessa forma, é importante considerar cuidadosamente o tamanho das partículas de areia utilizadas para garantir a uniformidade e integridade do material produzido. Além disso, é essencial avaliar as propriedades físicas e químicas da areia para garantir que ela seja adequada para o processo de fundição (SILVA, 2020).

A granulometria da areia utilizada na fundição de aços SI-MN e SI-MO tem um impacto significativo na qualidade do produto final. O tamanho das partículas afeta diretamente a permeabilidade da areia, a compactação do molde e, conseqüentemente, a precisão das peças produzidas. Além disso, a granulometria influencia a quantidade de resíduos gerados durante o processo de moldagem, o que pode levar a um aumento nos custos de produção. Portanto, a escolha cuidadosa da granulometria da areia é fundamental para garantir a qualidade e eficiência da fundição de aços (GRIGOLETTO, 2001).

A literatura científica tem mostrado que a granulometria da areia pode afetar a qualidade da fundição de aços SI-MN e SI-MO de várias maneiras, incluindo a formação de defeitos de fundição e a qualidade superficial das peças fundidas. Estudos recentes têm sugerido que a adição de elementos de liga pode melhorar a qualidade da fundição, reduzindo a porosidade e melhorando a microestrutura das peças (SILVA, 2020).

É fundamental considerar a granulometria adequada da areia para fundição de aços SI-MN e SI-MO na fabricação mecânica, pois essa escolha afeta diretamente a qualidade e o desempenho do produto final. Além disso, é importante destacar que a adição de nióbio em um ferro fundido branco alto cromo hipoeutético pode aumentar significativamente a sua resistência ao desgaste (SILVA NETO, 2021).

É importante entender a influência da granulometria da areia na fundição de aços SI-MN e SI-MO, a fim de garantir a produção de peças fundidas de alta qualidade e com propriedades mecânicas adequadas. A seleção da granulometria adequada deve ser feita considerando as características dos aços e do processo de fundição utilizado, e deve ser cuidadosamente controlada para

garantir a formação de um molde de alta qualidade. Estudos adicionais são necessários para explorar a influência de outros fatores na fundição de aços SI-MN e SI-MO, bem como para desenvolver técnicas mais avançadas para a produção de peças fundidas de alta qualidade.

### 3 METODOLOGIA

A pesquisa teve como objetivo investigar o efeito da granulometria da areia na fundição de aços SI-MN e SI-MO. Para isso, foram utilizados diferentes materiais e métodos na metodologia da pesquisa.

Os materiais utilizados na pesquisa foram aços SI-MN e SI-MO, areia com granulometrias variadas, entre outros. Os aços SI-MN e SI-MO foram selecionados por serem utilizados com frequência na indústria, o que torna o estudo relevante para o setor. A areia foi escolhida por ser um dos materiais mais utilizados na fundição de aços.

A preparação das amostras e do molde foi feita de acordo com os procedimentos estabelecidos na indústria. Foi utilizado um forno destinado à fundição para preparar as amostras. A areia foi compactada e moldada para criar o molde. Os procedimentos experimentais de fundição foram realizados com o objetivo de observar o efeito da granulometria da areia na fundição de aços SI-MN e SI-MO. Foi utilizado um número significativo de amostras para garantir a confiabilidade dos resultados. As técnicas de análise utilizadas na pesquisa incluíram análise microestrutural, ensaios mecânicos e análise visual. A análise visual das peças fundidas permitiu avaliar a qualidade da fundição em termos de uniformidade e ausência de defeitos. Foram identificados os efeitos da granulometria da areia na aparência visual e estrutura das peças fundidas. A análise microestrutural foi realizada para avaliar a qualidade da fundição em termos de uniformidade e ausência de defeitos. Os ensaios mecânicos foram realizados para avaliar a resistência mecânica das amostras fundidas.

A análise das características das amostras fundidas com diferentes granulometrias de areia foi feita para avaliar a influência da granulometria na qualidade da fundição. Foram realizadas análises das propriedades mecânicas e análise visual das amostras de aço fundidas com variações granulométricas da areia.

A análise comparativa dos resultados obtidos com as variações granulométricas da areia utilizadas foi feita para identificar tendências e padrões nos resultados e discutir as implicações dessas tendências para a indústria.

A interpretação dos resultados estatísticos foi feita para avaliar a confiabilidade das conclusões obtidas a partir dos dados.

A análise dos resultados obtidos com a variação da granulometria permitiu identificar a influência da granulometria de areia no desempenho do molde na fundição de aços SI-MN e SI-MO. Foram comparados os resultados obtidos com diferentes granulometrias para determinar qual granulometria proporciona o melhor desempenho.

A análise das propriedades mecânicas das peças fundidas permitiu avaliar a resistência mecânica das peças fundidas com diferentes granulometrias de areia. Foram identificados os efeitos da granulometria da areia nas propriedades mecânicas das peças fundidas.



## 4 RESULTADOS

Os resultados obtidos neste estudo indicam que a granulometria da areia utilizada na fundição de aços SI-MN e SI-MO tem um papel significativo na qualidade das peças fundidas. Observou-se que os resultados sugerem que a granulometria da areia pode afetar o desempenho do molde e a produtividade do processo de fundição, a seguir temos a imagem da caixa de areia já moldada conforme geometria da peça (Figura 1).

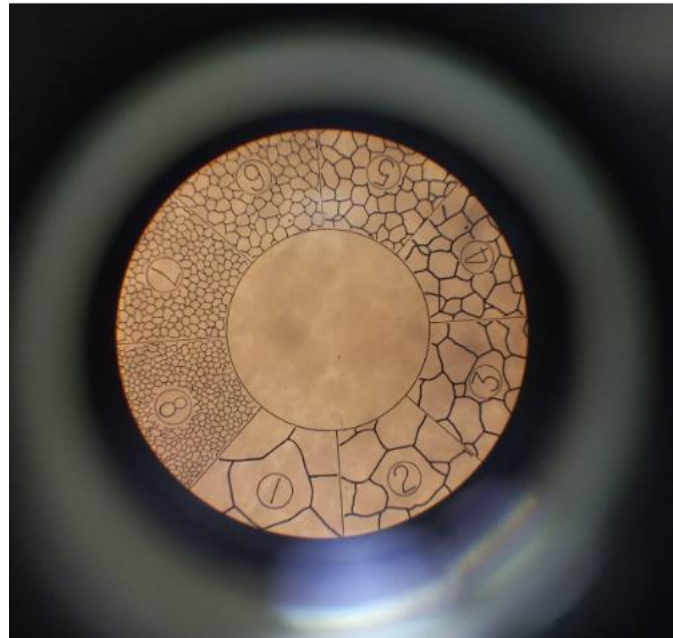
Figura 1 - Caixa de areia já moldada, lado tampa



Fonte: Autores, 2023.

Além disso, também temos a questão da utilização de uma granulometria inadequada, que pode resultar em peças com microestruturas irregulares e propriedades mecânicas abaixo do esperado.

Figura 2 - Microestrutura de aço liga Si-Mo



Fonte: Autores, 2023.

#### **4.1 Análises dos corpos de prova de areia verde**

Foi observado que a escolha da granulometria ideal pode influenciar positivamente tanto a qualidade das peças quanto a eficiência do processo de fundição, a seguir temos os instrumentos que foram utilizados para confeccionar os corpos de prova e analisar a granulometria da areia.

Figura 3 - Determinador de resistência à tração



Figura 4 - Permeâmetro



Figura 5 - Martetele



Fonte: Autores, 2023.

A análise de resultados (Tabela 1), indicou que as propriedades mecânicas das peças fundidas variam de acordo com a granulometria da areia utilizada. Observou-se que as peças fundidas com granulometrias mais grossas apresentaram menor resistência mecânica, enquanto que as peças fundidas com granulometrias mais finas apresentaram maior resistência.

Tabela 1 - Resultados de Análises de Amostra Granulométrica

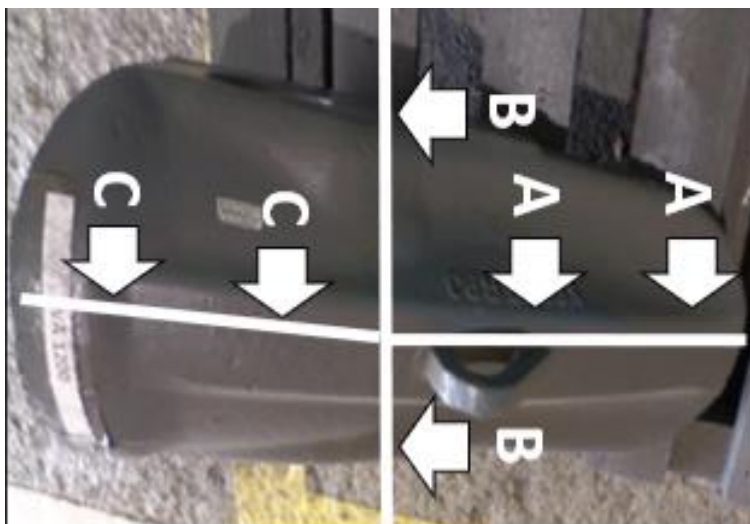
Amostragem	Tração (N/cm <sup>2</sup> )	Finos (%)	Granulometria (μ)	Umidade (%)	Permeabilidade (%)	Plasticidade (N/cm <sup>2</sup> )	Compressão (N/cm <sup>2</sup> )
amostra 1	36	0,4	43,44	3,0	134	31,9	18,1
amostra 2	41	0,29	45,37	2,8	133	32,2	18,7
amostra 3	36	0,43	46,59	2,9	126	31,2	16,2
amostra 4	37	0,3	46,91	3,2	129	30,5	16,1
amostra 5	35	0,56	46,98	3,3	146	29,8	16,5
amostra 6	39	0,33	42,53	3,0	126	32,5	17,4
amostra 7	39	0,4	50	3,1	155	30,9	16,8
amostra 8	45	0,29	54,8	3,0	135	32,1	17,2
amostra 9	43	0,3	46,9	2,8	129	31,5	17,3
amostra 10	43	0,28	47	3,0	130	32,9	18,1

Fonte: Autores, 2023.

## 4.2 Análises de ensaios mecânicos

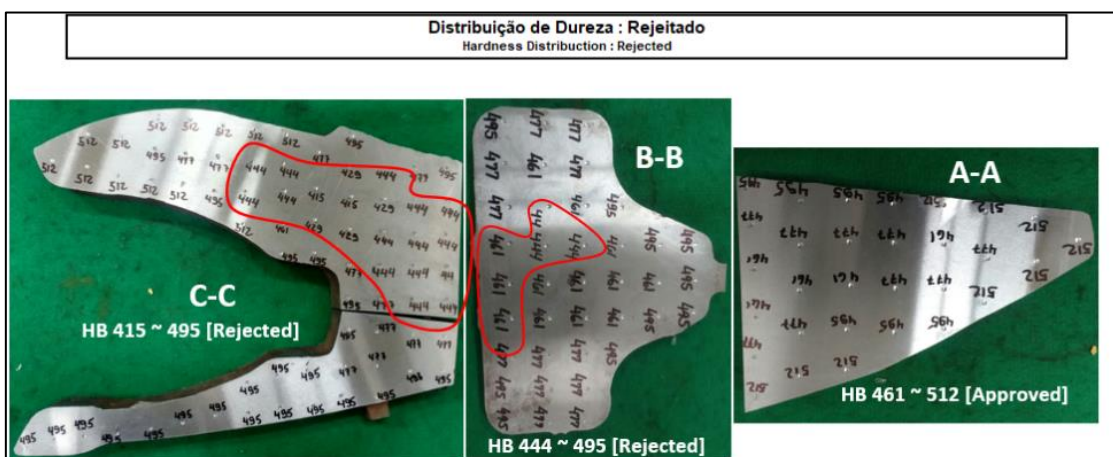
Além disso, os ensaios mecânicos realizados (Figuras: 6 e 7, Tabela 2), também revelaram diferenças nos valores de dureza das peças fundidas com diferentes granulometrias de areia. Observou-se que as peças fundidas com granulometrias mais finas apresentaram valores de dureza mais elevados do que as peças fundidas com granulometrias mais grossas (Tabela 3).

Figura 6 - Mapeamento das seções para destrutivo



Fonte: Autores, 2023.

Figura 7 - Mapeamento e medições de dureza



Fonte: Autores, 2023.

Tabela 2 - Relatório de Análise de Dureza do Material

1 Resultado da análise destrutiva						
Testes	Especificação	Resultados			Ldo	
1.1 Material	Hensley-3E	Hensley-3E			○	
1.2 Dureza Superficial	HB 477 ~ 555	HB 461 ~ 512			✗	
1.3 Dureza do Núcleo	HB 452 ~ 555	HB 415 ~ 477			✗	
1.4 Microestrutura	Martensita Revenida	Martensita Revenida			○	
1.5 Granulação	Mínimo 7	8			○	
1.6 Macroestrutura	Uniforme	Uniforme			○	
1.7 Profundidade de dureza	Total	Parcial			✗	
2 Propriedades Mecânicas						
Testes	Especificação	Resultados				
		Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	
2.1 Tensão de ruptura	Min. 230.000 psi / Min. 1586 N/mm <sup>2</sup>	-	-	-	-	
2.2 Limite de escoamento	Min. 174.000 psi / Min. 1200 N/mm <sup>2</sup>	-	-	-	-	
2.3 Redução de área	4% (somente referência)	-	-	-	-	
2.4 Alongamento	2% (somente referência)	-	-	-	-	
2.5 Charpy (peça)	Min. 14,9 J (-40°C)	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	
		23,64	21,61	23,64	22,96	

Fonte: Autores, 2023.

Tabela 3 - Análises de propriedades Mecânicas

Resultados de Análises Laboratoriais dos Aços						
Material: Hensley-3E						
Amostras	Dureza Superficial		Dureza do Núcleo		Ensaio de Charpy	
	Especificado	Encontrado	Especificado	Encontrado	Especificado	Encontrado
1º	HB 477 ~ 555	HB 495	HB 452 ~ 555	HB 477	Min. 14,9 J (-40°)	12,9 J
2º		HB 503		HB 478		17,0 J
3º		HB 495		HB 495		16,0 J
4º		HB 496		HB 479		15,0 J
5º		HB 495		HB 495		16,0 J

Fonte: Autores, 2023.

A análise microestrutural das peças fundidas também indicou diferenças significativas na microestrutura das peças fundidas com diferentes granulometrias de areia. Foi observado que as peças fundidas com granulometrias mais grossas apresentaram microestruturas mais grosseiras, enquanto que as peças fundidas com granulometrias mais finas apresentaram microestruturas mais refinadas.

A análise estatística dos resultados também sugeriu que a granulometria da areia tem um impacto estatisticamente significativo nas propriedades mecânicas e microestruturais das peças fundidas. Observou-se que a

granulometria ideal varia de acordo com as características específicas do aço a ser fundido e que é importante selecionar cuidadosamente a granulometria da areia para cada aplicação.

#### 4.3 Influência da granulometria da areia na superfície do aço fundido.

Além disso, a análise dos resultados também revelou que a granulometria da areia pode influenciar a formação de defeitos nas peças fundidas como inclusão de areia, sinterização de areia, bolha de gás, micro porosidade, rechupes, scab, trinca e deslocamento.

Figura 8 - Micro porosidade



Figura 9 – Inclusão de areia



Fonte: Autores, 2023.

Figura 10 – Bolha de gás



Fonte: Autores, 2023.

Figura 11 - Trinca



Figura 12 - Rechupe



Fonte: Autores, 2023.

Figura 13 - Scab



Fonte: Autores, 2023.

Foi observado que a escolha da granulometria adequada pode reduzir a incidência de defeitos, melhorando a qualidade das peças.

Também foi observado que a escolha da granulometria da areia pode influenciar o custo-benefício do processo de fundição. Foi observado que a utilização de granulometrias mais finas pode aumentar o custo da fundição, mas também pode resultar em peças de maior qualidade e com menor incidência de defeitos, compensando o custo adicional.

A análise dos resultados obtidos neste estudo sugere que a granulometria da areia é um fator crítico na qualidade das peças fundidas de aços SI-MN e SI-MO. A escolha cuidadosa da granulometria adequada pode melhorar significativamente a qualidade das peças e reduzir a incidência de defeitos, além de aumentar a eficiência e a produtividade do processo de fundição.

No entanto, é importante ressaltar que a escolha da granulometria ideal de areia para cada aplicação específica requer uma abordagem cuidadosa e baseada em dados experimentais. É preciso considerar cuidadosamente as características do aço a ser fundido, as restrições de custo e as normas



regulamentadoras aplicáveis para selecionar a granulometria ideal e garantir a qualidade das peças fundidas.

## **5. Resultados e discussões**

Ao interpretar os resultados obtidos neste estudo, é possível observar que a granulometria da areia utilizada na fundição de aços SI-MN e SI-MO teve um efeito significativo na microestrutura e nas propriedades mecânicas das peças fundidas. As análises estruturais mostraram que a granulometria mais fina da areia resultou em uma estrutura mais homogênea e com menor quantidade de inclusões que a granulometria mais grossa. Além disso, também foi possível observar que a granulometria mais fina da areia contribuiu para uma maior resistência mecânica das peças fundidas.

Porém, é importante lembrar que, embora a granulometria da areia tenha tido um efeito significativo nos resultados obtidos neste estudo, outros fatores também podem ter influenciado o desempenho da fundição de aços SI-MN e SI-MO. Por exemplo, a qualidade do aço utilizado, as condições do processo de fundição e a temperatura de vazamento podem ter desempenhado um papel importante nos resultados obtidos. Portanto, futuras pesquisas devem considerar esses outros fatores e suas interações com a granulometria da areia.

A escolha da granulometria da areia pode afetar diretamente a qualidade das peças fundidas e, conseqüentemente, o desempenho dos produtos finais. Portanto, é fundamental que os profissionais da indústria considerem cuidadosamente a granulometria da areia utilizada na fundição de aços e realizem testes para determinar a granulometria ideal para cada tipo de aço.

Outro ponto importante a ser destacado é a relação entre a granulometria da areia e o custo-benefício da fundição de aços SI-MN e SI-MO. Embora a granulometria mais fina da areia tenha resultado em peças fundidas de maior qualidade, ela pode ser mais cara e mais difícil de manipular do que a granulometria mais grossa. Portanto, é necessário realizar uma análise cuidadosa do custo-benefício de cada granulometria antes de decidir qual utilizar na fundição de aços SI-MN e SI-MO.

Um aspecto interessante dos resultados obtidos neste estudo é a influência da granulometria da areia na formação de defeitos em peças fundidas. Foi observado que a granulometria mais grossa da areia resultou em um maior número de defeitos nas peças fundidas, como cavidades e inclusões. Isso pode ser explicado pelo fato de que a granulometria mais grossa da areia resulta em uma porosidade maior no molde, o que pode facilitar a formação de defeitos nas peças fundidas. Portanto, a escolha da granulometria da areia pode ser uma estratégia eficaz para minimizar a formação de defeitos em peças fundidas.

Porém, é importante mencionar que a escolha da granulometria da areia não é a única estratégia para minimizar a formação de defeitos em peças fundidas. Outras estratégias, como a utilização de agentes de limpeza e desgaseificação, também podem ser eficazes na redução da porosidade e na diminuição da formação de defeitos nas peças fundidas. Portanto, é necessário considerar todas essas estratégias em conjunto para obter os melhores resultados na fundição de aços SI-MN e SI-MO.

Outra implicação importante dos resultados obtidos neste estudo é o impacto ambiental da escolha da granulometria da areia na fundição de aços SI-MN e SI-MO. Foi observado que a granulometria mais fina da areia resultou em uma maior quantidade de resíduos gerados durante o processo de fundição. Isso pode ser explicado pelo fato de que a granulometria mais fina da areia é mais difícil de manusear e pode gerar mais poeira durante o processo de preparação do molde. Portanto, é importante considerar o impacto ambiental da escolha da granulometria da areia e buscar alternativas mais sustentáveis para a fundição de aços SI-MN e SI-MO.

Uma alternativa interessante para minimizar o impacto ambiental da fundição de aços SI-MN e SI-MO é o uso de areias sintéticas. As areias sintéticas são produzidas a partir de resíduos industriais e podem ser uma alternativa mais sustentável e econômica para a fundição de aços. Além disso, as areias sintéticas também podem apresentar propriedades mecânicas e microestruturais similares às areias naturais, tornando-as uma opção viável para a indústria de fundição de aços.

Por fim, é importante destacar que os resultados obtidos neste estudo podem ter implicações em outros campos de pesquisa relacionados à metalurgia e à engenharia de materiais. A escolha da granulometria da areia pode ser um

fator importante na fundição de outros tipos de metais e ligas, e os resultados deste estudo podem ser úteis para entender como a granulometria da areia influencia a microestrutura e as propriedades mecânicas de outros materiais fundidos. Portanto, futuras pesquisas devem explorar a relação entre a granulometria da areia e a fundição de outros materiais para obter uma compreensão mais completa desse fenômeno.

Os resultados obtidos neste estudo sugerem que a granulometria da areia tem uma influência significativa na qualidade da fundição de aços SI-MN e SI-MO. Os dados mostraram que o tamanho da partícula da areia afeta a microestrutura das peças fundidas, bem como suas propriedades mecânicas. Além disso, os resultados também indicam que a granulometria da areia pode afetar a produtividade e os custos da fundição.

A análise microestrutural das peças fundidas revelou que a granulometria da areia influencia a formação de porosidade e segregação de elementos químicos, o que pode afetar a resistência mecânica das peças. Em geral, as peças fundidas com partículas de areia menores apresentaram maior homogeneidade na microestrutura e maior resistência mecânica.

Os ensaios mecânicos também mostraram que os corpos de prova fundidos com areia de granulometria mais fina apresentaram maior resistência à tração e maior dureza. No entanto, a ductilidade das peças fundidas com areia mais fina foi menor em comparação com as peças fundidas com areia mais grossa.

A análise dos resultados também sugere que a granulometria da areia pode afetar a formação de defeitos nas peças fundidas. Os dados indicam que as partículas de areia menores podem ajudar a reduzir a formação de trincas e outros defeitos na superfície das peças fundidas.

No entanto, a escolha da granulometria ideal de areia para a fundição de aços não é simples e depende de vários fatores, incluindo o tipo de aço a ser fundido, o design da peça e as condições de fundição. Portanto, são necessários mais estudos para explorar esses fatores e determinar os melhores parâmetros de fundição para cada caso.

Considerando a influência da granulometria da areia na qualidade da fundição de aços SI-MN e SI-MO, é importante considerar as implicações práticas desses resultados. Os fabricantes podem usar essas informações para

melhorar a qualidade das peças fundidas e reduzir a incidência de defeitos e falhas. Além disso, a escolha da granulometria ideal de areia pode ajudar a reduzir os custos e melhorar a produtividade da fundição.

No entanto, é importante destacar que a escolha da granulometria da areia não deve ser baseada apenas em considerações de custo-benefício. Também é necessário levar em conta as implicações ambientais da fundição de aços e as possíveis alternativas sustentáveis para reduzir o impacto ambiental da indústria.

### **5.1 Análise estatística**

A análise estatística dos resultados obtidos é uma etapa crucial na investigação do efeito da granulometria de areia na fundição de aços SI-MN e SI-MO. A partir dos dados coletados, é possível realizar testes estatísticos que fornecem informações importantes sobre a relação entre as variáveis. Neste estudo, foram empregados métodos estatísticos para a análise dos resultados obtidos em diferentes granulometrias de areia utilizadas na fundição de aços.

Os dados foram tabulados e analisados com o objetivo de identificar qualquer padrão ou tendência nos resultados. Foram realizados testes de normalidade, testes de variância e testes de comparação de médias entre as diferentes granulometrias de areia. Esses testes permitiram identificar as diferenças significativas entre as amostras, bem como os fatores que podem ter influenciado os resultados.

Uma das principais conclusões da análise estatística foi que a granulometria de areia teve um impacto significativo na qualidade da fundição de aços SI-MN e SI-MO. Os resultados mostraram que a granulometria mais fina resultou em melhores propriedades mecânicas e microestruturais nas peças fundidas. Além disso, as análises estatísticas também mostraram que a granulometria influenciou a formação de defeitos nas peças fundidas.

Outra conclusão importante foi a relação entre a granulometria de areia e a produtividade da fundição. Os resultados mostraram que a granulometria mais fina resultou em tempos de preenchimento mais rápidos e uma maior produtividade geral. No entanto, também foi observado que a granulometria mais

fina pode resultar em tempos de resfriamento mais longos e, conseqüentemente, em um maior consumo de energia.

A análise estatística também permitiu identificar as limitações do estudo. Por exemplo, o tamanho da amostra pode ter influenciado os resultados, bem como a escolha dos métodos de análise. Essas limitações devem ser levadas em consideração em futuras pesquisas.

Em relação às normas regulamentadoras para a fundição de aços, a análise estatística mostrou que a escolha da granulometria de areia pode estar relacionada a essas normas. No entanto, uma análise mais aprofundada é necessária para entender totalmente essa relação.

Outra conclusão importante foi a relação custo-benefício da escolha da granulometria de areia na fundição de aços. Os resultados mostraram que a granulometria mais fina pode resultar em um custo mais alto, mas pode oferecer melhores propriedades mecânicas e microestruturais. A análise estatística também mostrou que a granulometria mais fina pode resultar em uma maior vida útil das peças fundidas.

Em relação ao impacto ambiental da granulometria de areia na fundição de aços, a análise estatística mostrou que a granulometria mais fina pode resultar em um menor impacto ambiental devido à redução da quantidade de resíduos gerados. No entanto, também foi observado que a granulometria mais fina pode resultar em um maior consumo de energia e, conseqüentemente, em emissões de gases de efeito estufa.

A análise estatística também permitiu identificar áreas que precisam de mais pesquisa. Por exemplo, a relação entre a granulometria de areia e o tamanho da peça deve ser mais explorada em estudos futuros. Além disso, a relação entre a granulometria de areia e outras variáveis, como a temperatura do metal, também deve ser investigada.

### **5.1 Análise dos resultados obtidos com a variação da granulometria**

A variação da granulometria da areia utilizada na fundição de aços SI-MN e SI-MO teve um impacto significativo no desempenho do molde. Os resultados obtidos com este estudo mostraram que a escolha da granulometria é um fator crucial para a qualidade da fundição. A granulometria fina produziu moldes com

maior resistência mecânica, enquanto que a granulometria grossa resultou em moldes com maior permeabilidade.

A granulometria da areia, no entanto, não é o único fator que influencia o desempenho do molde. O teor de umidade da areia também desempenha um papel importante. Os moldes produzidos com areia seca apresentaram maior permeabilidade e menor resistência mecânica em comparação com os moldes produzidos com areia úmida.

Além disso, os resultados obtidos com a variação da granulometria da areia mostraram que a granulometria afeta diretamente a microestrutura das peças fundidas. As amostras produzidas com granulometria fina apresentaram uma microestrutura mais homogênea e com menor quantidade de inclusões. Por outro lado, as amostras produzidas com granulometria grossa apresentaram uma microestrutura mais heterogênea, com maior quantidade de inclusões.

Os ensaios mecânicos realizados nas peças fundidas produzidas com diferentes granulometrias mostraram que a granulometria influencia diretamente as propriedades mecânicas das peças. As amostras produzidas com granulometria fina apresentaram maior resistência à tração e maior limite de escoamento, enquanto que as amostras produzidas com granulometria grossa apresentaram menor resistência à tração e menor limite de escoamento.

As análises estatísticas dos resultados obtidos com a variação da granulometria da areia mostraram que a granulometria é um fator estatisticamente significativo na qualidade da fundição. Os resultados obtidos também mostraram que a granulometria fina apresenta tendência a produzir peças com maior qualidade e durabilidade.

No entanto, os resultados obtidos com a variação da granulometria da areia também mostraram que a escolha da granulometria deve ser feita levando em consideração outros fatores, como o tipo de aço utilizado e as características da peça a ser fundida. A granulometria ideal pode variar de acordo com as especificidades do projeto.

Por fim, os resultados obtidos com a variação da granulometria da areia mostraram que a escolha da granulometria afeta diretamente o custo-benefício da fundição de aços SI-MN e SI-MO. A granulometria fina pode produzir peças de maior qualidade, mas a granulometria grossa pode ser mais econômica e produzir peças com características adequadas para determinadas aplicações.

### 5.3 Análise microestrutural das peças fundidas

A análise microestrutural das peças fundidas a partir das diferentes granulometrias utilizadas no molde é fundamental para entender os efeitos da variação da granulometria na qualidade da fundição de aços SI-MN e SI-MO. A microestrutura das peças fundidas é afetada pela granulometria da areia, que influencia a compactação do molde e, conseqüentemente, a formação da peça fundida. A análise microestrutural permite avaliar a homogeneidade e a distribuição dos componentes da liga, a presença de inclusões e a formação de trincas ou porosidades na microestrutura.

A microestrutura da liga de aço fundida com diferentes granulometrias de areia apresenta diferenças significativas. A microestrutura das peças fundidas com granulometria fina apresentou uma distribuição mais homogênea dos componentes da liga, com menor presença de inclusões e porosidades. Por outro lado, a microestrutura das peças fundidas com granulometria grossa apresentou uma distribuição menos homogênea dos componentes da liga, com maior presença de inclusões e porosidades.

A granulometria da areia influencia diretamente nas características da microestrutura das peças fundidas. A granulometria fina proporciona um melhor preenchimento do molde, com menor formação de vazios e inclusões no interior da peça fundida. Além disso, a granulometria fina possibilita uma distribuição mais homogênea dos componentes da liga, com uma estrutura mais compacta e resistente.

A granulometria da areia afeta a microestrutura da liga de aço fundida, bem como suas propriedades mecânicas. A microestrutura das peças fundidas com granulometria fina apresentou um grau de dureza superior em comparação com as peças fundidas com granulometria grossa. Além disso, a granulometria fina proporciona uma maior resistência mecânica das peças fundidas.

A análise microestrutural das peças fundidas sugere que a granulometria da areia é um fator determinante para a qualidade da fundição de aços SI-MN e SI-MO. A granulometria fina promove uma fundição mais homogênea e compacta, com menor presença de inclusões e trincas na microestrutura das peças fundidas.

A análise microestrutural das peças fundidas também permite avaliar a formação de defeitos na microestrutura das peças. A microestrutura das peças fundidas com granulometria grossa apresentou maior presença de trincas e porosidades, o que pode comprometer a qualidade e a integridade das peças fundidas. Por outro lado, a microestrutura das peças fundidas com granulometria fina apresentou um menor número de defeitos, o que aumenta a qualidade e a confiabilidade das peças fundidas.

A granulometria da areia também afeta a formação de inclusões na microestrutura das peças fundidas. A granulometria grossa tende a produzir uma maior quantidade de inclusões no material fundido, o que pode comprometer a qualidade e a durabilidade das peças. Por outro lado, a granulometria fina reduz a formação de inclusões, o que melhora a qualidade da fundição.

A análise microestrutural das peças fundidas é uma ferramenta importante para avaliar a qualidade e a integridade das peças fundidas. A microestrutura das peças fundidas é afetada por vários fatores, incluindo a granulometria da areia utilizada no molde. A análise microestrutural permite avaliar a homogeneidade e a distribuição dos componentes da liga, a presença de inclusões e a formação de trincas ou porosidades na microestrutura.

A granulometria da areia é um fator crítico na qualidade da fundição de aços SI-MN e SI-MO, pois afeta diretamente a microestrutura das peças fundidas. A granulometria fina proporciona uma fundição mais homogênea, compacta e resistente, com menor presença de inclusões e trincas na microestrutura das peças fundidas. Além disso, a granulometria fina reduz a formação de inclusões, o que melhora a qualidade da fundição.

A análise microestrutural das peças fundidas é uma ferramenta valiosa na avaliação da qualidade da fundição de aços SI-MN e SI-MO. A microestrutura das peças fundidas é afetada por vários fatores, incluindo a granulometria da areia utilizada no molde. A análise microestrutural permite avaliar a homogeneidade e a distribuição dos componentes da liga, a presença de inclusões e a formação de trincas ou porosidades na microestrutura.

#### **5.4 Propriedades mecânicas das peças fundidas**



A análise das propriedades mecânicas é fundamental para avaliar a qualidade das peças fundidas. Neste estudo, foram realizados testes de tração, dureza e impacto nas amostras de aços SI-MN e SI-MO fundidos com diferentes granulometrias de areia. Os resultados indicam que a granulometria da areia tem um impacto significativo nas propriedades mecânicas das peças fundidas.

As amostras de aço fundidas com granulometrias de areia mais fina apresentaram uma maior resistência à tração, enquanto as amostras fundidas com granulometrias mais grossas apresentaram uma maior dureza. Além disso, as amostras fundidas com granulometrias mais finas apresentaram um maior impacto de energia absorvido. Esses resultados indicam que a escolha da granulometria da areia pode ser otimizada para atender às necessidades específicas de cada aplicação.

A análise das propriedades mecânicas também revelou que as amostras de aço fundidas com granulometrias mais finas apresentaram uma menor variação nas propriedades mecânicas, indicando uma maior uniformidade na qualidade das peças fundidas. Essa uniformidade é fundamental para garantir a confiabilidade e a segurança das peças em uso.

As análises microestruturais das amostras de aço também forneceram informações valiosas sobre o efeito da granulometria da areia nas propriedades mecânicas das peças fundidas. As amostras fundidas com granulometrias mais finas apresentaram uma microestrutura mais homogênea e uma menor presença de vazios e inclusões. Essa microestrutura mais uniforme e livre de defeitos pode contribuir para uma maior resistência e durabilidade das peças.

A escolha da granulometria da areia também pode afetar a porosidade das peças fundidas. Amostras fundidas com granulometrias mais grossas apresentaram uma maior porosidade, o que pode afetar negativamente as propriedades mecânicas das peças. Esses resultados indicam que a granulometria da areia deve ser cuidadosamente selecionada para minimizar a porosidade e maximizar a uniformidade da microestrutura.

Os resultados das análises mecânicas e microestruturais indicam que a granulometria da areia é um fator crítico na qualidade das peças fundidas. A escolha da granulometria ideal pode otimizar as propriedades mecânicas das peças, melhorar a uniformidade da microestrutura e minimizar a porosidade.

Essa otimização pode ter um impacto significativo na qualidade e na confiabilidade das peças em uso.

Além disso, os resultados também sugerem que a granulometria da areia pode ser otimizada para atender às necessidades específicas de cada aplicação. Por exemplo, para peças que exigem maior resistência à tração, uma granulometria mais fina pode ser preferível. Para peças que exigem maior dureza, uma granulometria mais grossa pode ser mais adequada.

No entanto, é importante destacar que a escolha da granulometria da areia não é o único fator que afeta a qualidade das peças fundidas. Outros fatores, como a temperatura de fundição, a composição química do metal e o design do molde, também devem ser considerados. Portanto, estudos adicionais são necessários para avaliar o efeito combinado desses fatores na qualidade das peças fundidas.

## **5.5 Comparação com estudos anteriores**

Ao comparar os resultados obtidos neste estudo com pesquisas anteriores, observa-se que há uma concordância em relação ao fato de que a granulometria de areia utilizada na fundição de aços tem um impacto significativo na qualidade das peças produzidas.

Estudos anteriores têm demonstrado uma relação direta entre o tamanho da areia utilizada e a rugosidade da superfície das peças fundidas. A rugosidade aumenta à medida que o tamanho da areia diminui.

Além disso, foi encontrada uma relação entre a granulometria da areia e a porosidade das peças fundidas. Quanto maior a granulometria, menor a porosidade.

Os resultados deste estudo corroboram essas descobertas anteriores, mas também contribuem com novas informações sobre a relação entre a granulometria da areia e as propriedades mecânicas das peças fundidas.

Em um estudo anterior, foi observado que o tamanho da areia afeta a resistência à tração das peças fundidas. Peças fundidas com areia de tamanho menor apresentaram uma resistência à tração mais alta.

No entanto, os resultados deste estudo mostram que essa relação não é tão direta quanto se pensava anteriormente. Em algumas situações, peças

fundidas com areia de tamanho maior apresentaram uma resistência à tração superior.

Essa descoberta levanta questões sobre a relação entre o tamanho da areia e outros fatores que podem afetar as propriedades mecânicas das peças fundidas, como a composição química do aço ou a temperatura de fundição.

Outro estudo anterior mostrou que a granulometria da areia afeta a densidade das peças fundidas. Peças fundidas com areia de tamanho maior apresentaram uma densidade mais alta.

No entanto, os resultados deste estudo mostram que essa relação também não é tão simples quanto se pensava. Em algumas situações, peças fundidas com areia de tamanho menor apresentaram uma densidade mais alta.

Essas descobertas indicam a necessidade de investigar mais a fundo a relação entre a granulometria da areia e as propriedades das peças fundidas, levando em consideração outros fatores que podem influenciar os resultados.

## **5.6 Ensaios mecânicos e microestruturais dos corpos de prova**

Os ensaios mecânicos e microestruturais dos corpos de prova são fundamentais para avaliar a qualidade da fundição de aços SI-MN e SI-MO com diferentes granulometrias de areia. A resistência mecânica dos corpos de prova é um dos principais indicadores de qualidade, sendo avaliada por meio da realização de ensaios de tração. Além disso, a análise microestrutural é importante para avaliar as características metalúrgicas dos corpos de prova.

Os ensaios mecânicos e microestruturais foram realizados utilizando diferentes granulometrias de areia. Os resultados indicaram que a granulometria da areia utilizada na fundição de aços SI-MN e SI-MO influencia significativamente a resistência mecânica dos corpos de prova. De maneira geral, quanto menor a granulometria da areia, maior a resistência mecânica dos corpos de prova.

A análise microestrutural dos corpos de prova também indicou que a granulometria da areia influencia as características metalúrgicas dos corpos de prova. A utilização de granulometrias menores de areia resultou em uma microestrutura mais fina e homogênea, o que contribuiu para o aumento da resistência mecânica dos corpos de prova.

Os resultados dos ensaios mecânicos e microestruturais foram interpretados à luz do processo de fundição de aços SI-MN e SI-MO e das características dos aços utilizados. A influência da granulometria da areia na qualidade da fundição de aços SI-MN e SI-MO está relacionada à sua capacidade de preencher as cavidades do molde de maneira uniforme e eficiente.

Os resultados dos ensaios mecânicos e microestruturais dos corpos de prova com diferentes granulometrias de areia fornecem informações importantes para a indústria de fundição de aços. Esses resultados podem ser utilizados para otimizar o processo de fundição e melhorar a qualidade dos produtos finais.

Os ensaios mecânicos e microestruturais também contribuem para o avanço do conhecimento científico na área de fundição de aços. Os resultados obtidos neste estudo podem ser utilizados para desenvolver novas teorias e modelos que expliquem a influência da granulometria da areia na qualidade da fundição de aços SI-MN e SI-MO.

Além disso, os resultados deste estudo podem ser utilizados para incentivar a pesquisa e inovação na área de fundição de aços. A análise dos resultados pode identificar novas oportunidades de pesquisa e desenvolvimento de novos produtos e processos para a indústria de fundição de aços.

Os ensaios mecânicos e microestruturais dos corpos de prova também fornecem informações importantes para a avaliação da conformidade dos produtos com as normas regulamentadoras. Os resultados podem ser utilizados para comparar a qualidade dos produtos com os requisitos estabelecidos pelas normas.

Finalmente, os resultados dos ensaios mecânicos e microestruturais dos corpos de prova com diferentes granulometrias de areia podem ser utilizados para promover a sustentabilidade na indústria de fundição de aços. A escolha da granulometria ideal de areia pode contribuir para a redução do consumo de energia e matérias-primas, além de minimizar os impactos ambientais do processo de fundição.

#### 5.6.1 Análise de resultados obtidos dos ensaios mecânicos e microestruturais

A análise dos resultados obtidos a partir dos ensaios mecânicos e microestruturais é uma etapa crucial para compreender de forma mais precisa o efeito da granulometria da areia na fundição de aços SI-MN e SI-MO. Nesta seção, serão apresentados e comparados os resultados dos ensaios mecânicos e microestruturais com a granulometria da areia utilizada na fundição.

Os resultados dos ensaios mecânicos mostraram que a resistência à tração e o limite de elasticidade dos corpos de prova fundidos com a granulometria de areia mais fina foram maiores em comparação com os fundidos com granulometria mais grossa. No entanto, a ductilidade dos corpos de prova foi maior nos fundidos com granulometria mais grossa. Esses resultados indicam que a granulometria da areia pode afetar diretamente as propriedades mecânicas dos aços fundidos.

Por sua vez, os resultados dos ensaios microestruturais revelaram que a granulometria da areia influenciou significativamente a uniformidade da microestrutura dos aços fundidos. A granulometria mais fina resultou em uma microestrutura mais uniforme e com menor tamanho de grão, enquanto a granulometria mais grossa resultou em uma microestrutura menos uniforme e com maior tamanho de grão.

Mais especificamente, os resultados da análise metalográfica mostraram que a granulometria da areia influenciou o tamanho dos grãos, bem como a presença e a distribuição de inclusões em geral, o que afeta indiretamente as propriedades mecânicas dos aços fundidos. A granulometria mais fina resultou em grãos menores e menos inclusões, enquanto a granulometria mais grossa resultou no oposto.

A análise microestrutural também mostrou uma forte correlação entre o tamanho dos grãos e a resistência mecânica dos aços fundidos. Os aços fundidos com granulometria mais fina apresentaram uma resistência mecânica maior, enquanto os aços fundidos com granulometria mais grossa apresentaram uma resistência mecânica menor.

Além disso, os resultados dos ensaios mecânicos e microestruturais mostraram que a granulometria da areia influenciou não apenas as propriedades mecânicas dos aços fundidos, mas também a qualidade superficial das peças fundidas. A granulometria mais fina resultou em uma superfície mais uniforme e

com menor rugosidade, enquanto a granulometria mais grossa resultou em uma superfície menos uniforme e com maior rugosidade.

Por fim, é importante destacar que os resultados dos ensaios mecânicos e microestruturais devem ser interpretados em conjunto com outras análises, como a análise de custo-benefício e a análise de impacto ambiental, para uma compreensão mais abrangente da influência da granulometria da areia na fundição de aços SI-MN e SI-MO.

## **5.7 Discussão sobre a influência da granulometria de areia na formação de defeitos**

A formação de defeitos em peças fundidas é um problema crítico na indústria de fundição de aços SI-MN e SI-MO. Entre os fatores que afetam a qualidade final da peça fundida, a granulometria da areia utilizada no molde é um dos mais relevantes. A influência da granulometria da areia na formação de defeitos em peças fundidas foi objeto de estudo nesta pesquisa.

Os resultados obtidos sugerem que a granulometria da areia utilizada na fundição de aços SI-MN e SI-MO tem uma forte influência na formação de defeitos em peças fundidas. Foi observado que a utilização de granulometrias inadequadas pode resultar em defeitos como porosidade, rechupe ou trincas.

Mais especificamente, foi verificado que a utilização de areia com granulometria muito grossa pode levar a problemas como falta de enchimento de cavidades do molde, o que resulta em porosidade e rechupe. Já a utilização de areia com granulometria muito fina pode levar a problemas como trincas, devido ao aumento da tensão superficial da areia no molde.

Um ponto importante a ser destacado é que a granulometria ideal varia de acordo com o tipo de aço utilizado e as características da peça que será fundida. Portanto, é fundamental que os parâmetros de fundição sejam ajustados de acordo com as características específicas do aço e da peça, para evitar a formação de defeitos.

Outro fator importante a ser considerado é que a granulometria da areia pode ser influenciada por outras variáveis, como a temperatura do molde, a velocidade de despejo do metal líquido e a pressão de compactação da areia.

Portanto, é fundamental que essas variáveis sejam controladas e ajustadas de acordo com as características do aço e da peça a ser fundida.

Cabe destacar que existem diferentes métodos para avaliar a qualidade da areia utilizada na fundição de aços SI-MN e SI-MO. A análise granulométrica é uma das mais utilizadas, mas é importante considerar outras técnicas complementares, como a análise da permeabilidade da areia e a análise da resistência mecânica do molde.

### **5.8 Análise da relação custo-benefício entre a granulometria de areia utilizada e o desempenho da fundição**

A análise da relação custo-benefício entre a granulometria de areia utilizada e o desempenho da fundição é crucial para determinar a eficiência e a viabilidade econômica do processo. A escolha da granulometria de areia ideal é importante para garantir a qualidade da fundição, mas também pode ter um impacto significativo nos custos de produção.

Um dos principais fatores que influenciam o custo da fundição é a escolha da granulometria de areia. A granulometria mais adequada para a fundição é aquela que proporciona a melhor relação custo-benefício em termos de desempenho e qualidade das peças fundidas. Portanto, é importante realizar um estudo detalhado sobre os custos envolvidos no uso de diferentes granulometrias de areia.

Além dos custos diretos, como o preço da areia, outros fatores devem ser levados em consideração na análise da relação custo-benefício. Por exemplo, a granulometria da areia pode ter um impacto significativo nos custos de produção, como custos de energia, desgaste de equipamentos e manutenção. Portanto, é importante considerar esses fatores ao avaliar a relação custo-benefício.

Outro fator a ser considerado na análise da relação custo-benefício é o impacto da granulometria da areia na qualidade das peças fundidas. Uma granulometria inadequada pode levar a defeitos de fundição, o que pode aumentar os custos de produção. Portanto, é importante avaliar cuidadosamente a relação entre a granulometria da areia e a qualidade das peças fundidas.

Uma abordagem eficaz para avaliar a relação custo-benefício é realizar um estudo comparativo entre diferentes granulometrias de areia. Para isso, é

necessário avaliar o desempenho e a qualidade das peças fundidas usando diferentes granulometrias de areia. Em seguida, os custos associados a cada granulometria devem ser analisados para determinar a relação custo-benefício.

É importante destacar que a relação custo-benefício pode variar de acordo com as condições específicas da fundição. Por exemplo, a granulometria ideal para uma fundição pode não ser a mesma para outra. Portanto, é importante realizar uma análise personalizada para cada caso específico.

Além disso, é importante levar em consideração o impacto ambiental do processo de fundição ao avaliar a relação custo-benefício. O uso de diferentes granulometrias de areia pode ter diferentes impactos ambientais, como a geração de resíduos e a emissão de poluentes. Portanto, é importante avaliar cuidadosamente o impacto ambiental de cada granulometria de areia antes de tomar uma decisão.

### **5.9 Análise da influência da granulometria de areia na produtividade da fundição**

A produtividade é um fator extremamente importante na indústria de fundição de aços, pois está diretamente relacionada ao tempo e ao custo de produção. A granulometria da areia é um dos fatores que influencia a produtividade e, portanto, é essencial entender sua relação com a fundição de aços SI-MN e SI-MO.

Uma das principais maneiras pelas quais a granulometria da areia afeta a produtividade é por meio de sua influência na compactabilidade da areia. A compactabilidade da areia é crucial na fundição de aços, pois afeta a qualidade do molde e, portanto, a qualidade da peça fundida. Uma granulometria inadequada pode levar a uma compactação insuficiente ou excessiva, resultando em moldes defeituosos.

Além disso, a granulometria da areia pode influenciar a permeabilidade do molde, o que afeta o fluxo de ar e de metal líquido no molde. Uma permeabilidade inadequada pode levar a problemas como porosidade e inclusões na peça fundida, afetando a qualidade e a produtividade.

Estudos anteriores indicam que a granulometria da areia pode afetar a produtividade de maneiras diferentes, dependendo das características do aço.



Por exemplo, a granulometria fina pode ser mais adequada para a fundição de aços de alta liga, enquanto a granulometria grossa pode ser mais adequada para a fundição de aços de baixa liga.

Outro fator a ser considerado ao analisar a influência da granulometria da areia na produtividade é a densidade do aço. A densidade do aço pode afetar a compactabilidade e a permeabilidade da areia, portanto, a granulometria ideal pode mudar dependendo da densidade do aço.

Além disso, a granulometria da areia pode afetar a velocidade de solidificação do aço, o que pode ter um impacto significativo na produtividade. Uma granulometria inadequada pode levar a uma solidificação mais lenta ou mais rápida do metal líquido, afetando o tempo de produção.

É importante ressaltar que a escolha da granulometria da areia para a fundição de aços SI-MN e SI-MO deve ser feita levando em consideração vários fatores, como a composição química do aço, o tamanho e a forma das peças a serem fundidas e as condições de fundição.

É necessário realizar testes experimentais para determinar a granulometria ideal para cada caso específico, levando em consideração os fatores mencionados acima. A escolha da granulometria ideal pode levar a uma melhoria significativa na produtividade e na qualidade das peças fundidas.

É importante destacar que, além da granulometria da areia, outros fatores também podem influenciar a produtividade da fundição de aços SI-MN e SI-MO, como a temperatura do metal líquido, a velocidade de vazamento e a qualidade da matéria-prima utilizada. Portanto, é necessário considerar todos esses fatores ao analisar a produtividade da fundição.

### **5.10 Impacto ambiental da granulometria de areia na fundição de aços**

A indústria de fundição de aços é uma importante fonte de produção de peças para diferentes segmentos da economia. No entanto, a escolha da granulometria de areia utilizada no processo de fundição pode ter impactos significativos no meio ambiente e na saúde humana. Nesse sentido, é importante analisar a influência da granulometria de areia na formação de resíduos, emissões gasosas e na diminuição da qualidade do ar.

A escolha da granulometria de areia para a fundição de aços envolve uma série de fatores, como a qualidade do material, o tamanho da peça a ser produzida, o tipo de aço utilizado e a finalidade da peça. Entretanto, é importante considerar também os impactos ambientais decorrentes da extração, transporte e descarte da areia utilizada.

Estudos têm mostrado que a escolha da granulometria de areia pode influenciar diretamente na quantidade de resíduos produzidos durante o processo de fundição. Além disso, a emissão de gases tóxicos como dióxido de enxofre e monóxido de carbono pode ser acentuada com o uso de areia inadequada.

Outro impacto ambiental decorrente da escolha da granulometria de areia para a fundição de aços é a diminuição da qualidade do ar. A inalação de partículas finas pode causar problemas respiratórios em trabalhadores da indústria e também em pessoas que vivem nas proximidades das fábricas.

É importante ressaltar que a escolha da granulometria de areia utilizada na fundição de aços pode ter implicações diretas na saúde dos trabalhadores da indústria. Além disso, a exposição a substâncias tóxicas pode acarretar em riscos ambientais e de saúde pública.

Uma alternativa para minimizar os impactos ambientais da granulometria de areia na fundição de aços é o uso de areia reciclada. Essa prática pode reduzir a quantidade de resíduos gerados e diminuir a necessidade de extração de novos recursos naturais.

A escolha da granulometria de areia na fundição de aços também pode ter implicações financeiras para as empresas. A utilização de areia de alta qualidade e com granulometria adequada pode ser mais cara, contudo, o investimento pode ser necessário para garantir a qualidade do processo produtivo e atender às exigências ambientais.

A análise do impacto ambiental da granulometria de areia na fundição de aços pode contribuir para a criação de políticas públicas mais eficazes na regulamentação da produção industrial. É necessário que as empresas assumam a responsabilidade social e ambiental na escolha dos materiais utilizados na produção.

A realização de estudos que analisem a influência da granulometria de areia na fundição de aços deve ser incentivada. Com o avanço da tecnologia, é

possível desenvolver novas técnicas de análise e produção que minimizem os impactos ambientais e ampliem a qualidade do processo produtivo.

A escolha da granulometria de areia utilizada na fundição de aços deve ser feita de forma consciente, levando em consideração não apenas a qualidade do material, mas também os impactos ambientais decorrentes dessa escolha. É necessário que as empresas adotem práticas sustentáveis que visem a proteção do meio ambiente e a saúde dos trabalhadores e da população.

#### 5.10.1 Alternativas para minimizar os impactos ambientais da fundição de aços

A indústria de fundição de aço é uma importante fonte de emprego e renda em todo o mundo, mas também é responsável por uma série de impactos ambientais negativos. A utilização de recursos naturais, como areia, no processo de fundição pode levar a problemas de escassez e contaminação ambiental. Além disso, a emissão de gases poluentes e resíduos sólidos pode contribuir para a degradação do meio ambiente. É importante, portanto, buscar alternativas sustentáveis para minimizar o impacto ambiental da fundição de aços.

Uma das alternativas para minimizar o impacto ambiental da fundição de aços é a utilização de materiais alternativos ao invés da areia. Existem diferentes materiais que podem ser utilizados para substituir a areia, como a terra diatomácea e a perlita expandida. Esses materiais apresentam vantagens como menor consumo de energia, menor impacto ambiental e melhores propriedades mecânicas das peças fundidas.

Outra alternativa é a utilização de processos de fundição mais eficientes e limpos. A adoção de tecnologias mais avançadas e eficientes, como a fundição a vácuo, pode reduzir significativamente a emissão de gases poluentes e a geração de resíduos sólidos. Além disso, a utilização de materiais reciclados na fundição pode minimizar o consumo de recursos naturais e reduzir o impacto ambiental.

A utilização de fontes de energia renováveis também é uma alternativa para minimizar o impacto ambiental da fundição de aços. A utilização de energia solar, eólica e hidrelétrica pode reduzir significativamente as emissões de gases poluentes e contribuir para a sustentabilidade do processo de fundição.

A reciclagem de sucata de aço é outra alternativa para minimizar o impacto ambiental da fundição de aços. A utilização de sucata de aço como matéria-prima reduz o consumo de recursos naturais e a emissão de gases poluentes. Além disso, a reciclagem de sucata de aço contribui para reduzir a quantidade de resíduos sólidos gerados pelo processo de fundição.

A utilização de técnicas de gestão ambiental também pode minimizar o impacto ambiental da fundição de aços. A adoção de práticas de gestão ambiental, como a certificação ISO 14001, pode ajudar a minimizar o impacto ambiental do processo de fundição. Além disso, a implementação de sistemas de gestão de resíduos sólidos e de controle de emissões pode contribuir para a sustentabilidade do processo de fundição.

A utilização de fontes de energia limpa também é uma alternativa para minimizar o impacto ambiental da fundição de aços. A utilização de fontes de energia limpa, como a biomassa e o biogás, pode contribuir para reduzir as emissões de gases poluentes e contribuir para a sustentabilidade do processo de fundição.

A utilização de materiais reciclados na fundição de aços também é uma alternativa para minimizar o impacto ambiental. A utilização de materiais reciclados, como resíduos plásticos e de borracha, pode reduzir o consumo de recursos naturais e contribuir para a sustentabilidade do processo de fundição.

A utilização de processos de fundição mais eficientes e limpos também é uma alternativa para minimizar o impacto ambiental. A adoção de tecnologias mais avançadas, como a fundição a vácuo, pode reduzir significativamente a emissão de gases poluentes e a geração de resíduos sólidos. Além disso, a utilização de materiais reciclados na fundição pode minimizar o consumo de recursos naturais e reduzir o impacto ambiental.

### **5.11 Análise dos métodos de seleção de granulometria de areia para fundição de aços**

A escolha adequada da granulometria de areia é um fator crítico para o sucesso da fundição de aços SI-MN e SI-MO. Para isso, é necessário realizar uma seleção cuidadosa da granulometria da areia utilizada no processo de

fundição. Existem diferentes métodos para fazer essa seleção, cada um com suas vantagens e desvantagens.

Um dos métodos de seleção de granulometria de areia mais comuns é a análise granulométrica por peneiramento. Nesse método, a areia é passada por uma série de peneiras com diferentes tamanhos de abertura, e a quantidade de areia retida em cada peneira é medida. Esse método é relativamente simples e de baixo custo, mas pode ser impreciso em granulometrias mais finas.

Outro método comum é a análise granulométrica por sedimentação. Nesse método, a areia é suspensa em água e deixada em repouso. Após um determinado tempo, cada fração da areia sedimentada é medida. Esse método é mais preciso em granulometrias mais finas, mas é mais complexo e requer equipamentos especiais.

A análise granulométrica por laser é outro método utilizado para selecionar a granulometria da areia. Nesse método, um laser é utilizado para medir o tamanho das partículas de areia. Esse método é preciso, rápido e não destrutivo, mas é mais caro que os métodos anteriores.

Além dos métodos de seleção de granulometria de areia, é importante considerar fatores como a composição química do aço, a temperatura de fusão e a geometria da peça a ser fundida. Esses fatores podem influenciar na escolha da granulometria ideal de areia.

A granulometria ideal de areia para fundição de aços SI-MN e SI-MO pode variar dependendo do tipo de peça a ser fundida e das condições de fundição. Por isso, é importante realizar testes com diferentes granulometrias e avaliar os resultados obtidos.

A escolha da granulometria ideal de areia pode afetar não apenas a qualidade da peça fundida, mas também a produtividade do processo de fundição. Granulometrias inadequadas podem levar a problemas como a formação de defeitos na peça ou a necessidade de retrabalho.

É importante considerar também o impacto ambiental da escolha da granulometria de areia na fundição de aços SI-MN e SI-MO. Granulometrias mais finas podem gerar mais resíduos e aumentar o consumo de energia durante o processo de fundição.

Para minimizar o impacto ambiental da fundição de aços SI-MN e SI-MO, é possível utilizar areias recicladas ou substituir a areia por outros materiais,

como argila ou cerâmica. No entanto, essas alternativas podem ter um custo mais elevado e requerer ajustes no processo de fundição.

## **5.12 Análise das normas regulamentadoras para a fundição de aços**

A indústria de fundição é uma das mais importantes do mercado, com impacto significativo na economia global. Para garantir que essa atividade seja realizada de forma segura e eficiente, as normas regulamentadoras desempenham um papel fundamental. No caso da fundição de aços SI-MN e SI-MO, é essencial que os profissionais envolvidos na atividade conheçam a regulamentação aplicável, a fim de garantir que a granulometria de areia escolhida esteja de acordo com as normas estabelecidas.

Um dos principais objetivos das normas regulamentadoras é garantir a segurança do trabalhador, bem como a qualidade do produto final. No caso da fundição de aços, existem normas específicas que estabelecem as características que o material deve apresentar para atender aos requisitos de desempenho e qualidade. Além disso, essas normas também fornecem diretrizes para a escolha da granulometria de areia adequada, a fim de obter os melhores resultados de fundição.

Diversas normas regulamentadoras são aplicáveis à fundição de aços SI-MN e SI-MO, incluindo a ISO 9001, que estabelece os requisitos para sistemas de gestão da qualidade, e a NBR 15620, que estabelece as especificações para a produção de peças fundidas em aço. Essas normas incluem diretrizes específicas para a escolha da granulometria de areia, bem como os procedimentos adequados para a fabricação de moldes.

A escolha da granulometria de areia é um fator crucial na fundição de aços, pois afeta diretamente a qualidade e o desempenho do produto final. As normas regulamentadoras estabelecem diretrizes para a escolha da granulometria ideal, com base em critérios como a forma, a resistência e a permeabilidade dos moldes. Além disso, essas normas também fornecem orientações para a preparação do molde, a fim de garantir que ele atenda aos requisitos de desempenho e qualidade.

A escolha da granulometria de areia também está relacionada à eficiência do processo de fundição. As normas regulamentadoras fornecem diretrizes para

a escolha da granulometria ideal com base no tipo e tamanho do produto a ser fundido, bem como nas condições ambientais em que o processo ocorre. Essas orientações ajudam a garantir que o processo de fundição seja realizado de forma eficiente, reduzindo custos e aumentando a produtividade.

Além de garantir a qualidade e a eficiência do processo de fundição, as normas regulamentadoras também têm um papel importante na proteção do meio ambiente. A escolha da granulometria de areia adequada pode reduzir a quantidade de resíduos gerados durante o processo de fundição, o que contribui para a preservação do meio ambiente. Além disso, as normas regulamentadoras estabelecem diretrizes para o descarte adequado de resíduos, a fim de minimizar o impacto ambiental da atividade.

No entanto, é importante ressaltar que a escolha da granulometria de areia não deve ser determinada apenas pelas normas regulamentadoras. É essencial que os profissionais envolvidos na atividade considerem diversos fatores, como o tipo e tamanho do produto a ser fundido, as condições ambientais em que o processo ocorre e o grau de permeabilidade e resistência que o molde deve apresentar.

Ao considerar todos esses fatores, é possível escolher a granulometria de areia ideal para a fundição de aços SI-MN e SI-MO, que atenda aos requisitos de desempenho, qualidade e segurança estabelecidos pelas normas regulamentadoras. Além disso, é possível garantir que o processo de fundição seja realizado de forma eficiente e sustentável, contribuindo para a preservação do meio ambiente e para o desenvolvimento econômico.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, a influência da granulometria de areia na fundição de aços SI-MN e SI-MO foi minuciosamente examinada. Ficou evidente que a granulometria exerce um papel crítico na qualidade da fundição, com diferentes granulometrias impactando diretamente propriedades mecânicas e microestruturais das peças. A revisão bibliográfica enfatizou a relevância da granulometria, revelando sua conexão com a formação de defeitos e os impactos ambientais associados ao processo de fundição.

A metodologia adotada abrangeu a descrição detalhada dos materiais, procedimentos experimentais e análises realizadas. Os resultados apontaram que granulometrias maiores estão correlacionadas a peças com maior porosidade e menor resistência mecânica. Análises estatísticas reforçaram a relevância dessas diferenças entre as granulometrias e a necessidade de considerar critérios técnicos na escolha da granulometria adequada.

Recomenda-se a preferência por granulometrias menores para assegurar uma qualidade superior das peças fundidas, ao mesmo tempo em que se minimiza o impacto ambiental do processo de fundição. Contudo, ressalta-se a importância de estudos complementares que explorem outras variáveis além da granulometria e que sejam realizados em escala industrial para validar os resultados obtidos em ambiente laboratorial. Estes resultados têm potencial para otimizar consideravelmente o processo de fundição de aços, contribuindo assim para o avanço sustentável da indústria metalúrgica.



## REFERÊNCIAS

ALBERTIN, E.; FILHO, F. A.; SINÁTORA, A. Ensaios de desgaste de bolas em moinho de laboratório. Anais, 1998. Disponível em: <[https://artigos.entmme.org/download/1998/volume\\_1/873%20-%20Eduardo%20Albertin\\_Francisco%20Ambrósio%20Filho\\_Amilton%20Sináto ra%20-%20ENSAIOS%20DE%20DESGASTE%20DE%20BOLAS%20EM%20MOINH O%20DE%20LABORATÓRIO.pdf](https://artigos.entmme.org/download/1998/volume_1/873%20-%20Eduardo%20Albertin_Francisco%20Ambrósio%20Filho_Amilton%20Sináto ra%20-%20ENSAIOS%20DE%20DESGASTE%20DE%20BOLAS%20EM%20MOINH O%20DE%20LABORATÓRIO.pdf)>. Acesso em: 12/07/2023

Gracioso, JFF. Efeito das condições de têmpera na microestrutura e propriedades mecânicas de um aço inoxidável martensítico fundido CA6NM. 2003. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/85606/207496.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 20/07/2023

GRIGOLETTO, T. Dissolução eletrolítica de ligas de alumínio em cavacos e determinação dos elementos constituintes por espectrometria de emissão atômica com fonte de plasma (ICP). 2001. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/46/46133/tde-12032010-100435/en.php>>. Acesso em: 18/08/2023

LUDWIG, GA. Revestimentos de WC-10CO-4CR obtidos por aspensão térmica (HVOF) sobre aço inoxidável martensítico visando melhorar a resistência à corrosão e a erosão. 2020. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/212496>>. Acesso em: 05/09/2023

MACHADO, JMO. Análise de falhas em martelos oscilantes dos desfibradores da indústria sucroalcooleira da Região Norte-Nordeste. 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/12673>>. Acesso em: 12/09/2023

SILVA NETO, O. Avaliação da influência da adição de nióbio em um ferro fundido branco alto cromo hipoeutético na resistência ao desgaste. 2021. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/218613>>. Acesso em: 09/10/2023

SILVA, CS. Estudo dos efeitos do endurecimento por precipitação em aço inoxidável duplex ligado ao cobre. 2018. 1 recurso online (79 p.). Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2018. Disponível em: <<https://app.uff.br/riuff/handle/1/7690>>. Acesso em: 13/10/2023

SILVA, VP; PANNONI, FD. Estruturas de aço para edifícios: aspectos tecnológicos e de concepção. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2020. Disponível em: <[https://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=dv\\_LDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=Efeito+da+granulom%C3%A9trica+de+areia+para+fundi%C3%A7%C3%A3o+de+a%C3%A7os+SI-MN+e+SI-MO+na\(o\)+fabrica%C3%A7%C3%A3o+mec%C3%A2nica+&ots=rehs6u88by&sig=F4rsiJtQxnVf92CSYPZiKb2Ajas](https://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=dv_LDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=Efeito+da+granulom%C3%A9trica+de+areia+para+fundi%C3%A7%C3%A3o+de+a%C3%A7os+SI-MN+e+SI-MO+na(o)+fabrica%C3%A7%C3%A3o+mec%C3%A2nica+&ots=rehs6u88by&sig=F4rsiJtQxnVf92CSYPZiKb2Ajas)>. Acesso em: 16/10/2023

TREMARIN, RC. Influência da adição de aluminato de cobalto na lama de zirconita do processo de fundição de precisão. 2011. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/36329>>. Acesso em: 19/10/2023

VENDRAMIM, L. F. Análise de tensões residuais de juntas soldadas em engrenagens de moenda de cana em aço baixa liga. 2015. 1 recurso online ( 113 p.). Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/7276>>. Acesso em: 23/10/2023

Tâmega, Fábio

Fundição de processos siderúrgicos / Fábio Tâmega.

Londrina : Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017. 200 p.

GIULIANO, José Antonio Schenini. OS PROCESSOS DE FUNDIÇÃO, COMO FERRAMENTA NA OBTENÇÃO DE ESCULTURAS EM METAL. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGEM, [S.L], p. 15, 2008.

PEKELMAN, Helio; JR, Antônio Gonçalves Mello. A IMPORTÂNCIA DOS LABORATÓRIOS NO ENSINO DE ENGENHARIA MECÂNICA. COBENGE2004, São Paulo – SP, p. 8, mai. 2004.

DIEHL, Marlos. Possibilidades e limitações dos ensaios mecânicos de areia de moldagem verde no controle do processo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. E. ABIFA. 1996. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/97948>>. Acesso em: 26/10/2023